

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Diseño de un troquel de corte y punzonado para  
obtener la brida de una resistencia eléctrica.

**Autor: Yunaiquer Izquierdo Daniel**

**Tutor: Dr. Ing. Ricardo Alfonso Blanco**

**Santa Clara**

**2017**

**"Año 59 de la Revolución"**

**Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas**

**Facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial**

**Departamento de Ingeniería Mecánica**



## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Diseño de un troquel de corte y punzonado para  
obtener la brida de una resistencia eléctrica.

**Autor: Yunaiquer Izquierdo Daniel**

Email: [yizquierdo@uclv.cu](mailto:yizquierdo@uclv.cu)

**Tutor: Dr. Ing. Ricardo Alfonso Blanco**

Email: [ralfonso@uclv.edu.cu](mailto:ralfonso@uclv.edu.cu)

**Santa Clara**

**2017**

**"Año 59 de la Revolución"**



Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la Institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

---

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

---

Firma del Autor

---

Firma del Jefe de Departamento  
donde se defiende el trabajo

---

Firma del Responsable de  
Información Científico-Técnica

## PENSAMIENTO

*Los científicos estudian el mundo tal como es; los ingenieros crean el mundo que nunca ha sido.*

*Theodore Von Karman*

## DEDICATORIA

*Este trabajo va dedicado a mis padres Roberto Rosendo Izquierdo Castro y Luz Marina Daniel Santo, por estar presentes no solo en esta etapa tan importante de mi vida, sino en todo momento ofreciéndome lo mejor y buscando lo mejor para mi persona. A mi hermano Jorlis Izquierdo Daniel por estar siempre a mi lado en cada momento ya sean buenos o malos. A todos mis familiares, por motivarme a seguir superándome en la vida.*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios, por permitirme sonreír antes mis logros que son el resultado de su ayuda, y cuando caigo y me pone a prueba, aprendo de mis errores y me doy cuenta de que me los pone en frente para que mejore como ser humano y crezca de diversas maneras.*

*A mis padres por ser la fuente de inspiración para terminar mis estudios.*

*A mi hermano por su apoyo incondicional ante cualquier circunstancia y estar presente en todo momento de mi vida.*

*A todos mis familiares por apoyarme en todo momento.*

*A mi tutor por su contribución y asesoría de este trabajo de diploma.*

*A todas las personas que de una forma u otra favorecieron el desarrollo de este trabajo.*

*A todos muchas gracias.*

## RESUMEN

En el trabajo de diploma se muestra el resultado de una búsqueda bibliográfica acerca del diseño de troqueles de corte y punzonado, con el objetivo de tener documentación para realizar el diseño de uno, con el cual se obtendrá la brida de una resistencia eléctrica. Para el desarrollo de esta tesis se emplea una metodología para el diseño de troqueles de corte y punzonado siguiendo una secuencia de pasos establecidos por la guía de diseño de Troqueles presentada por la Dr. Ing. Guiselda Fernández Levy. Se hace mención del Compendio de Normas Cubanas para la conformación de metales para la selección de los elementos normalizados. Una vez llevado a cabo el diseño del troquel de corte y punzonado por la metodología propuesta se presenta el plano de ensamble del troquel de corte y punzonado, así como el dibujo de la especificación técnica de cada elemento que lo conforman mediante el uso del software de dibujo Solid Works logrando con este programa una mayor fiabilidad en el diseño. También se realiza el cálculo de los costos incurridos en el diseño a través del análisis Costo-Beneficio (B/C), lo cual es, una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad.

## ABSTRACT

The diploma work shows the result of a bibliographical search on the design of cutting and punching dies, with the objective of having documentation for the design of one, with which the ridge of an electrical resistance will be obtained. For the development of this thesis is used a methodology for the design of cutting and punching dies following a sequence of steps established by the Diesels design guide presented by Dr. Ing. Guiselda Fernández Levy. Reference is made to the Compendium of Cuban Standards for Formulation of Metals for the Selection of Standard Elements. Once the design of the cutting and punching die has been carried out by the proposed methodology, the assembly plane of the cutting and punching die is presented, as well as the drawing of the technical specification of each element that conforms it with the software De Drawing Solid Works Achieving with this program a greater reliability in the design. The calculation of costs incurred in the design is also done through Cost-Benefit Analysis (B / C), which is a financial tool that measures the relationship between the costs and benefits associated with an investment project to evaluate its profitability.

## TABLA DE CONTENIDOS

PENSAMIENTO .....	i
DEDICATORIA .....	ii
AGRADECIMIENTOS .....	iii
RESUMEN .....	iv
ABSTRACT.....	v
INTRODUCCIÓN .....	1
Organización del informe .....	7
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS SOBRE EL DISEÑO DE TROQUELES DE CORTE Y PUNZONADO.....	8
1.1 Troquelado de la chapa metálica.....	9
1.1.1 Ventajas .....	9
1.1.2 Desventajas .....	9
1.2 Operaciones básicas a las que se somete la chapa .....	9
1.3 Clasificación de los troqueles.....	15
1.3.1 Simples.....	15
1.3.2 Compuestos.....	16
1.3.3 Progresivos.....	16
1.4 Componentes y materiales de un troquel .....	16
1.5 Prensas troqueladoras .....	21
1.6 Clasificación de las prensas .....	21
1.6.1 Prensas mecánicas.....	22
1.6.2 Prensas hidráulicas.....	22

1.7	Conclusiones parciales .....	24
<b>CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN TROQUEL DE CORTE Y PUNZONADO 25</b>		
2.1	Diseño del troquel de corte y punzonado .....	25
2.2	Verificación del plano de la pieza .....	25
2.3	Selección del troquel a utilizar .....	25
2.4	Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento .....	26
2.5	Determinación del centro de fuerza .....	32
2.6	Cálculo del juego de corte .....	34
2.7	Dimensionamiento de los elementos constantes del troquel .....	36
2.8	Selección del tipo de material de los componentes del troquel .....	38
2.9	Selección y dimensionamiento del conjunto inferior del troquel .....	39
2.9.1	Dimensionamiento de la matriz .....	39
2.9.2	Dimensionamiento de la placa guía .....	41
2.9.3	Dimensionamiento de la placa base .....	41
2.9.4	Dimensionamiento de las guías laterales .....	42
2.10	Selección y dimensionamiento del conjunto superior del troquel .....	42
2.10.1	Dimensionamiento de la placa porta punzones .....	43
2.10.2	Dimensionamiento de la placa sufridera .....	43
2.10.3	Dimensionamiento de la placa superior .....	44
2.11	Cálculo de la fuerza de corte y el trabajo para la elección de la prensa .....	44
2.12	Selección del tipo de prensa .....	45
2.13	Selección de los elementos normalizados .....	46
2.13.1	Selección de las columnas .....	48
2.13.2	Selección de los bujes .....	48

2.13.3	Selección del vástago.....	48
2.13.4	Selección del punzón de corte .....	48
2.13.5	Selección del tope inicial .....	50
2.13.6	Selección del tope fijo.....	50
2.14	Dibujo del troquel.....	51
2.15	Análisis económico .....	51
2.16	Conclusiones parciales .....	51
<b>CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN TROQUEL DE CORTE Y PUNZONADO PARA LA OBTENCIÓN DE LA BRIDA DE UNA RESISTENCIA ELÉCTRICA.....</b>		<b>52</b>
3.1	Análisis de la pieza.....	52
3.2	Análisis funcional de la pieza .....	53
3.3	Selección del material de la pieza .....	53
3.4	Diseño del troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica .....	53
3.5	Verificación del plano de la pieza.....	53
3.6	Selección del troquel a utilizar .....	55
3.7	Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento.....	55
3.8	Determinación del centro de fuerza .....	61
3.9	Cálculo del juego de corte.....	62
3.10	Dimensionamiento de los elementos constantes del troquel .....	63
3.11	Selección del material de los componentes del troquel.....	68
3.12	Selección y dimensionamiento del conjunto inferior del troquel.....	69
3.12.1	Dimensionamiento de la matriz .....	69
3.12.2	Dimensionamiento de la placa guía.....	71
3.12.3	Dimensionamiento de la placa base.....	72

3.12.4	Dimensionamiento de las guías laterales .....	72
3.13	Selección y dimensionamiento del conjunto superior del troquel .....	74
3.13.1	Dimensionamiento de la placa porta punzón .....	74
3.13.2	Dimensionamiento de la sufridera .....	75
3.13.3	Dimensionamiento de la placa superior .....	77
3.14	Cálculo de la fuerza de corte y el trabajo para la elección de la máquina .....	79
3.15	Selección del tipo de prensa .....	79
3.16	Selección de los elementos normalizados .....	81
3.16.1	Selección del vástago .....	81
3.16.2	Selección del punzón de corte .....	82
3.16.3	Selección del tope inicial .....	84
3.16.4	Selección del tope fijo .....	85
3.17	Dibujo del troquel progresivo de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica .....	86
3.18	Análisis económico del troquel progresivo de corte y punzonado .....	86
3.19	Conclusiones parciales .....	88
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		89
Conclusiones .....		89
Recomendaciones .....		89
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		90
ANEXOS .....		91
Anexo I Tablas utilizadas en la metodología .....		91
Anexo II Especificación técnica de los elementos del troquel de corte y punzonado ...		97

## INTRODUCCIÓN

El progreso en los procesos de fabricación tiende hacia los sistemas automatizados de producción, en los que se trata de controlar y verificar cada uno de los pasos de forma objetiva y fiable, mejorando la seguridad, por consiguiente, el modo de trabajar y de diseñar. Uno de los procesos de fabricación más importantes es el de conformado de piezas por medio de matrices o troqueles.

El troquelado es un proceso de manufactura muy empleado en la industria, esta operación se realiza en frío utilizando máquinas llamadas prensas, obteniendo piezas metálicas empleadas en automóviles, camiones, aviones, trenes, tractores, equipo de construcción, muebles, electrodomésticos y en muchos más. El diseño de troqueles es una gran división de la ingeniería de herramientas, es compleja y muy interesante. Pero, ¿Qué es un troquel? La palabra se puede emplear en dos sentidos, cuando se usa de manera muy general se refiere a la herramienta considerando todos los elementos que la componen. Cuando se utiliza de una manera más limitada, se refiere a los componentes que son maquinados con una geometría específica para generar la pieza, en este caso punzón y matriz (López, 2015).

Lo cierto es que el conformado de lámina en general, y en particular el troquelado, suele asociarse con un proceso mecánico relativamente simple de reducida aportación tecnológica y escasa complejidad. Sin embargo, la realidad es muy diferente ya que este trabajo, al igual que otros procesos de tipo mecánico, engloba una serie de técnicas llenas de virtuosismo y maestría. Es una labor minuciosa donde no hay opción para la improvisación, es un proceso que consta de diferentes etapas que van desde la confección de una secuencia o metodología de cálculo, que se realiza por medios de tablas y criterios de especialistas, los cuales se encuentran en los libros de diseño, hasta su posterior construcción y puesta en marcha, una vez ya modelado en un software de dibujo para un análisis más detallado de sus partes. Por

lo que podemos decir que troquelar es un arte metalmecánico de gran importancia para la industria, enfocado, principalmente, hacia la productividad, debido a que siempre se busca fabricar productos más eficientes, resistentes, de calidad y económicos que los obtenidos con cualquier otro proceso productivo como fundición, forja o mecanizado.

Los estudios realizados por los autores (Kalpakjian et al., 2002), han permitido una mejor comprensión y análisis en el concepto teórico ya que definen el troquelado como un proceso mecánico de producción industrial que se utiliza para trabajar en frío lámina metálica y fabricar completa o parcialmente piezas por medio de una herramienta (troquel), conformada por un punzón y una matriz, también llamados '*macho*' y '*hembra*', respectivamente. Mediante una prensa, el troquel ejerce presión sobre el material, supera su límite elástico y actúa como fuerza para transformarlo, bien sea para cortar, doblar o conformar una forma previamente definida.

En términos sencillos, el troquelado es un método para trabajar láminas metálicas en frío, en forma y tamaño predeterminados, por medio de un troquel y una prensa. El troquel determina el tamaño y forma de la pieza terminada y la prensa suministra la fuerza necesaria para efectuar el cambio.

Refiriéndose al análisis del funcionamiento del troquel autores como (Calvet, 1979), explican que, la base superior del troquel, donde está el punzón, se coloca firmemente en el ariete (martillo o carnero) de la prensa, mientras que en la mesa de trabajo se sujeta la base inferior, con la placa matriz, en medio de ambas se ubica el material; el punzón penetra la matriz cuando baja impulsado por la potencia que le proporciona la prensa y con un golpe seco y contundente sobre la chapa se produce el corte, la deformación o la transformación de la lámina, en ambas caras en el mismo lapso de tiempo, para la obtención de una pieza. En los troqueles complejos de alta producción, el centrado y desplazamiento de la base superior hacia la base inferior, se hace gracias a un sistema de columnas guías que se deslizan fácilmente con ayuda de bujes. Este proceso es continuo y repetitivo y se desarrolla a una velocidad de cientos de golpes por minuto, siendo especialmente útil para la fabricación de productos en serie.

Dentro de este concepto se agrupan diferentes operaciones como el corte, punzonado, doblado, embutición y conformación, a su vez, esta última integra diversos trabajos, entre

otros: bordonar, arrolar, extrusionar, estampar y acuñar. En todas las variantes del proceso, la precisión depende directamente de la exactitud y calidad del troquel (cuya forma y dimensiones coincide con las piezas que se quieren obtener) (Ascamm, 2014).

Por otra parte, estudios realizados por (Garmo and Kohser, 1988), afirman que los troqueles deben tener una alta resistencia a la compresión y al desgaste, de modo que se deben utilizar aceros aleados con tratamiento de temple para fabricarlos. Sin embargo, la eficiencia de las herramientas de troquelar depende no solamente del material, sino también de la calidad superficial de éstas, las matrices nuevas tienen una duración notablemente mayor que aquellas remanufacturadas, que han sido pulidas y alisadas de nuevo después de haberse hecho rugosa su superficie. La calidad superficial de la pieza troquelada depende, en gran medida, del estado superficial de la herramienta, por lo tanto, las caras frontales del punzón y la matriz deben estar muy bien mecanizadas y sin rugosidades, de ser posible rectificadas y abrillantadas, ya que incluso la menor desigualdad se reproducirá en la forma de la pieza troquelada. Además, las rayas, aunque el proceso de troquelado se realice correctamente, ocasionan un agotamiento prematuro de la capacidad de conformación de la herramienta, debido a que van formando pequeñas grietas superficiales en la matriz que, con el paso del trabajo, la hacen inutilizable.

Refiriéndose al tiempo de vida de los troqueles (Florit, 2005), explica que la base principal para la duración de los troqueles es su adecuado uso y buen mantenimiento. El secreto para eliminar o reducir los posibles problemas a lo largo de la vida útil de las matrices, es tenerlos controlados e identificados.

Un tema de vital importancia y sumo cuidado en el análisis de (Rossi, 1971), es utilizar el troquel para el calibre de lámina que fue diseñado y nunca abusar en ese sentido, utilizándolos para diferentes espesores, pues esto es causa del desgaste prematuro, e incluso la ruptura de la herramienta. A su vez, los troqueles de corte deben ser rectificadas periódicamente, para lo cual es necesario conocer las tolerancias para el afilado, recomendadas por los fabricantes, pues no afilar la herramienta en el periodo indicado es una de las causas principales de la disminución de su vida útil.

Adentrándonos como tal al diseño de troqueles (Covarrubias and Garza, 2001), en su investigación explica una serie de pasos a tener en cuenta antes de su comienzo, los mismos

son, tener la información de, el producto, la prensa y la materia prima que se utilizará. En torno a la información del producto, se requiere el dibujo de la pieza. El dibujo tiene que contener todas las dimensiones, especificaciones y tolerancias críticas que deben considerarse para la fabricación del troquel. Hay que conocer el modelo, dimensiones generales, y capacidad que tiene la prensa que será utilizada para correr este troquel. Otro aspecto es tener los planos de la prensa, con el objetivo de ver todas las características y dimensiones generales. De no existir, el fabricante de troqueles es responsable de obtenerlos, o en su defecto dimensionar la prensa. Por último, se define qué tipo de materia prima utilizará el troquel y la información del material escogido.

Este análisis preliminar antes de comenzar el diseño del troquel es de vital importancia, ya que con dicha información se plantan las bases para el buen desarrollo del diseño. Algo que se debe tener en cuenta con relación al material de la pieza a conformar es que tiene que ser más blando que el del punzón para que cuando el mismo empuje el material contra la matriz se produzca la deformación plástica, la cual ocurre cuando las tensiones del perfil de corte son tan elevadas que superan la resistencia de la chapa, originándose la separación de la pieza cortada. De lo contrario, si el material de la pieza y el punzón fueran el mismo o de dureza semejante, se produciría la fractura o el desgaste prematuro del punzón. También cada parte del troquel tiene una función que hacer y en dependencia del trabajo que realiza, será el tipo de material a utilizar en su confección.

Un análisis más detallado de la secuencia para el diseño de un troquel progresivo se hace por (Crespo et al., 2012). Este autor se basa en una metodología de diseño para troqueles de corte, la que estuvo compuesta por múltiples pasos, entre estos, el ordenamiento de la pieza en las diferentes posiciones que podía ocupar en las tiras obtenidas de la chapa, el cual tuvo como objetivo seleccionar el ordenamiento más económico de acuerdo con cálculos previos realizados. Otro importante paso consistió en el cálculo del centro de fuerza de los punzones realizado a través de un método analítico.

Para la realización de esta tesis, se emplea una secuencia de cálculo para el diseño de un troquel de corte y punzonado, dicha metodología contiene dichos pasos mencionados en el análisis hecho por (Crespo et al., 2012), con la diferencia de que en esta investigación se hará un análisis más detallado de estos pasos.

Cada caso de piezas a conformar tiene sus propias particularidades, de ahí, la secuencia establecida por el diseñador para su realización. Se llega a la conclusión de que la cantidad y variedad de estos pasos vienen dados por el grado de complejidad que presenta la pieza a conformar.

Lo anteriormente expuesto resulta de gran utilidad para comprender el funcionamiento del troquel ya que la Industria Nacional para la Producción de Utensilios Domésticos (INPUD) “1<sup>ro</sup> de Mayo”, ubicada en Carretera Central, Km. 298, Banda Esperanza, Sta. Clara, Villa Clara cuenta con un taller de moldes y troqueles. A dicha empresa se le encomienda diseñar un troquel de corte y punzonado a partir de una pieza final para cumplir una demanda de 60000 piezas anuales, la cual consiste en una brida de resistencia eléctrica.

Atendiendo a todo lo anterior se plantea el siguiente **problema científico**:

¿Cómo realizar el diseño de un troquel de corte y punzonado incurriendo en el menor gasto de material posible para la obtención de la pieza?

De esta forma el **objetivo general** de esta investigación es:

Diseñar un troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica.

Para dar respuesta al planteamiento anterior se presentan los siguientes **objetivos específicos**:

- 1) Recopilar bibliografía sobre el proceso de diseño de troqueles de corte y punzonado.
- 2) Realizar el diseño de un troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica.
- 3) Elaborar un análisis económico que permita evaluar financieramente el precio de importación y elaboración del troquel.

**Preguntas de investigación:**

- 1) ¿Qué fundamentos teóricos sustentan el proceso del diseño de troqueles de corte y punzonado?
- 2) ¿Cómo realizar el diseño de un troquel de corte y punzonado a partir de una pieza final?
- 3) ¿Qué resultados se obtienen a partir del análisis económico del troquel diseñado?

**Principal Resultado a Obtener:**

El diseño de un troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica, con la calidad suficiente para su uso y en el menor tiempo posible.

En base a la revisión bibliográfica actualizada, el objetivo de la investigación y el problema científico, se plantea la siguiente **hipótesis:**

Si se emplea una correcta secuencia de cálculo para el diseño de un troquel de corte y punzonado se podrá obtener la brida de una resistencia eléctrica con las exigencias técnicas requeridas.

**Consecuencias y repercusiones:**

El desarrollo de esta tesis acerca del diseño de un troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica, bien estructurado de manera ordenada y lógica desde el punto de vista técnico y económico, repercutirá positivamente en la organización y los resultados tanto económicos como productivos en la elaboración de piezas mediante la utilización de dichos troqueles, permitiendo lograr un uso más racional de los recursos a utilizar, a la vez que agiliza el proceso productivo en la industria.

**Justificación:**

Con esta investigación se contribuye a ampliar el horizonte cognoscitivo acerca del diseño de troqueles de corte y punzonado, el cual servirá como guía y material de apoyo para estudiantes, tecnólogos, ingenieros y profesionales de cualquier ámbito en la provincia de Villa Clara. Los resultados de esta investigación les brindarán a toda esta comunidad científica-técnica una herramienta que agilizará el diseño de piezas o artículos de uso doméstico e industrial, mediante el empleo de matrices progresivas.

**Viabilidad de la Investigación:**

La investigación es viable ya que cuenta con profesionales capacitados y la experiencia necesaria acerca del tema, pertenecientes a la Universidad Central “Marta Abreu de Las Villas” y a la INPUD “1<sup>ro</sup> de Mayo” de Villa Clara, además de poseer la información y herramientas computacionales para realizar esta investigación.

**Métodos de investigación:**

Investigación Documental, por el gran contenido de consultas bibliográficas que se pretende realizar para poder establecer un conjunto de premisas básicas imprescindibles para enfrentar el diseño de un troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica. Es importante destacar que una investigación documental es un proceso sistemático de indagación, organización, búsqueda, selección, lectura, análisis e interpretación de información, extraídas de fuentes documentales existentes acerca de un problema. Esta investigación como su nombre indica, se refiere a aquella que se basa en asuntos, datos u observaciones ya pasados y que el investigador toma y analiza, asumiendo la veracidad de los datos u observaciones.

Investigación Aplicada, la definición clásica de la investigación aplicada es “la investigación que resuelve un problema de inmediato”. Se le llama aplicada porque sus resultados se pueden aplicar para la solución directa e inmediata de los problemas que les atañe.

### **Organización del informe**

La tesis se **estructura** de la siguiente manera: introducción, tres capítulos, conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

En el **Capítulo 1** se establece el marco teórico de la investigación en el cual se hace un estudio bibliográfico acerca del diseño de troqueles de corte y punzonado.

En el **Capítulo 2** se propone una metodología para el diseño de troqueles de corte y punzonado.

En el **Capítulo 3** se procede al desarrollo del diseño de un troquel de corte y punzonado a partir de la metodología propuesta.

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones derivadas de esta investigación, la bibliografía, y los anexos que contienen los documentos que permiten complementar la lectura de la investigación realizada.

## **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS SOBRE EL DISEÑO DE TROQUELES DE CORTE Y PUNZONADO.**

Este capítulo recoge el resultado de una revisión bibliográfica de los aspectos teóricos relacionados con el diseño de troqueles de corte y punzonado. Con esta investigación se contribuye a ampliar el horizonte cognoscitivo acerca del diseño de troqueles de corte y punzonado, el cual servirá como guía y material de apoyo para estudiantes, etc. Los resultados de esta investigación brindarán una herramienta que agilizará el diseño de piezas mediante el empleo de matrices progresivas. Esta revisión bibliográfica nos brindará la información necesaria para enfrentar el diseño de un troquel de corte y punzonado para la obtención de una resistencia eléctrica, objetivo general de esta tesis. El estampado en frío de la chapa es la forma de obtención más racional, ya que constituye uno de los métodos tecnológicos de producción más avanzados. Este método permite: obtener piezas de forma compleja (cuya elaboración con otros métodos es difícil o imposible), crear construcciones resistentes y rígidas de piezas ligeras de poco peso y poco gasto de material. El conformado de metales es empleado a gran escala, en diferentes ramas de la industria mecánica, como en la elaboración de automóviles y camiones, aviones, vagones de ferrocarriles, entre otros. Se ha comprobado que su uso, sustituye o reduce el uso de la soldadura como proceso tecnológico y también el uso de elementos de fijación como los tornillos y las tuercas, porque con la conformación se construyen piezas integrales, mejorando el acabado, la resistencia mecánica y la calidad de las mismas. Varias son las categorías dentro de los procesos de conformación, pero en el caso del troquel diseñado se limita al corte de la chapa, siendo esta una de las más importantes. Los troqueles son herramientas que se utilizan para realizar los procesos de conformación y están formados por elementos individuales, punzones y matriz, que se montan en conjuntos separados. Los troqueles para desarrollar una determinada

categoría son montados en máquinas, las cuales se denominan prensas. Estas consisten en un bastidor que sostiene una bancada y un ariete, una fuente de potencia, y un mecanismo para mover el ariete linealmente y en ángulos rectos con relación a la bancada.

### **1.1 Troquelado de la chapa metálica**

El troquelado consiste en la aplicación de grandes fuerzas mediante troqueles cuyo objetivo es obtener una pieza con formas y dimensiones previamente definidas, que se ajustan en prensas troqueladoras, cuya función es guiar y controlar las grandes presiones que se aplican, durante un período de tiempo muy breve, menores de un segundo, realizando operaciones de corte (cizallado) o deformando del material.

Refiriéndose al troquelado de una manera más científica (Rossi, 1971), en su libro, define el conformado en frío como el “conjunto de operaciones con las cuáles, sin producir virutas, se somete a una chapa plana a una o más transformaciones, con el fin de obtener una pieza que tenga una forma geométrica propia, sea esta plana o hueca. En otros términos, la chapa es sometida a una deformación plástica”.

#### **1.1.1 Ventajas**

- a) Alta capacidad de producción.
- b) Bajo costo de producción de la pieza.
- c) Se consigue la misma calidad en todas las piezas.

#### **1.1.2 Desventajas**

- a) Inversión inicial alta.

### **1.2 Operaciones básicas a las que se somete la chapa**

- a) Punzonado o corte.
- b) Doblado.
- c) Embutición.

Estas operaciones que transforman la chapa, se realizan mediante utillajes específicos denominados troqueles (matrices, estampas...) colocados sobre prensas. Como el desarrollo

de esta tesis es para el diseño de un troquel de corte y punzonado solo se hará énfasis en dichas operaciones.

### **Punzonado o corte**

El corte es la operación en la cual se separa una parte metálica de otra a lo largo de una línea de corte, abierta o cerrada mediante las herramientas adecuadas. Si es abierta la operación se denomina corte y si es cerrada y de pequeñas dimensiones punzonado (Hoyos, 2013).

Por su parte (López, 2015), aclara que es importante diferenciar entre corte y punzonado, ya que puede llegar a confundir lo que significa cada una de estas palabras. Básicamente el punzonado es aquella operación en la cual se genera un orificio de forma determinada en la lámina, mientras que el corte es la operación que separa la pieza de la lámina. Se entiende que con el punzonado se realizan las formas interiores de la pieza, mientras que el perímetro o formas exteriores se realizan con el corte.

El corte de la chapa se realiza por una acción de cizalla o cizallado entre dos bordes afilados de corte: punzón y matriz, figura I.1 (d).

El proceso de corte por punzonado se efectúa con un utillaje específico, compuesto por matriz y punzón. Cuando el punzón empuja el material contra la matriz se produce la deformación plástica de éste, según planos verticales que contienen la línea de corte, cuando las tensiones del perfil de corte son tan elevadas que superan la resistencia de la chapa, se origina la separación de la pieza cortada. Una vez cortada la chapa, tiende por elasticidad a recobrar su posición primitiva, adhiriéndose fuertemente al punzón y a la matriz. Esto hace que el tamaño final del agujero sea igual a las dimensiones del punzón y el de la pieza cortada igual al hueco de la matriz. Cuando la adherencia del material al punzón es elevada es necesario incluir muelles o cilindros de gas para realizar su extracción (González et al., 2012)

Ilustración del proceso de corte por punzonado.

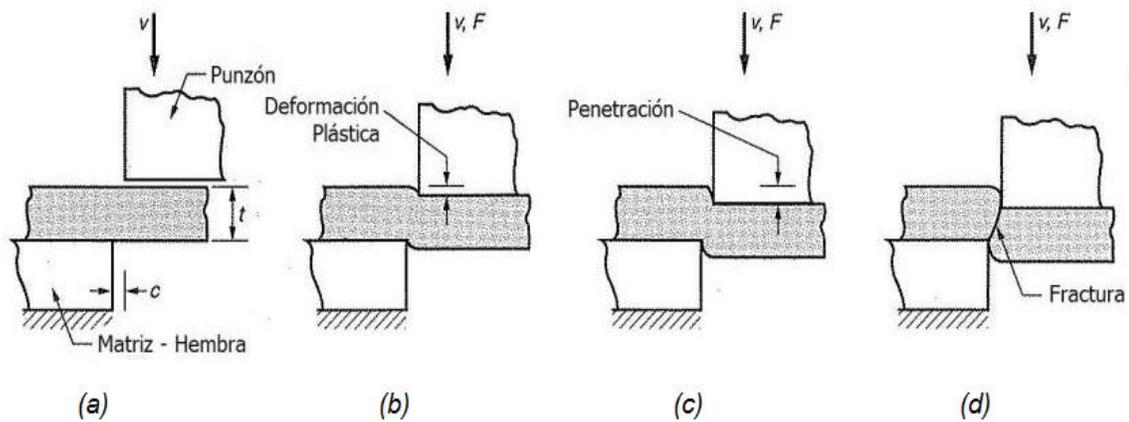


Figura 1.1: Proceso de corte por punzonado (González et al., 2012).

El borde superior de corte (punzón) se mueve hacia abajo sobrepasando el borde, como se muestra en la figura 1.1 (a).

Cuando el punzón empieza a presionar la lámina, ocurre una deformación plástica en las superficies de la lámina, como se muestra en la figura 1.1 (b).

Conforme el punzón se desplaza ocurre la penetración, lo que causa que la lámina se comprima y conlleva al corte del metal. Esta zona de penetración es generalmente una tercera parte del espesor de la lámina, como se muestra en la figura 1.1 (c).

A medida que el punzón continúa descendiendo se inicia la fractura entre los dos bordes de corte, si el claro entre el punzón y el dado es correcto, las dos líneas de fractura se encuentran y el resultado es una separación limpia de las piezas, como se muestra en la figura 1.1 (d).

Los bordes de la lámina resultantes del proceso de cizallado tienen una forma muy característica, en la parte superior de la zona de corte; hay una región redondeada, que corresponde a la depresión hecha por el punzón al momento de iniciar el corte, es aquí, donde se produce la deformación plástica antes mencionada, justo al finalizar la zona redonda hay una región lisa llamada bruñido, esta se da como resultado de la penetración del punzón en el material justo antes de empezar la fractura, como se muestra en la figura 1.2.

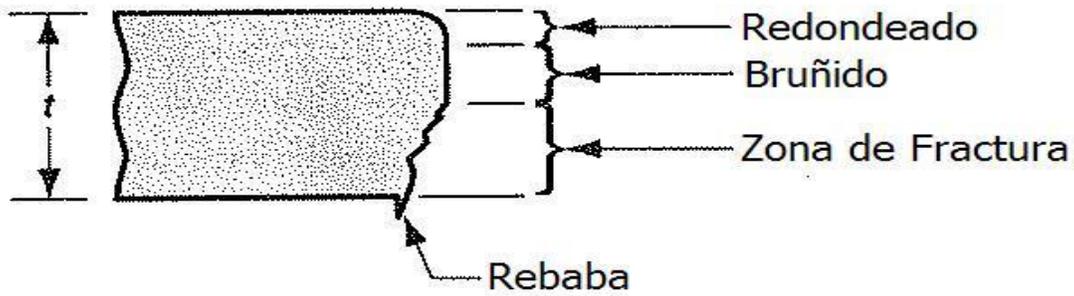


Figura 1.2: Proceso de cizallado (González et al., 2012).

Cálculo del juego.

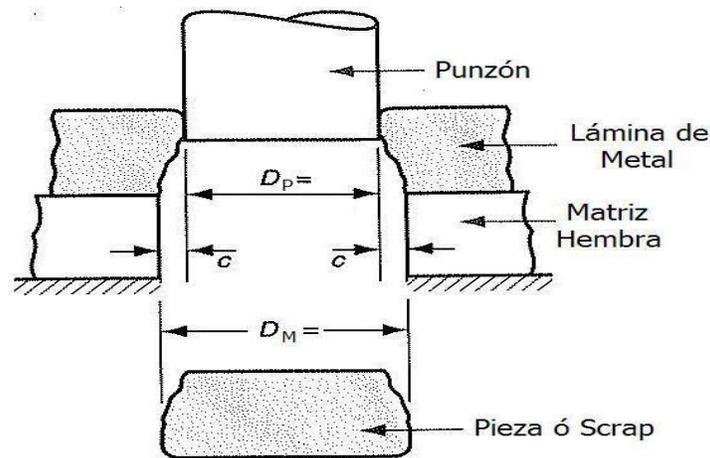


Figura 1.3: Juego (González et al., 2012).

$$c = A_c \times t \quad (1.1)$$

Donde:

$c \rightarrow$  Juego, mm.

$A_c \rightarrow$  Factor que depende del material.

$t \rightarrow$  Espesor de chapa, mm.

$A_c$

0,045  $\rightarrow$  Material blando (aluminio, acero bajo carbono recocido, etc)

0,060  $\rightarrow$  Material medio (acero bajo carbono, acero inoxidable recocido, etc)

0,075  $\rightarrow$  Material duro (acero alto carbono, acero inoxidable, etc)

$$D_m = D_p + 2 \times c \quad (1.2)$$

Donde:

$D_p \rightarrow$  Dimensión del punzón, mm.

$c \rightarrow$  Juego, mm.

El factor más importante en la calidad final del corte es el juego entre el punzón y la matriz. A medida que su valor aumenta la zona de corte es más rugosa y la zona de deformación es mayor, como se muestra en la figura 1.4.

#### Claro u holgura.

En una operación de corte, el claro u holgura es la distancia entre el punzón y la matriz cuando se lleva a cabo la operación. Los valores del claro fluctúan entre el 4 y el 13% del espesor de la lámina. Si el claro es demasiado pequeño, las líneas de fractura tienden a pasar una sobre otra, causando un doble bruñido y se requiere una mayor fuerza para realizar el corte, como se muestra en la figura 1.4. Si el claro es demasiado grande, los bordes de corte pellizcan el metal y se genera una rebaba excesiva, como se muestra en la figura 1.4. En procesos que requieren bordes muy rectos, el claro es solamente del 1% del espesor del material (González et al., 2012).

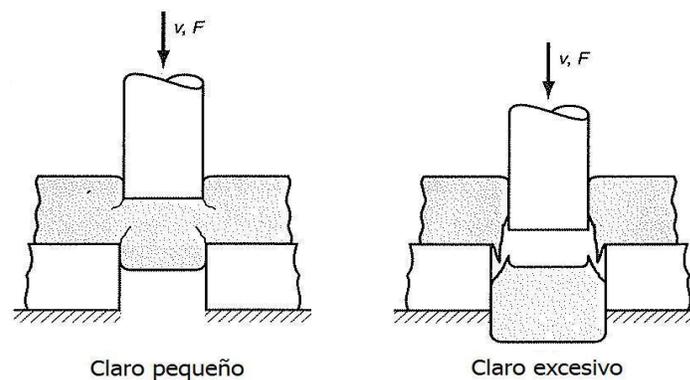


Figura 1.4: Tipos de Claro (González et al., 2012)

La velocidad de punzonado determina la extensión de la zona de deformación. Si dicha velocidad aumenta, el calor provocado por la deformación plástica se confina en un área más pequeña. Consecuentemente la zona cizallada es más angosta, la superficie más lisa y se reduce la formación de rebabas. La formación de rebabas provoca orillas gastadas en las

herramientas dependiendo de la altura, forma y tamaño de dichas rebabas; y así es como se afecta a operaciones de formado posteriores.

La figura 1.5 muestra gráficamente la forma de determinar el juego entre punzón y matriz (Rossi, 1971).

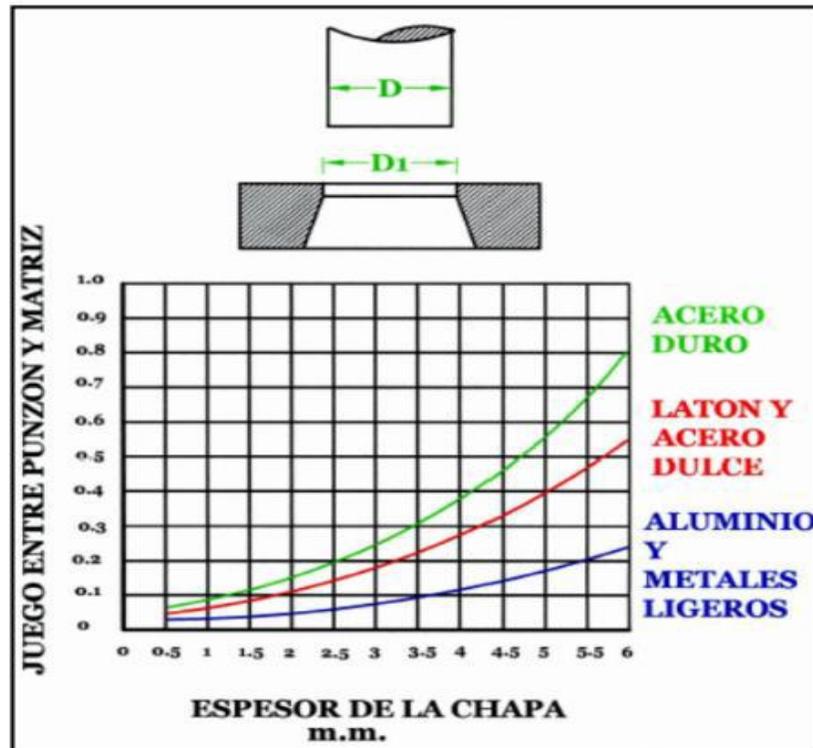


Figura 1.5: Forma de determinar gráficamente el juego entre punzón y matriz (Rossi, 1971).

Otro factor a tener en cuenta es la relación entre el espesor de la chapa y el diámetro del punzón, ya que si la chapa es muy gruesa y la sección transversal del punzón muy pequeña el esfuerzo de corte puede llegar a ser superior a la resistencia del punzón. Como regla práctica se aplica que el espesor de la chapa sea igual o menor que el diámetro del punzón más pequeño. En el caso de punzones no cilíndricos se tomará la menor dimensión del punzón.

En la investigación realizada por (Covarrubias and Garza, 2001), comenta que la fuerza requerida para el troquelado de un agujero depende de la resistencia al corte del material de trabajo, del perímetro de corte, del espesor del material de trabajo, y de la penetración del punzón. El cálculo de la fuerza requerida para hacer el trabajo proporciona datos bastante

confiables, pero son aplicables solo cuando: a) se utiliza la correcta resistencia de corte del material, y b) los punzones y matrices están correctamente afilados y en buenas condiciones, la tolerancia de corte es la adecuada, y el troquel está funcionando perfectamente.

Por lo que el esfuerzo necesario para realizar el corte depende del material que se vaya a cortar, de las dimensiones de la pieza y del espesor de la chapa. El esfuerzo  $F$  necesario para el corte se muestra en la ecuación 1.5.

$$F = \gamma \times L \times s \quad (1.3)$$

donde:

$\gamma$  → Resistencia del material a cortadura,  $N/mm^2$ .

$L$  → Longitud del perímetro de corte, mm.

$S$  → Espesor de la chapa, mm.

La carga total de la prensa o la capacidad de la prensa para realizar un trabajo en particular depende de la fuerza de corte y de otras fuerzas que actúan al mismo tiempo, tales como la presión que ejercen los pisadores y colchones.

### 1.3 Clasificación de los troqueles

Al hablar de troquelado es inevitable mencionar los troqueles, los cuales son construidos teniendo en cuenta cuatro aspectos muy importantes: trabajo a realizar, características de la prensa, material a troquelar y número de piezas a producir.

A medida que aumentan los requerimientos del trabajo, la capacidad de las prensas, las exigencias de los materiales y la necesidad de producir más y mejor, también se conciben diseños de troqueles con mayor complejidad y desarrollo. En ese sentido, los troqueles se pueden clasificar en simples, compuestos y progresivos.

#### 1.3.1 Simples

Estos troqueles permiten realizar solamente una operación en cada golpe de la prensa, son de baja productividad y normalmente es necesario el uso de otros troqueles para poder concluir una pieza y considerarla terminada. Se utilizan para fabricar piezas sencillas como arandelas, accesorios y pequeñas partes para electrodomésticos.

### **1.3.2 Compuestos**

Son herramientas que permiten aprovechar la fuerza ejercida por la prensa realizando dos o más operaciones en cada golpe agilizando el proceso. Generan mayor productividad y se utilizan para conformar lavaplatos, utensilios, recipientes, partes de estufas etc.

### **1.3.3 Progresivos**

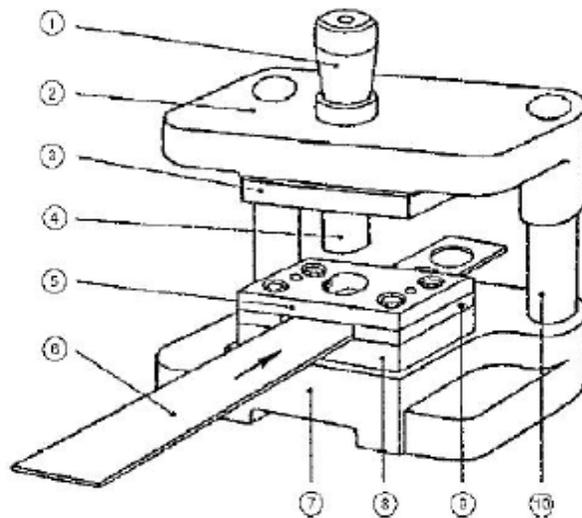
Son troqueles complejos y de gran desarrollo, también llamados matrices progresivas. Constan de, incluso, decenas de etapas o pasos, en cada uno de ellos se modifica la lámina con una secuencia establecida por el diseñador (secuencia de corte), de tal manera que al final se obtiene una o varias piezas terminadas. En un troquel de corte progresivo, los punzones entran en acción sucesivamente sobre un punto de la tira de lámina, a medida que ésta avanza a través del troquel. Son altamente productivos, aunque su mantenimiento y operación es más compleja que en los otros casos y requiere de mayor capacitación del personal involucrado.

Para asegurar la secuencia en el proceso y lograr el avance requerido de la lámina es muy común el uso de alimentadores automáticos, aunque también hay troqueles progresivos alimentados manualmente, en cuyo caso requieren de topes o cuchillas de avance en diferentes puntos de la guía, lugar donde se detendrá o avanzará el material para garantizar así el adecuado posicionamiento de éste con la herramienta.

## **1.4 Componentes y materiales de un troquel**

De igual forma, cada vez que crece su complejidad y desarrollo, los troqueles cuentan con una serie de elementos constructivos que cumplen con una misión específica dentro del conjunto general del trabajo para el cual han sido fabricados. Estos componentes (figura 1.6), por sus características mecánicas deben estar cuidadosamente diseñados para lograr el objetivo de producir piezas sin ningún defecto.

A continuación, se describen las partes que de una u otra forma están presentes en casi todos los troqueles.



- |                     |                   |
|---------------------|-------------------|
| 1. Espiga           | 6. Chapa          |
| 2. Base superior    | 7. Base inferior  |
| 3. Porta punzón     | 8. Porta matriz   |
| 4. Punzón           | 9. Reglas guía    |
| 5. Placa extractora | 10. Columnas guía |

Figura 1.6: Partes esenciales de un troquel (Bermudez, 2009).

Los elementos que conforman a la base superior son:

- Vástago
- Base superior
- Sufridera.
- Placa porta punzones.
- Los punzones de corte, doblar, estampar, embutir, etc.
- Bujes

**Vástago:** Elemento que une el cabezal del troquel con la prensa. Básicamente tiene una parte roscada para fijarse a la placa porta punzones y cuenta con un rebaje para ajustarse al cabezal de la prensa.

**Base superior** (*parte móvil*): tiene la misión de contener en su superficie todas las placas y elementos que sostienen los punzones del troquel, está anclada al martillo o ariete de la prensa, que la inmoviliza y fija durante todo el proceso de trabajo. Ésta conduce el movimiento de la máquina para que los punzones penetren la matriz y transformen la lámina.

Para la fabricación, tanto de la **base superior** como la **inferior**, se usan placas de hierro de fundición o hierro maleable del tipo A.-36, o también placas de acero al carbono de mediana resistencia como el SAE/AISI: 1045, o sus equivalencias en las diferentes marcas. Estos materiales son tratados térmicamente por temple convencional y tienen una dureza superficial de 55-58 RockwellC8 (HRc).

**Sufridera:** la función básica de la placa de apoyo o sufridera consiste en absorber sobre su superficie los sucesivos golpes de los elementos en el troquel. Estos impactos se producen cada vez que los punzones transforman la lámina con la matriz. Cuando el punzón impacta contra el material, la resistencia que opone éste es transmitida a la superficie de la sufridera sobre la cual se apoya la placa porta punzones.

**Porta punzones:** la finalidad de la placa porta punzones es la de alojar y fijar en su interior todos los punzones que lleve la matriz. Estos punzones pueden ser de cualquier tipo o tamaño, pero han de tener una sola característica en común: deben estar firmemente sujetos y guiados en el interior de dicha placa impidiendo que puedan moverse o desprenderse.

La placa porta punzones es mecanizada por electroerosión, rectificada y templada, posteriormente. Es construida según la exigencia del troquel con diferentes tipos de aceros, incluyendo SAE/AISI: 1045 para trabajos de baja y mediana exigencia o de alta calidad y resistencia, como SAE/AISI: O1, O2, A2, D2, D3, D6, para aquellas herramientas dedicadas a procesos de alta producción, todos ellos, materiales que cumplen con las tres propiedades más importantes en la selección de aceros para trabajos en frío: tenacidad, resistencia al desgaste y dureza.

Estas placas están construidas en materiales ya templados y que conservan su tenacidad y cohesión, uno muy empleado es el acero SAE/AISI: 1045 o de mayor dureza como el SAE/AISI 01 o 06.

**Punzones:** los punzones, también conocidos como ‘*machos*’, tienen por objeto realizar las máximas transformaciones en la lámina (cortar, doblar, embutir, acuñar, extrusionar, etc...), a fin de obtener piezas con una calidad acorde a las medidas requeridas, hay tantos tipos de éstos como variantes del troquelado. Se habla de punzones y no de punzón, porque en general

la mayoría de troqueles llevan montados en su interior un gran número de ellos que pueden ser iguales o totalmente diferentes, según la función que desempeñen.

En la matricería o troquelería, se cuida con especial atención la fabricación de los punzones, que deben estar perfectamente diseñados y mecanizados, muy bien sujetos, acorde a las dimensiones requeridas, con excelentes acabados y un adecuado tratamiento térmico de endurecido. La elección de los aceros para su fabricación se hace según su función, para los punzones de corte se emplean materiales de alta resistencia al desgaste y con muy buena conservación del filo, por ejemplo, el SAE/AISI: D6 o D3, que pueden alcanzar una dureza de 62-64 HRc.

Los elementos que conforman a la base inferior son:

- a) Base inferior
- b) Placa porta matriz.
- c) Matriz
- d) Regla guía
- e) Placa guía
- f) Columnas guía.

**Base inferior** (*parte fija*): es el elemento sobre el cual van montados todos los componentes que hacen parte de la matriz, y a su vez, está sujeta fuertemente en la bancada de la prensa durante la fase de trabajo. Esta base y los elementos que lleva montados hacen las funciones de apoyo, puesto que recibirán toda la fuerza de transformación que la prensa aplique sobre ella. En la base inferior también se pueden montar las columnas guía que sirven como referencia de centraje entre la parte superior e inferior.

**Porta matriz:** la placa porta matriz o cajera tiene por misión alojar y posicionar en su interior todos los elementos de pequeñas dimensiones que lleve la propia matriz, de esta manera dichos componentes quedarán ajustados en su interior.

**Matriz:** la matriz y el punzón son los elementos que producen el corte. La matriz presenta cavidades de la geometría de la pieza a obtener, a través de las cuales se introduce el punzón para provocar el corte del material.

---

Para diseñar la matriz se deben considerar varios parámetros: el claro o juego entre el punzón y la matriz, el maquinado de las aristas de corte y el ángulo de salida ( $\alpha$ ) que facilita la extracción del material removido.

El acero se elige según el número de piezas a fabricar, puede ser hierro A-36 o SAE/AISI: 1045, para grandes producciones se prefieren materiales con mayor dureza, templabilidad y resistencia al desgaste como el SAE/AISI: D2, que después de templado puede alcanzar una dureza de 62-64 HRC.

**Reglas guías:** las reglas guías de banda son uno de los componentes más característicos de las matrices progresivas. Se disponen con el fin de guiar longitudinal y transversalmente las tiras de lámina en su desplazamiento por el interior de la matriz.

El tratamiento térmico más utilizado para ellas es el templado y revenido o nitrurado, que impide un desgaste prematuro de sus paredes que pueda dificultar el buen deslizamiento de la banda por su interior.

**Placa guía:** cumple con la función de hacer de guía de los punzones en su acción de corte, para lo cual se realiza un pequeño chaflán a todo el contorno superior de la placa que aloja al punzón para que facilite la entrada de los punzones, el chaflán sirve como pequeño almacén de lubricante que será arrastrado por el punzón. Otra de las funciones que cumple la guía es la de la extracción; con la acción de retroceso, la chapa queda adherida a los punzones, siendo extraída por los resortes o bien por las pestañas de la placa que sirven de guía a la lámina.

**Sistema de guiado:** el movimiento de las dos partes más importantes del troquel (bases superior e inferior) necesita ser guiado en todo momento para garantizar una total concetricidad entre ambas. Esta función se deja a cargo de cuatro columnas de guiado que van montadas generalmente en la base inferior y sus respectivos bujes, sistema que se encargan de posicionar y centrar las dos partes del troquel. El sistema de guiado por columna puede ser de dos tipos: el más habitual es por rozamiento, el cual debe ser muy bien lubricado para no forzarlo, el segundo es de rodamientos o canastilla esferada, en el que las columnas están acompañadas por una guía lineal de bolas (cilindros con esferas en su superficie), lo que facilita el desplazamiento, con excelentes ventajas, pues, el movimiento del sistema es

muy ligero, los desgastes por rozamientos son bajos y necesita poca lubricación y mantenimiento.

Lo anterior fue un análisis del funcionamiento y tipos de materiales de las parte básicas que tiene un troquel realizado por (Bermudez, 2009).

Lo cierto es que para la construcción y funcionamiento de los troqueles se requiere de una gran variedad de componentes complementarios como, bujes, sujetadores, tornillos de fijación, tornillos de apriete, pernos de transporte, sistemas de amarre y bridas de sujeción, entre otros. Todos ellos forman el complejo sistema del troquel.

### **1.5 Prensas troqueladoras**

Las llamadas troqueladoras son prensas accionadas tanto mecánica como hidráulicamente, con construcción horizontal y vertical, que ejecutan el movimiento y transmiten la fuerza a la base superior del troquel para que este, con ayuda de la presión, penetre la matriz, sujeta a la mesa de la máquina, y transforme la lámina. Las prensas hidráulicas usan grandes cilindros y pistones para mover el ariete. Este sistema suministra carreras más largas que las de impulsión mecánica y pueden desarrollar mayor fuerza de tonelaje. Sin embargo, son más lentas. En las prensas mecánicas se usan varios tipos de mecanismos de transmisión, los cuales convierten el movimiento giratorio del motor en movimiento lineal del ariete. Hoy por hoy, y gracias al desarrollo y la evolución de estas máquinas, se utilizan indistintamente. Sin embargo los expertos diseñadores prefieren las prensas mecánicas para cortar, ya que las hidráulicas como consecuencia de un efecto de descuelgue en el movimiento del troquel, tienden a aumentar el desgaste de los punzones, mientras la prensa mecánica impacta la lámina y retrocede inmediatamente, limitación que es corregida en las máquinas modernas (Villar, 2015).

### **1.6 Clasificación de las prensas**

Se le conoce con el nombre de prensa a toda máquina que es capaz de proporcionar un impacto instantáneo. Aprovechando la energía cedida en este momento, es capaz de transformar mediante un útil adecuado (matriz, troquel o estampa) una superficie metálica plana en una pieza de perfil previsto y definido para el caso del troquelado u obtener un

volumen metálico en forma de recipiente, para el proceso de embutido o extrusión (Soto, 2014).

### **1.6.1 Prensas mecánicas**

Las prensas mecánicas, como la que se muestra en la figura 1.7 (González et al., 2012), generalmente basan su funcionamiento en el siguiente principio: mediante un motor se imprime velocidad a un volante, hasta que este almacena una cantidad de energía cinética determinada, mediante un disparo de trinquete dicho volante ataca un cigüeñal sobre el cual actúa una biela que tiene como misión arrastrar un carro entre dos guías de patín. Este carro es el llamado carro porta punzones el cual cede en un instante la energía almacenada en el trabajo a realizar, el resto de la energía es disipada mediante un freno que actúa durante el retorno al punto de reposo evitando un choque demasiado brusco contra el tope de retención.

Existen diversos tipos de prensas mecánicas, sin embargo, las que más han destacado por su funcionamiento y prestaciones son las excéntricas tanto de simple como de doble efecto o las basculantes; las capacidades varían entre 4 y 300 toneladas (González et al., 2012).

### **1.6.2 Prensas hidráulicas**

Las prensas hidráulicas, como la que se muestra en la figura 1.8 (González et al., 2012), basan su funcionamiento en el principio de Pascal para transmitir una fuerza, es empleado un émbolo el cual va directamente unido al soporte superior de la herramienta (corredera de la prensa), por medio de un robusto vástago de émbolo; al poner en marcha la prensa hay una bomba de alta presión que introduce el aceite, a través de una válvula de maniobra, en la cámara del cilindro sobre el émbolo actuando sobre la gran superficie de éste. La elevada presión y la gran superficie del émbolo dan lugar a la fuerza de la prensa. El movimiento puede ser vertical u horizontal. En estas prensas puede graduarse con toda precisión tanto la fuerza del émbolo, como su velocidad para el trabajo de conformado o de corte. En este tipo de prensas la carrera puede regularse arbitrariamente mediante el uso de válvulas. Las prensas hidráulicas pueden ser producidas en varios tipos y tamaños; debido que pueden proveerse de casi ilimitada capacidad, la mayoría de las prensas de gran capacidad o dimensiones son de este tipo. Encontrando así su mejor aplicación en los casos que es necesario aplicar una gran potencia, sosteniendo la misma durante el tiempo preciso para

terminar correctamente el trabajo emprendido. Por tal motivo su principal empleo está en el proceso de embutido de grandes superficies, tales como la construcción de carrocerías de automóviles y similares.



Figura 1.7: Prensa mecánica.



Figura 1.8: Prensa Hidráulica.

Clasificaciones que se pueden presentar en las prensas.

Clasificación de las prensas	
Mecánicas	Hidráulicas
Excéntricas. De doble y simple efecto	Efecto simple
Excéntrica acodada	Efecto doble
De fricción o discos	Efecto triple

Tabla 1.1: Clasificación de las prensas.

### **1.7 Conclusiones parciales**

- 1) Se realizó un análisis del troquelado de la chapa metálica, viendo las ventajas y desventajas que tiene este proceso, así como las operaciones básicas a la que se somete la chapa durante el proceso de estampado, siendo corte, doblado y embutición.
- 2) Se calificó los troqueles de acuerdo al funcionamiento, número de pasos y complejidad de la herramienta, los cuales se dividen en simples, compuestos y progresivos.
- 3) Se desarrolló un análisis de los materiales de cada una de las partes básicas que conforman en su conjunto el troquel, así como la función que realiza cada una de ellas.
- 4) Se calificaron los tipos de prensas, las cuales se dividen de forma general en mecánicas e hidráulicas, cada una de ellas contiene otra variedad de calificaciones. Todas con un mismo objetivo en común, transformar mediante un útil adecuado una superficie metálica plana en una pieza de perfil previsto y definido.

## CAPÍTULO 2. METODOLOGÍA PARA EL DISEÑO DE UN TROQUEL DE CORTE Y PUNZONADO

En este capítulo se presenta una metodología para el diseño de troqueles de corte y punzonado siguiendo una secuencia de pasos establecidos por la guía de diseño de Troqueles presentada por la Dr. Ing. Guiselda Fernández Levy.

### 2.1 Diseño del troquel de corte y punzonado

### 2.2 Verificación del plano de la pieza

- a) Se realiza el chequeo de los radios de empalme. Para este chequeo se trabaja con la tabla 1 de la guía de troqueles donde hay que tener en cuenta el ángulo y el tipo de contorno.
- b) Se determina las tolerancias de todas las dimensiones de la pieza, esto se lleva a cabo tomando como base las dimensiones del plano de la pieza y el grado de precisión. Para esto se utiliza las tablas 3, 4, 5, 7, 8 de la guía de troqueles.
- c) Verificación del diámetro mínimo a punzonar. Se utiliza la tabla 2 de la guía de troqueles.
- d) Se verifica las distancias entre los agujeros a punzonar y las distancias entre agujeros y el contorno exterior de la pieza. Para esto se toma la tabla 6 de la guía de troqueles donde se entra con la forma del agujero.

### 2.3 Selección del troquel a utilizar

A la hora de seleccionar el troquel existen varios criterios y a veces es necesario tomar decisiones, esta selección se hace en base a la cantidad de piezas. En la tabla 2.1 se muestra el número económico de piezas para el corte de chapas en troqueles.

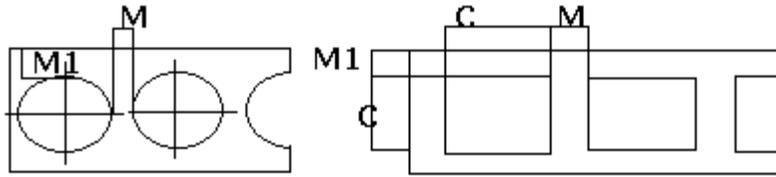
Desde Hasta	Rango de piezas						
	500	500	1000	10000	50000	100000	500000

		1000	5000	50000	100000	500000	
Troquel de corte sin guía	X	X					
Con placa guía		X	X	X			
Con columnas			X	X	X		
Troquel progresivo: con placa guía			X	X	X		
Con columna				X	X	X	
Troquel combinado				X	X	X	
Troquel de repasado				X	X	X	X
Troquel múltiple						X	X

Tabla 2.1: Número económico de piezas para el corte de chapas en troqueles (Levy, 1988)

#### 2.4 Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento

El primer cálculo a desarrollar es la **distancia entre piezas (Dpp)** y la **distancia entre pieza y borde de la chapa (Dpb)**, este cálculo se lleva a cabo con la ayuda de la tabla 2.2



Espesor del material en mm	Piezas cilíndricas y ovaladas en mm		Piezas longitudinales en mm									
			<50		50-100		100-200		200-300		>300	
	m	m1	m	m1	m	m1	m	m1	m	m1	m	m1
Hasta 0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0
0.51-1.0	1.0	1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
1.1-1.2	1.2	1.8	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
1.3-1.5	1.5	2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5
1.6-2.0	1.5	2.0	2.0	2.5	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0
2.2-2.5	1.8	2.3	2.5	3.0	2.5	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.5	4.0
2.6-3.0	2.0	2.5	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	3.5	4.0	4.0	4.5
3.1-4.0	2.5	3.0	3.0	3.5	3.5	4.0	4.0	4.5	4.0	4.5	4.5	5.0

4.1-5.0	3.0	4.0	3.5	4.5	4.0	4.5	4.0	5.0	5.0	4.5	5.0	6.0
5.1-6.0	3.5	4.5	4.0	5.0	4.5	5.0	4.5	5.5	5.0	6.0	5.5	6.5
6.1-7.0	4.0	5.0	4.5	5.5	5.0	6.0	5.0	6.0	5.5	6.5	6.0	7.0
7.1-8.0	4.5	5.5	5.0	6.0	5.5	6.5	6.0	7.0	6.0	7.0	6.5	7.5
8.1-9.0	5.0	6.0	5.5	6.5	6.0	7.0	6.5	7.5	6.5	7.5	7.0	8.0
9.1-10	6.0	7.0	6.0	7.0	6.0	7.0	6.5	7.5	7.0	8.0	8.0	9.0

Tabla 2.2: Distancia pieza-pieza y pieza-borde (Levy, 1988)

Después que se conozcan estas distancias, la tarea es determinar la variante más económica de ordenamiento de las piezas en la tira (chapa), para esto se hace necesario realizar varios ordenamientos de las dos formas que pueden ser cortada la chapa: **longitudinalmente y transversalmente**, una vez hecho estos cálculos se selecciona la variante (ordenamiento) más económica.

Este cálculo se lleva de la siguiente forma:

**a) Determinación del paso (P).**

Para determinar el paso se debe tener en cuenta el ancho de la pieza en la dirección del largo de la tira y la distancia pieza-pieza.

$$P = A_p + D_{pp} \quad (2.1)$$

Donde:

P → Paso, mm.

$A_p$  → Ancho de la pieza, mm.

$D_{pp}$  → Distancia pieza-pieza, mm.

**b) Determinación del ancho de la banda (B).**

Cuando es un ordenamiento sencillo, en una sola hilera, el ancho de la banda B se calcula como la longitud de la pieza más dos veces la distancia pieza-borde.

$$B = L_N + 2D_{pb} \quad (2.2)$$

Donde:

B → Ancho, mm.

$L_N$  → Longitud de la pieza, mm.

$D_{pb}$  → Distancia pieza-borde, mm.

### c) **Determinación de la cantidad de piezas por chapa.**

Para hallar la cantidad de piezas por chapa tenemos los siguientes pasos:

Se determina el número de bandas por chapa ( $N_b/ch$ ).

Para calcular la cantidad de bandas por chapa se realiza de la siguiente forma: se divide el ancho de la chapa entre el ancho de la banda (corte longitudinal) y para el corte transversal se divide la longitud de la chapa entre el ancho de la banda.

$$\text{Corte transversal: } N_b/ch = L/B \quad (2.3)$$

Donde:

L → Longitud de la chapa, mm.

B → Ancho de la banda, mm.

$$\text{Corte longitudinal: } N_b/ch = A/B \quad (2.4)$$

Donde:

A → Ancho de la chapa, mm.

B → Ancho de la banda, mm.

Se determina el número de piezas por banda ( $N_p/b$ ).

Para determinar la cantidad de piezas por banda se divide la longitud de la banda por el paso para un ordenamiento sencillo.

$$N_p/b = L_b/P \quad (2.5)$$

Donde:

$L_b$  → Longitud de la banda, mm.

P → Paso, mm.

Si el ordenamiento no es sencillo, se calcula de la siguiente forma:

$$N_{p/b} = N_1 + N_2 \quad (2.6)$$

$$N_1 = \frac{Lb-X}{P} + 1$$

$$N_2 = \frac{Lb-Y}{P} + 1$$

Donde:

$Lb$  → Longitud de la banda, mm.

$X, Y$  → Longitud necesaria para obtener la primera pieza en cada fila, mm.

Se determina el número de piezas por chapa ( $N_{p/ch}$ ).

Con el cálculo anterior se obtiene la cantidad de piezas por banda y como se conoce el número de bandas por chapa, si se multiplica la cantidad de piezas por el  $N^0$  de bandas se obtiene el número de piezas por chapas.

$$N_{p/ch} = N_{p/b} \times N_{b/ch} \quad (2.7)$$

Donde:

$N_{p/b}$  → Número de piezas por banda, mm.

$N_{b/ch}$  → Número de bandas por chapa, mm.

Luego se selecciona la variante más económica mediante el siguiente paso:

**d) Cálculo del coeficiente de aprovechamiento del material (K).**

$$K = \frac{A_p \times N_{p/ch}}{A_{ch}} \times 100\% \quad (2.8)$$

Donde:

$N_{p/ch}$  → Número de piezas por chapa, mm.

$A_{ch}$  → Área de la chapa,  $mm^2$ .

$A_p$  → Área de la pieza,  $mm^2$ .

Una vez escogido el ordenamiento más económico se procede al cálculo siguiente:

**e) Cantidad de chapas necesarias.**

Para el cálculo de la cantidad de material necesaria solo debe verificarse el porcentaje de piezas defectuosas que inevitablemente acompaña a todo proceso de elaboración. De no

existir experiencia previa en la fábrica donde se realiza la producción, puede tomarse como índice los valores en porcentaje de piezas defectuosas para diferentes tipos de procesos que brinda la tabla 2.3.

Proceso	Cantidad de piezas	Porcentajes
Recortado	hasta 1000	2
	desde 1000 a 100000	1
	más de 100000	0,5
Punzonado individual	hasta 1000	2
	desde 1000 a 100000	1,5
	más de 100000	1
Embutido	hasta 1000	5
	desde 1000 a 100000	3
Doblado	hasta 1000	3
	desde 1000 a 100000	1

Tabla 2.3: Porcentaje de piezas defectuosas para diferentes procesos y cantidades a producir (Gallardo, 1984)

Así, por ejemplo, para un caso de que se quisiera fabricar una (x) cantidad de piezas, debemos contar con un porcentaje de piezas defectuosas ( $\alpha$ ), este se toma de la tabla 2.3 y depende del rango en que se encuentre la cantidad de piezas y del proceso que se realiza, de acuerdo a lo anterior mencionado se tiene:

$$x(1 + \alpha) = t \tag{2.9}$$

Donde:

x → Cantidad de piezas a fabricar, mm.

$\alpha$  → Porcentaje de piezas defectuosas, mm.

$t$  → Cantidad piezas necesarias, mm.

La cantidad de material puede darse en chapas, dividiendo la cantidad de piezas necesarias ( $t$ ) por el número de piezas por chapas ( $N_p/ch$ ) del ordenamiento escogido, o sea:

$$\frac{t}{N_p/ch} = \text{chapas} \quad (2.10)$$

Donde:

$t$  → Cantidad piezas necesarias, mm.

$N_p/ch$  → Número de piezas por chapas, mm.

### 2.5 Determinación del centro de fuerza

Se determina el centro de fuerzas al punto donde se supone aplicada la fuerza resultante de las fuerzas individuales de cada punzón, este centro se calcula con el objetivo de hacer coincidir el centro de fuerza con el eje del agujero para el vástago.

Para este cálculo existen dos métodos:

- a) Analítico
- b) Grafo analítico

Se mostrará el método analítico, ya que es el más sencillo, el mismo se realiza según las fórmulas siguientes:

$$X_{CF} = \frac{\sum lx}{\sum l} \quad (2.11)$$

$$Y_{CF} = \frac{\sum ly}{\sum l} \quad (2.12)$$

Donde:

$X_{CF}, Y_{CF}$  → Coordenadas buscadas, mm.

$Lx, ly$  → Centro de gravedad de cada parte de la pieza, mm.

$\sum l$  → Suma del perímetro de todas las partes de la pieza, mm.

En caso de que la figura presente arcos de circunferencia se realiza el siguiente análisis:

#### Centro de fuerza de arcos de círculos.

El fundamento teórico del cálculo está dado por uno de los llamados teoremas de Pappus, según el cual el área engendrada por una línea cualquiera al girar sobre un eje, es igual a su

longitud multiplicada por el círculo que describe su centro de gravedad alrededor de este eje (Gallardo, 1984)

Así en el caso general representado en la figura 2.1, el área engendrada por el arco AB al girar sobre el eje XX', sobre el cual cae su centro, será una zona esférica de superficie:

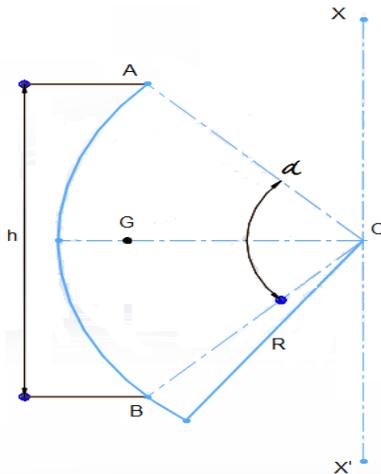


Figura 2.1: Arco de círculo AB, de radio R, girando sobre el eje XX', G posición de centro de gravedad del arco del círculo (Gallardo, 1984)

$$A = 2\pi \times R \times h \quad (2.13)$$

$$h = 2R \operatorname{sen} \frac{\alpha}{2}$$

Según el teorema citado:

$$A = AB \times 2\pi \times OG \quad (2.14)$$

$$AB = \frac{R \times \pi}{180}$$

Al despejar la ecuación (2.13) en (2.14) se llega a:

$$OG = \frac{R \times h}{AB}$$

Donde:

R → Radio del arco, mm.

h → Cuerda del arco, mm.

AB → Longitud del arco, mm.

**Casos particulares.**

Los dos casos particulares más comunes son el de un semicírculo y un cuarto de círculo, en los cuales aplicando las fórmulas se llega a:

$$\text{Semicírculo} \rightarrow OG = \frac{R \times 2R}{\pi \times R} = \frac{2R}{\pi} = 0,64 \times R$$

$$\text{Cuarto de círculo} \rightarrow OG = \frac{R(2R \times \text{sen } 45^\circ)}{\frac{\pi \times R}{2}} = \frac{2R\sqrt{2}}{\pi} = 0,9 \times R$$

Estas distancias se miden naturalmente sobre el radio que va al centro del arco de círculo (figura 2.1).

**2.6 Cálculo del juego de corte**

El juego de corte es la diferencia de diámetros entre el punzón y la matriz, influye en la calidad de la superficie de corte ya que a medida que el juego de corte sea mayor, peor será la calidad de la superficie. El cálculo de este juego puede determinarse por nomogramas, tablas y fórmulas. La tabla 2.4 nos muestra el juego máximo y mínimo de corte de acuerdo al tipo de material a estampar.

Espesor del material a estampar	Metal			
	Aluminio	CT-10, latón	Acero 45 y más, bronce duro	Acero inoxidable
0,1-0,25	0,005-0,02	0,005-0,02	0,005-0,02	0,005-0,02
Mayor 0,25-0,5	0,05/0,10	0,06/0,1 2	0,07/0,14	0,04/0, 1
Mayor 0,5-1	0,06/0,10	0,07/0,1 2	0,08/0,14	0,04/0, 1

Mayor 1,0-1,8	0,06/0,10	0,07/0,1 2	0,08/0,13	0,04/0, 11
Mayor 1,8-3,0	0,08/0,10	0,09/0,1 2	0,1/0,13	0,03/0, 1
Mayor 3,0-5	0,08/0,12	0,11/0,1 5	0,13/0,16	0,03/0, 12
Mayor 5,0	0,08/0,12	0,11/0,1 5	0,12/0,16	

Tabla 2.4: Juego máximo y mínimo de corte de acuerdo al tipo de material a estampar (Levy, 1988)

Otra manera más exacta de obtener el juego es mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Juego} = c \times s \sqrt{0.8 \times \sigma_b} \rightarrow \text{Espesor de la chapa} \leq 3 \text{ mm} \quad (2.15)$$

$$\text{Juego} = (1.5 c \times s - 0.005) \times \sqrt{0.8 \times \sigma_b} \rightarrow \text{Espesor de la chapa} > 3 \text{ mm} \quad (2.16)$$

Donde:

$c$  → Coeficiente que depende del material.

$s$  → Espesor de la chapa, mm.

$\sigma_b$  → Resistencia a la rotura o a la tracción, Kgf/mm<sup>2</sup>.

$\sigma_b$ , se busca en la tabla 2.5.

Material	Resistencia al cizallamiento o al corte (Tc) en Kgf/mm <sup>2</sup>		Resistencia a la rotura o tracción ( $\sigma_b$ ) en Kgf/mm <sup>2</sup>	
	Dulce	Duro	Dulce	Duro
Plomo	2-3	-	2-4	-
Estaño	3-4	-	4-5	-
Aluminio	7-11	13-16	8-12	17-22
Aluminio duro	22	38	26	48
Zinc	12	20	15	25

Cobre	12-18	25-30	222-28	30-40
Latón	22-30	53-40	28-35	40-60
Bronce laminado	32-40	40-60	40-50	50-75
Acero con 0,1 % de C	25	32	32	40
Acero con 0,2 % de C	32	40	40	50
Acero con 0,3 % de C	36	48	45	60
Acero con 0,4 % de C	45	56	56	72
Acero con 0,6 % de C	56	72	72	90
Acero con 0,8 % de C	72	90	90	110
Acero con 1 % de C	80	105	100	180
Acero al silicio	45	56	55	65
Acero inoxidable	52	56	65-70	-

Tabla 2.5: Tabla para la selección de Tc y ob.

Luego se busca c en dependencia del valor de  $\sigma_b$ .

$$\sigma_b \leq 50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} \rightarrow c = 0,005$$

$$\sigma_b > 50 \frac{\text{Kgf}}{\text{mm}^2} \rightarrow c = 0,01$$

## 2.7 Dimensionamiento de los elementos constantes del troquel

Para dimensionar tanto el punzón como la matriz es necesario la utilización de las dimensiones y tolerancias de la pieza a fabricar. En el caso del recortado, de forma general se fijan las dimensiones por la matriz y por ella se ajusta el punzón. En la matriz, con el inevitable desgaste, a través de su explotación, las dimensiones van aumentando por lo que al fijarlas se deben tomar de forma tal que se acerquen a la mayor medida de la pieza (Levy, 1988).

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m} \quad (2.17)$$

$$D_P = (D_M - 2U)^{-f_p} \quad (2.18)$$

Donde:

$D_M, D_P$  → Dimensión de la matriz y el punzón, mm.

$M_N$  → Dimensión nominal de la pieza, mm.

$E_I$  → Desviación inferior para la dimensión de la pieza analizada, mm.

$f_m, p$  → Tolerancia de fabricación de la matriz o el punzón, mm.

$U$  → Juego de corte unilateral, mm.

En el caso del punzonado, las dimensiones se fijan por el punzón y la matriz se ajusta por este. En el punzón, con el desgaste, sus dimensiones disminuyen, por lo que es necesario fijarlo con las mayores dimensiones permisibles, además es necesario tener en cuenta la recuperación elástica del material (Levy, 1988).

$$d_p = (d_n + e_s + f_e)^{-f_m} \quad (2.19)$$

$$d_m = (d_p + 2U)^{+f_p} \quad (2.20)$$

Donde:

$d_p, d_m$  → Dimensión del punzón y la matriz, mm.

$d_n$  → Dimensión nominal de la pieza, mm.

$e_s$  → Desviación superior de la parte que se analiza, mm.

$f_m, p$  → Tolerancia de fabricación de la matriz o el punzón, mm.

$f_e$  → Factor de recuperación elástica, mm.

$U$  → Juego de corte unilateral, mm.

En la figura 2.2 se muestra como determinar el factor de recuperación elástica ( $f_e$ ).

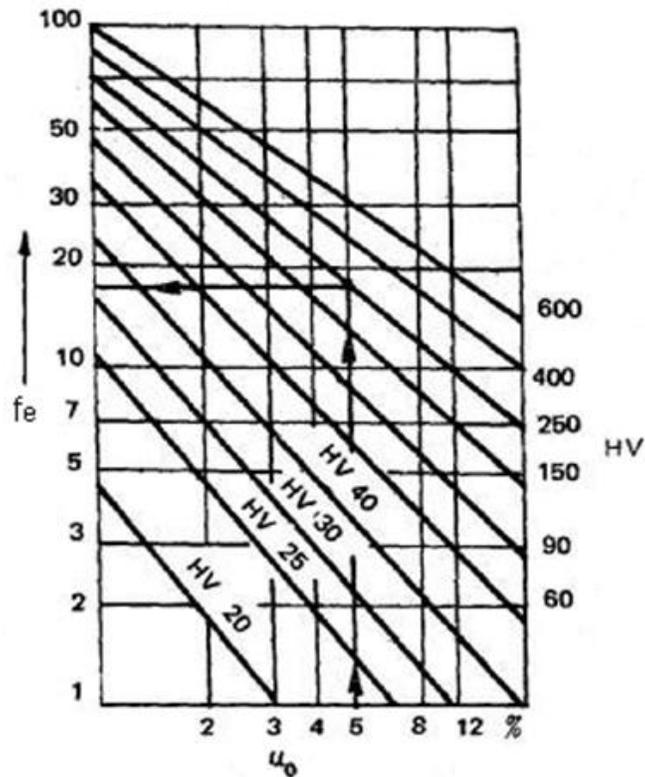


Figura 2.2: Nomograma para la selección de la recuperación elástica ( $f_e$ ), de un agujero punzonado en función del juego de corte relativo ( $u_0 = \frac{u}{s}$ ), y la dureza del material (HV) (Gallardo, 1984)

**Nota:** Debe observarse que las expresiones anteriores indican un comportamiento general, no obstante, tanto en punzones como en matrices siempre pueden aparecer medidas que aumenten con el desgaste, medidas que disminuyen con el desgaste y medidas que no se alteran durante el desgaste ni con el rectificado posterior (Gallardo, 1984).

### 2.8 Selección del tipo de material de los componentes del troquel

Esta selección se hace a través de la NC 09-03. También se puede contar con la experiencia en la producción de troqueles de la INPUD. En la tabla 1 del anexo 1 se muestra la composición química aproximada de los materiales más utilizados en la fabricación de troqueles y en la tabla 2 la equivalencia entre los aceros con otras normas utilizadas internacionalmente.

## 2.9 Selección y dimensionamiento del conjunto inferior del troquel

La selección de las dimensiones de todas las partes del conjunto inferior y superior del troquel están normalizadas y su selección se realizará a través del texto Herramientas de Conformar de Manuel Mayo, del Compendio de Normas Cubana para la conformación de metales y de la guía de Troqueles de Guiselda Fernández Levy.

Los elementos que conforman el conjunto inferior son:

- a) Matriz
- b) Placa guía
- c) Placa base
- d) Guía laterales
- e) Columnas
- f) Tope inicial
- g) Tope fijo

La selección y dimensionamiento de las columnas, tope inicial y tope fijo se hacen por el Compendio de Normas Cubana para la conformación de metales.

### 2.9.1 Dimensionamiento de la matriz

Para seleccionar la placa matriz hay que calcular su superficie de trabajo ( $b_2 \times l_1$ ).

La distancia entre reglillas ( $b_2$ ) se determina por la ecuación siguiente:

$$b_2 = B + 2/\Delta B/+E \quad (2.21)$$

Donde:

$b_2 \rightarrow$  Distancia entre reglillas, mm.

$B \rightarrow$  Medida nominal del ancho de la banda, mm.

$\Delta B \rightarrow$  Tolerancia del ancho de la banda de acuerdo al corte, mm.

$E \rightarrow$  Valor extra de acuerdo con el espesor de la chapa, mm.

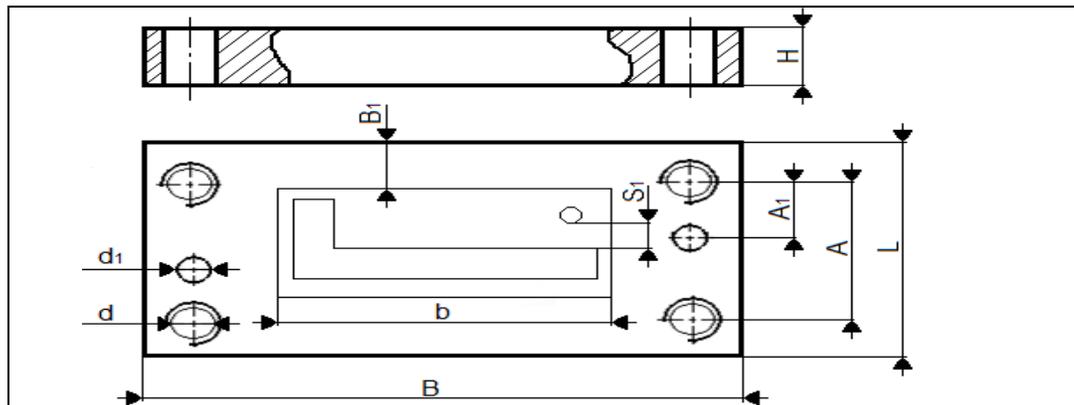
$\Delta B$ , puede tomarse de la tabla 1.5 página 57 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo, siempre se tomará el valor modular para evitar que el valor ( $b_2$ ) sea menor que  $B$ , cosa que no puede ser.

$E$ , puede tomarse de la tabla 1.6 página 58 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

Posteriormente se determina la longitud ( $l_1$ ), o longitud de trabajo de la matriz, que sería la distancia entre los agujeros correspondientes a los punzones más distantes (extremos) de la matriz más 15÷20 mm a ambos lados.

Una vez que se tengan los valores de ( $b_2 \times l_1$ ) se elige la superficie de trabajo normalizada con ayuda de las tablas que aparecen en las páginas 51-56 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

Puede pasar que los valores calculados de ( $b_2 \times l_1$ ) no coincidan con los de las tablas, en tal situación se toma la superficie de trabajo inmediata superior. En caso de que los valores de la superficie de trabajo sean mucho mayores que los de las tablas puede servir de guía para el diseño de la matriz las recomendaciones dadas en la tabla 2.6.



Elementos constructivos de las matrices	Designaciones	Medidas recomendables en mm
Espesor (mínimo)	H	$(7 + S\sqrt{l + b}) \times K$
Distancia (mínima) entre el borde de la matriz y el agujero de trabajo	$B_1$	$B_1 \approx H$
Diámetro mínimo de los agujeros para los tornillos	d	d= 6.5 con LxB hasta 80x60 d= 8.5 con LxB mayor 80x60 hasta 120x100 con LxB (agujeros) d= 10.5 con LxB mayor 100x120 hasta 170x140

		<p>d= 12.5 con LxB mayor 170x140 hasta 300x200 (agujeros)</p> <p>d= 16.5 con LxB mayor 300x200 hasta 600x300 (agujeros)</p>
Diámetro de los agujeros para los pasadores	$d_1$	$d_1 = d - 1.2$
Distancia mínima entre los agujeros para tornillos y pasadores	$A_1$	$A_1 \approx 0.8 \times d + \frac{d - d_1}{2}$
Distancia mínima desde el borde de la matriz hasta el centro del agujero de sujeción	$\frac{l - A}{2}$	<p><math>\frac{l - A}{2} = 1.2 d</math> con <math>d \leq 8.5</math></p> <p><math>\frac{l - A}{2} = 1.4 d</math> con <math>d &gt; 8.5</math></p>
Espesor mínimo de la pared entre los agujeros de trabajo	$S_1$	$S_1 = 2S$ pero no menor que 1.5 mm (S espesor del material a estampar)
<p>Nota: Tomar el valor de K en dependencia de la resistencia a la rotura del material que se estampa, N/mm<sup>2</sup>.</p> <p><math>\sigma_b = 800 \rightarrow K = 1.3</math></p> <p><math>\sigma_b = 400 \rightarrow K = 1.0</math></p> <p><math>\sigma_b = 250 \rightarrow K = 0.8</math></p> <p><math>\sigma_b = 120 \rightarrow K = 0.6</math></p>		

Tabla 2.6: Recomendaciones para el diseño de la matriz (Levy, 1988)

### 2.9.2 Dimensionamiento de la placa guía

Las dimensiones de la placa guía se tomarán de la página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

### 2.9.3 Dimensionamiento de la placa base

Las dimensiones de la base inferior se tomarán de la página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

### 2.9.4 Dimensionamiento de las guías laterales

Las dimensiones de las guías laterales se tomarán de la página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Su espesor va a estar definido por la altura del tope fijo como se muestra en la tabla 2.7.

Espesor de la tira, mm	Altura h del tope, mm	Altura H de la reglilla, mm	
		Con tope fijo	Con recortador lateral
0.3-2.0	3	6-8	4-6
2.0-3.0	4	8-10	6-8
3.0-4.0	4	10-12	6-8
4.0-6.0	5	12-15	8-10
6.0-10	8	15-25	10-15

Tabla 2.7: Altura H de la reglilla y h de la cabeza del tope (Levy, 1988).

### 2.10 Selección y dimensionamiento del conjunto superior del troquel

Los elementos que conforman el conjunto superior son:

- a) Placa porta punzones
- b) Sufridera
- c) Placa superior
- d) Bujes
- e) Punzones de corte

La selección y dimensionamiento de los bujes y los punzones de corte se hacen por el Compendio de Normas Cubana para la conformación de metales.

### 2.10.1 Dimensionamiento de la placa porta punzones

El conjunto porta punzones debe estar en correspondencia con las dimensiones de la matriz. Para su selección pueden emplearse las normas que aparecen en las páginas 65 y 66 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

### 2.10.2 Dimensionamiento de la placa sufridera

La placa de apoyo se coloca en dependencia de la tensión al aplastamiento ( $\sigma_{ap}$ ) que se genera en la zona de contacto de la cabeza de los punzones y la base superior. Esta es endurecida y su empleo no es imprescindible, se reserva solo para casos en que las tensiones que aparecen en la cabeza de los punzones, al actuar estos, traten de introducirla en la placa superior (caso que se da en punzones delgados) (Gallardo, 1984). Si esta base se hace de acero y la ( $\sigma_{ap}$ ) es mayor de  $180 \text{ N/mm}^2$  hay que colocar placa de apoyo, lo mismo ocurre si la base superior fuera de hofo y la ( $\sigma_{ap}$ ) mayor de  $90 \text{ N/mm}^2$ . Este cálculo se le realiza al diámetro con la menor sección, porque el más pequeño tiene mayor facilidad de penetrar la placa superior (Levy, 1988).

El valor de  $\sigma_{ap}$  se calcula por la siguiente expresión:

$$\sigma_{ap} = \frac{F_c}{A_{ap}} \quad (2.22)$$

Donde:

$F_c \rightarrow$  Fuerza de corte del punzón que se analiza, N.

$A_{ap} \rightarrow$  Área de apoyo de la cabeza del punzón que se está analizando,  $\text{mm}^2$ .

La fuerza de corte se calcula por la siguiente fórmula:

$$F_c = P_c \times S \times \zeta_c \times 1,3 \quad (2.23)$$

Donde:

$P_c \rightarrow$  Perímetro de corte del punzón que se analiza, mm.

$S \rightarrow$  Espesor del material, mm.

$\zeta_c \rightarrow$  Resistencia al corte del material que se elabora,  $\text{N/mm}^2$ .

1,3 → Coeficiente para evitar la sobrecarga de la prensa.

En caso de llevar sufridera sus dimensiones se seleccionan en la página 66 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

### **2.10.3 Dimensionamiento de la placa superior**

Se selecciona las dimensiones de la placa superior en la página 66 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

### **2.11 Cálculo de la fuerza de corte y el trabajo para la elección de la prensa**

Estos cálculos son de vital importancia ya que sirven de criterio a la hora de seleccionar la prensa.

La fuerza de corte necesaria para la selección de la prensa a emplear se calcula por la fórmula siguiente:

$$F_c = P_c \times S \times \zeta_c \times 1,3$$

Donde:

$P_c$  → Perímetro de corte total, mm.

$S$  → Espesor del material, mm.

$\zeta_c$  → Resistencia al corte del material que se elabora, N/mm<sup>2</sup>.

1,3 → Coeficiente para evitar la sobrecarga de la prensa.

Para calcular el trabajo se emplea la siguiente expresión:

$$W = F_c \times X \times S \tag{2.24}$$

Donde:

$F_c$  → Fuerza de corte total, N.

$X$  → Coeficiente que depende del tipo de material.

$X$  – 0,7 para materiales blandos.

$X$  – 0,6 para materiales duros.

$X$  – 0,5 para materiales muy duros.

$S$  → Espesor del material, mm.

## 2.12 Selección del tipo de prensa

En algunos casos las prensas son seleccionadas solamente en base a la fuerza de corte necesaria, esto no es correcto. A la hora de seleccionar la prensa se deben tener en cuenta las siguientes recomendaciones:

- a) La fuerza nominal de la prensa debe ser mayor o igual que la fuerza de corte calculada.

$$F_p > F_c$$

Donde:

$F_p$  → Fuerza nominal de la prensa, tf.

$F_c$  → Fuerza de corte calculada, tf.

- b) La capacidad de trabajo de la prensa debe ser mayor o igual que el trabajo necesario en el corte.

$$W_p > W$$

Donde:

$W_p$  → Capacidad de trabajo de la prensa, Kgm.

$W$  → Trabajo necesario en el corte, Kgm.

- c) Se selecciona la carrera de trabajo de la prensa, la cual debe ser mayor que la carrera de trabajo necesaria para el corte. Esta última, generalmente se calcula como la altura de la reglilla más de  $(2 \div 4)$  mm.
- d) Se calcula la altura cerrada del troquel y se comprueba que esté en el rango comprendido entre la altura cerrada mayor y menor de la prensa calculada para la carrera de trabajo.

$$(H - 5 \text{ mm} \geq H_{\text{troquel}} \geq H_2 - 10 \text{ mm}) \quad (2.25)$$

Donde:

$H$  → Altura cerrada nominal de la prensa, mm.

$H_2$  → Altura cerrada menor, mm.

- e) Por último, deben verificarse otros parámetros geométricos como son el ancho del troquel, sus dimensiones respecto a la mesa de la prensa, el agujero para la salida de las piezas, etc.

Para la selección de la prensa se utilizará la tabla 20 de la guía de troqueles.

### **2.13 Selección de los elementos normalizados**

La selección de los elementos normalizados se realiza a través del Compendio de Normas Cubanas para la conformación de metales.

NC 09-02-15 (1987) “Vástagos.”

NC 09-02-17 (1986) “Bases superiores para armazones con superficie de trabajo circular.”

NC 09-02-18 (1986) “Placas guía con superficie de trabajo circular y rectangular.”

NC 09-02-82 (1988) “Troqueles para el estampado de la chapa.”

NC 09-02-85 (1986) “Bujes guías para columnas guía escalonada.”

NC 09-04 (1983) “Armazones para troqueles.”

NC 09-09 (1966) “Armazones para troqueles con bases de fundición gris o fundición de acero, superficie de trabajo rectangular. Columnas hacia atrás de la superficie de trabajo.”

NC 09-11 (1966) “Armazones para troqueles con bases de fundición gris o fundición de acero. Superficie de trabajo rectangular con cuatro columnas.”

NC 09-13 (1972) “Columnas de armazones para troqueles.”

NC 09-14 (1972) “Bujes de armazones para troqueles.”

NC 09-20 (1967) “Armazones para troqueles con base de fundición gris o fundición de acero. Superficie de trabajo rectangular con placa guía y con cabeza de fijación.”

NC 09-21 (1967) “Armazones para troqueles con base de fundición gris o fundición de acero. Superficie de trabajo circular con placa guía y con cabeza de fijación.”

NC 09-27 (1967) “Vástago de suspensión para troqueles.”

- NC 09-29 (1967) “Tiradores para vástagos de troqueles.”
- NC 09-33 (1967) “Cabeza de retenedores para troqueles.”
- NC 09-36 (1967) “Placas para retenedores de troqueles.”
- NC 09-37 (1967) “Expulsores para retenedores de resorte para troqueles.”
- NC 09-38 (1967) “Resortes helicoidales de compresión para troqueles y moldes.”
- NC 09-41 (1968) “Topes verticales para troqueles.”
- NC 09-42 (1967) “Topes de bujes para troqueles.”
- NC 09-43 (1967) “Topes fijos para troqueles.”
- NC 09-44 (1968) “Topes fijos con cabeza para troqueles.”
- NC 09-45 (1968) “Espiga desprendedora para troqueles.”
- NC 09-46 (1968) “Punzones de corte con sección circular para troqueles. Diámetros hasta 7mm.”
- NC 09-47 (1968) “Punzones de corte con sección circular para troqueles. Diámetro 0.5 a 2,4 mm.”
- NC 09-48 (1968) “Punzones de corte sección circular para troqueles. Diámetros desde 7 hasta 26 mm.”
- NC 09-49 (1968) “Punzones de corte con sección circular para troqueles. Diámetros desde 26 hasta 50 mm.”
- NC 09-50 (1968) “Bujes para punzones de corte con sección circular para troqueles. Diámetro de los punzones de 0,5 a 2,4 mm.”
- NC 09-51 (1968) “Pasadores para punzones de corte con sección circular para troqueles. Diámetro de los punzones de 0,5 a 2,4 mm.”
- NC 09-52 (1968) “Topes iniciales para troqueles.”

NC 09-53 (1968) “Prisioneros para topes iniciales de troqueles.”

NC 09-54 (1968) “Cuchillas cilíndricas de corte del desperdicio para troqueles.”

NC 09-55 (1968) “Cuchilla rectangular de corte del desperdicio para troqueles.”

### 2.13.1 Selección de las columnas

Las columnas se seleccionan por la NC 09-13. Se entra con el diámetro de los agujeros de la base inferior, es decir haciendo coincidir el diámetro de dicho agujero con el diámetro de la columna ( $d_{r_6}$ ). Una vez determinado dicho diámetro se seleccionan las demás dimensiones. La longitud total ( $l$ ), debe ser normalizada, pero en realidad no se conoce su longitud real hasta que se tengan todos los componentes del troquel (Levy, 1988).

### 2.13.2 Selección de los bujes

Los bujes se seleccionan por la NC 09-14. Se entra con el diámetro de los agujeros de la base superior haciendo coincidir este con el diámetro exterior del buje ( $d_{2r_6}$ ) y el diámetro de la columna ( $d_{h_6}$ ) con el interior del buje ( $d_{h_7}$ ) después se selecciona todas las dimensiones restantes (Levy, 1988).

### 2.13.3 Selección del vástago

Sus dimensiones dependen de la prensa a utilizar, es por ello que para su selección se toma el valor de las **dimensiones del agujero del cabezal** de la tabla 20 de la guía de troqueles, esto se realiza una vez ya seleccionado el tipo de prensa. Después se entra con este valor a la NC 09-15 y se seleccionan las demás dimensiones.

### 2.13.4 Selección del punzón de corte

Los punzones de corte son en gran número de casos, una pieza única de acero de herramientas con sección transversal uniforme en toda su longitud, e igual en su forma al agujero correspondiente a la matriz (Gallardo, 1984). Excepciones de esta aseveración son, por ejemplo, los punzones grandes en los cuales se acostumbra a fabricar la forma de la pieza en una chapa más o menos gruesa de acero de herramienta (placa porta punzón), la cual se fija a otra pieza de sección similar, pero de material de inferior calidad (placa superior), formando las dos (o más piezas) el punzón en sí. Otra excepción de consideración son los punzones redondos normados en nuestro país como sigue:

NC 09-46 para diámetros de hasta 7 mm.

NC 09-47 para diámetros desde 0,5 a 2,4 mm.

NC 09-48 para diámetros desde 7 hasta 26 mm.

NC 09-49 para diámetros desde 26 hasta 56 mm, normas que se complementan con:

NC 09-50 bujes para punzones de diámetro desde 0,5 a 2,4 mm.

NC 09-51 pasadores para punzones de diámetro desde 0,5 a 2,4 mm.

La existencia de tres normas relacionadas con los punzones de pequeño diámetro (desde 0,5 a 2,4 mm) está dada por la forma constructiva en que se acostumbran hacerse para prolongar su vida y reducir sus costos en caso de rotura (Gallardo, 1984).

Un punto importante en la selección del punzón de corte es el cálculo del pandeo, según (Ferreiro, 2011) el pandeo es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos y, que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión como se muestra en la figura 2.3.

Con el objetivo de evitar el pandeo a la hora de seleccionar el punzón de corte se debe cumplir la siguiente condición ( $L_{m\acute{a}x} > L_p$ ).

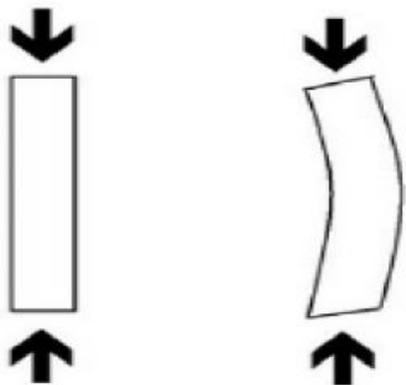


Figura 2.3: Fenómeno de pandeo (Ferreiro, 2011).

La longitud máxima de un punzón para evitar el fenómeno de pandeo se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$L_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times I}{F_c}}$$

Donde: (2 .26)

$L_{\text{máx}}$  → Longitud máxima del punzón, mm.

$E$  → Módulo de elasticidad, Kg/mm<sup>2</sup>.

$I$  → Menor momento de inercia, mm<sup>4</sup>.

$F_c$  → Fuerza de corte que produce el pandeo, Kg.

El momento de inercia ( $I$ ) se busca en la tabla 3 del anexo 1.

La longitud del punzón se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$L_p = (1 \div 2) \text{ mm} + \text{PPP} + \text{PG} + \text{GL} + (25 \div 30) \text{ mm} \quad (2 .26)$$

Donde:

PPP → Espesor de la placa porta punzón, mm.

PG → Espesor de la placa guía, mm.

GL → Espesor de la guía lateral, mm.

### 2.13.5 Selección del tope inicial

Los topes representan los elementos más sencillos para asegurar la uniformidad de posicionado de las piezas en operaciones sucesivas. Los topes iniciales son aquellos que se utilizan para garantizar el primer corte de la chapa. Sus dimensiones se hacen de acuerdo a la NC 09-52.

### 2.13.6 Selección del tope fijo

El mismo tiene la función de limitar la alimentación de la chapa en el primer corte al chocar el borde de esta contra él, y en los pasos posteriores, al introducirse en el agujero que dejó la pieza recortada, asegurando así una distancia uniforme entre piezas. En todos los casos la alimentación se inicia en el momento en que la chapa, arrastrada hacia arriba en la carrera de retroceso de los punzones, resulta desprendida por la placa guía. La alimentación en este momento permite que la parte de chapa que chocó con el tope pase ahora sobre él y se produzca el nuevo enganche en el agujero recién producido en el paso anterior (Gallardo, 1984). Sus dimensiones se hacen de acuerdo a la NC 09-43. Estos topes no necesariamente tienen que ser normalizados, pueden ser de propio diseño siempre que cumplan con su

función.

#### **2.14 Dibujo del troquel**

El trabajo debe contener como aspecto principal el dibujo de montaje del troquel. La cantidad de representaciones, cortes y secciones debe elegirse de tal forma que garanticen una idea compacta sobre la estructura del troquel, el montaje, la relación entre sus elementos, etc. (Levy, 1988). Además del plano de conjunto del troquel debe confeccionarse el plano de la pieza troquelada, el plano de la matriz, el plano de los punzones, etc.

#### **2.15 Análisis económico**

El análisis económico se puede desarrollar por las orientaciones dadas en el texto Herramientas de Conformado, página 75. También se realiza a través del análisis Costo-Beneficio (B/C), lo cual es, una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad.

#### **2.16 Conclusiones parciales**

- 1) Se presentó una metodología para el diseño de troqueles de corte y punzonado siguiendo una secuencia de pasos establecidos por la guía de Troqueles presentada por la Dr. Ing. Guiselda Fernández Levy.
- 2) Se hace mención del Compendio de Normas Cubanas para el diseño de troqueles, el cual se utilizará en el capítulo 3 a la hora de seleccionar los elementos normalizados.

## **CAPÍTULO 3. DISEÑO DE UN TROQUEL DE CORTE Y PUNZONADO PARA LA OBTENCIÓN DE LA BRIDA DE UNA RESISTENCIA ELÉCTRICA.**

Este capítulo consiste en diseñar un troquel de corte y punzonado para la conformación de la brida de una resistencia eléctrica, la cual se fabricará en el INPUD “1ro de Mayo” en el taller de molde y troqueles con que cuenta dicha empresa. Para el desarrollo de este proyecto se basó en la metodología propuesta en el capítulo 2. Dichos pasos fueron indispensables para finalmente elaborar el plano de ensamble requerido para la construcción del troquel.

Antes de comenzar con la metodología propuesta se hace un análisis de las dimensiones, funcionalidad y material de la pieza a conformar. Estos pasos son necesarios para enfrentar el diseño del troquel de corte y punzonado para obtener la brida de una resistencia eléctrica.

### **3.1 Análisis de la pieza**

La pieza está compuesta por cuatro agujeros de diámetro 3 mm y un espesor de 1 mm como se muestra en la figura 3.1. Sus dimensiones y otras especificaciones técnicas se muestran en la figura 1 del anexo 2.

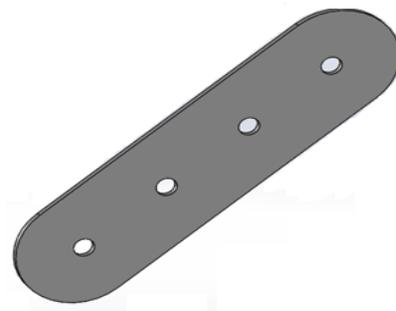


Figura 3.1: Brida de resistencia eléctrica (Solid Works).

### 3.2 Análisis funcional de la pieza

La pieza a elaborar es una brida de resistencia eléctrica (figura 3.2), la cual ha sido diseñada para servir de fijación a los tubos de una hornilla eléctrica (figura 3.3). Al estar sujeta a la resistencia evita que esta se desarme producto del movimiento durante el cambio de lugar o mantenimiento de la hornilla. La brida trabaja en un ambiente abierto expuesta al aire y al calor intenso producido por el calentamiento de los tubos. Se necesita producir 60000 piezas anuales para satisfacer la demanda de hornillas por lo que la producción se considera seriada.



Figura 3.2: Breda de resistencia eléctrica.



Figura 3.3: Hornilla eléctrica.

### 3.3 Selección del material de la pieza

La pieza requiere una vida útil prolongada, por lo que se tuvo en cuenta las condiciones a las que estará sometida durante su período de uso. De acuerdo a lo anterior el material de la brida de resistencia eléctrica será de acero galvanizado. Galvanizar es recubrir con zinc fundido la superficie del acero para protegerlo de la corrosión. El tipo de acero escogido corresponde a un acero blando.

### 3.4 Diseño del troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica

### 3.5 Verificación del plano de la pieza

- a) Radios mínimos de empalme de los ángulos rectos, agudos y obtusos.

Contorno exteriores

$$R_{\text{mín}} = 0,5 \times 1 = 0,5$$

Agujeros

$$R_{\text{mín}} = 0,6 \times 1 = 0,6$$

**b) Tolerancias de todas las dimensiones de la pieza.**

Desviaciones de las medidas en agujeros, (T-3).

$$C_1 = 15 \text{ mm} = \pm 0,15$$

$$C_2 = 45 \text{ mm} \pm 0,15$$

Desviaciones de las medidas desde las superficies bases hasta los agujeros, (T-4).

$$C_4 = 9 \text{ mm} = \pm 0,5$$

$$C_4 = 10 \text{ mm} = \pm 0,5$$

Desviaciones del diámetro del agujero, (T-5).

$$\Phi 3^{+0,06}$$

Desviaciones de las medidas de las piezas planas obtenidas por estampado en frío, (T-7).

$$15 = \pm 0,15 \text{ mm}$$

$$18 = \pm 0,15 \text{ mm}$$

$$45 = \pm 0,15 \text{ mm}$$

$$65 = \pm 0,2 \text{ mm}$$

Valores de tolerancia para medidas libres, (T-8).

$$15 = \pm 0,09 \text{ mm}$$

$$18 = \pm 0,09 \text{ mm}$$

$$45 = \pm 0,13 \text{ mm}$$

$$65 = \pm 0,15 \text{ mm}$$

**c) Verificación del diámetro mínimo a punzonar.**

Medidas mínimas de los agujeros punzonados, (T-2).

$$\frac{d}{s} = \frac{3}{1} = 3 \text{ mm}$$

Diámetro mínimo: 1 mm

3 mm > 1 mm → Se puede punzonar.

d) **Verificación de las distancias entre los agujeros a punzonar y las distancias entre agujeros y el contorno exterior de la pieza.**

Distancia mínima de los agujeros punzonados y las paredes de las piezas, (T-6).

a = 12 mm

a = 8,5 mm

a = 7,5 mm

### 3.6 Selección del troquel a utilizar

Se trabaja con la tabla 2.1 del capítulo 2.

Se escoge un troquel progresivo con placa guía.

### 3.7 Cálculo de la disposición de corte u ordenamiento

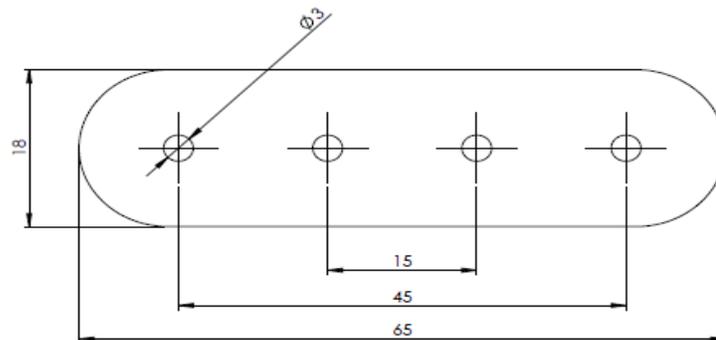


Figura 3.4: Plano de la pieza.

#### **Datos:**

Dimensiones de la plancha: 1000 × 2000 mm

Área de la chapa: 2000 mm<sup>2</sup>

Cantidad de piezas anuales: 60000 piezas

Espesor de la chapa: 1 mm

Material: Acero galvanizado

Tolerancia: IT 12

**Variante 1**

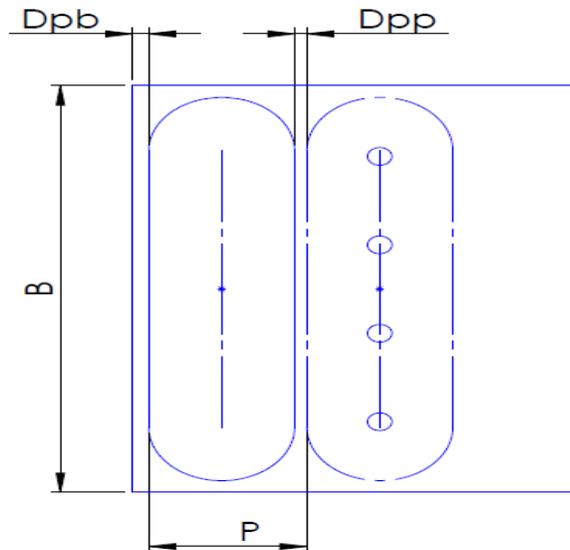


Figura 3.5: Disposición de corte u ordenamiento perpendicular a la tira.

**Distancia pieza-pieza (Dpp) y pieza borde (Dpb).**

$$Dpp = 1,5 \text{ mm}$$

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

**a) Determinación del paso (P).**

$$P = A_p + Dpp$$

$$P = 18 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}$$

$$P = 19,5 \text{ mm}$$

**b) Determinación del ancho de la banda (B).**

$$B = L_N + 2Dpb$$

$$B = 65 \text{ mm} + 2 \times 2 \text{ mm}$$

$$B = 69 \text{ mm}$$

**c) Determinación de la cantidad de piezas por chapa.**

Se determina el número de bandas por chapa (Nb/ch).

Corte longitudinal

$$Nb/ch = A/B$$

$$Nb/ch = 1000/69$$

$$Nb/ch = 14 \text{ bandas/chapas}$$

Corte transversal

$$Nb/ch = L/B$$

$$Nb/ch = 2000/69$$

$$Nb/ch = 28 \text{ bandas/chapas}$$

Se determina el número de piezas por banda (Np/b).

Corte longitudinal

$$Np/b = Lb/P$$

$$Np/b = 2000/19,5$$

$$Np/b = 102 \text{ piezas/bandas}$$

Corte transversal

$$Np/b = Lb/P$$

$$Np/b = 1000/19,5$$

$$Np/b = 51 \text{ piezas/bandas}$$

Se determina el número de piezas por chapa (Np/ch).

Corte longitudinal

$$Np/ch = Np/b \times Nb/ch$$

$$Np/ch = 102 \times 14$$

$$Np/ch = 1428 \text{ piezas/chapas}$$

Corte transversal

$$Np/ch = Np/b \times Nb/ch$$

$$Np/ch = 51 \times 28$$

$$Np/ch = 1428 \text{ piezas/chapas}$$

**d) Cálculo del coeficiente de aprovechamiento del material (K).**

$$K = \frac{A_p \times Np/ch}{A_{ch}} \times 100\%$$

Se calcula el área de la pieza.

$$A_P = (2 \times A_S + A_R) - 4 \times A_C$$

Donde:

$A_S \rightarrow$  Área del semicírculo.

$A_R \rightarrow$  Área del rectángulo.

$A_C \rightarrow$  Área del círculo.

$$A_S = \pi r^2 \times \frac{n}{360} \quad A_R = a \times b \quad A_C = \pi r^2$$

$$A_S = \pi \times 9^2 \times \frac{180}{360} \quad A_R = 18 \text{ mm} \times 47 \text{ mm} \quad A_C = \pi \times 1,5^2$$

$$A_S = 127,2 \text{ mm}^2 \quad A_R = 846 \text{ mm}^2 \quad A_C = 7,1 \text{ mm}^2$$

$$A_P = (2 \times A_S + A_R) - 4 \times A_C$$

$$A_P = (2 \times 127,2 \text{ mm}^2 + 846 \text{ mm}^2) - 4 \times 7,1 \text{ mm}^2$$

$$A_P = 1095,7 \text{ mm}^2$$

$$K = \frac{A_P \times N_p / \text{ch}}{A_{\text{ch}}} \times 100\%$$

$$K = \frac{1095,7 \times 1428}{2000000} \times 100\%$$

$$K = 78,2 \%$$

### Variante 2

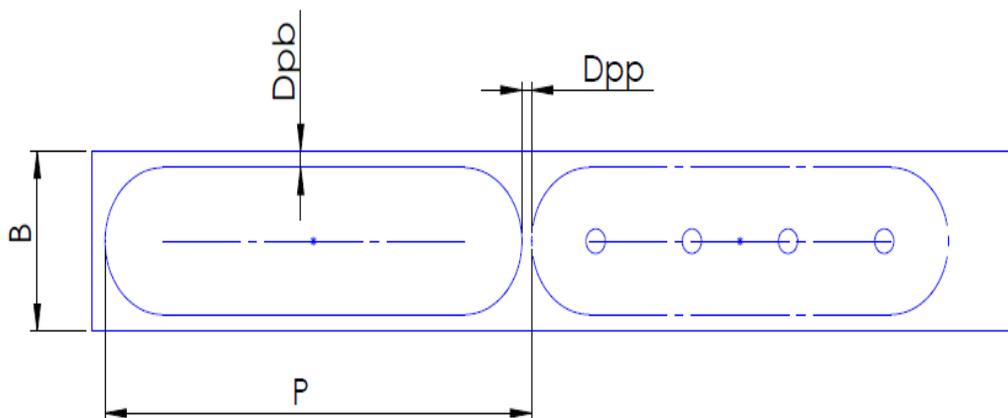


Figura 3.6: Disposición de corte u ordenamiento horizontal a la tira.

### **Distancia pieza-pieza (Dpp) y pieza borde (Dpb).**

$$D_{pp} = 1,5 \text{ mm}$$

$$D_{pb} = 2 \text{ mm}$$

#### a) **Determinación del paso (P).**

$$P = A_p + D_{pp}$$

$$P = 65 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}$$

$$P = 66,5 \text{ mm}$$

**b) Determinación del ancho de la banda (B).**

$$B = L_N + 2D_{pb}$$

$$B = 18 \text{ mm} + 2 \times 2 \text{ mm}$$

$$B = 22 \text{ mm}$$

**c) Determinación de la cantidad de piezas por chapa.**

Se determina el número de bandas por chapa (Nb/ch).

Corte longitudinal

$$Nb/ch = A/B$$

$$Nb/ch = 1000/22$$

$$Nb/ch = 45 \text{ bandas/chapas}$$

Corte transversal

$$Nb/ch = L/B$$

$$Nb/ch = 2000/22$$

$$Nb/ch = 90 \text{ bandas/chapas}$$

Se determina el número de piezas por banda (Np/b).

Corte longitudinal

$$Np/b = L_b/P$$

$$Np/b = 2000/66,5$$

$$Np/b = 30 \text{ piezas/bandas}$$

Corte transversal

$$Np/b = L_b/P$$

$$Np/b = 1000/66,6$$

$$Np/b = 15 \text{ piezas/bandas}$$

Se determina el número de piezas por chapa (Np/ch).

Corte longitudinal

$$Np/ch = Np/b \times Nb/ch$$

$$Np/ch = 30 \times 45$$

$$Np/ch = 1350 \text{ piezas/chapas}$$

Corte transversal

$$Np/ch = Np/b \times Nb/ch$$

$$Np/ch = 90 \times 15$$

$$Np/ch = 1350 \text{ piezas/chapas}$$

**d) Cálculo del coeficiente de aprovechamiento del material (K).**

$$K = \frac{A_p \times Np/ch}{A_{ch}} \times 100\%$$

$$K = \frac{1095.7 \times 1350}{2000000} \times 100\%$$

$$K = 73,9 \%$$

**Nota:** Se escoge el ordenamiento correspondiente a la variante 1 porque tiene un mayor aprovechamiento del material.

**e) Cantidad de chapas necesarias.**

Para calcular la cantidad de piezas necesarias es necesario tener en cuenta el porcentaje de piezas defectuosas. Como la pieza en cuestión presenta recortado y punzonado se verifica dicho porcentaje para las dos operaciones. Se quiere fabricar 60000 piezas anuales, para este valor se tiene un porcentaje de piezas defectuosas igual a 1% para el recortado y de 1,5% para el punzonado individual según la tabla 2.3. Por lo que se deberá planificarse material para:

$$x(1 + \alpha) = t$$

**Recortado:**

$$60000 (1 + 0,01) = 60600 \text{ piezas}$$

**Punzonado:**

$$60000 (1 + 0,015) = 60900 \text{ piezas}$$

Se toma la mayor cantidad de piezas y se hace el cálculo siguiente:

$$\frac{t}{N_{p/ch}} = \text{chapas}$$

$$\frac{60900}{1428} = 43 \text{ chapas}$$

### 3.8 Determinación del centro de fuerza

Se hará mención del analítico debido a que fue el método escogido para el cálculo del centro de fuerza de esta tesis.

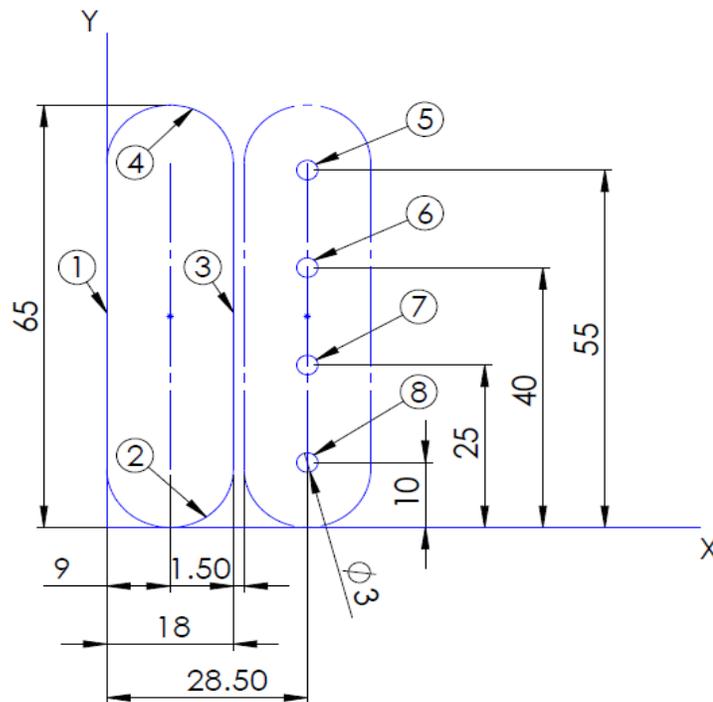


Figura 3.7: Método analítico para buscar el centro de fuerza.

#### Dimensiones en mm.

Partes	Perímetro (l)	x	y	lx	ly
1	47	0	32,5	0	1527,5
2	28,3	9	4,2	254,7	118,9
3	47	18	32,5	846	1527,5
4	28,3	9	60,8	254,7	1720,6

5	9,4	28,5	55	267,5	517
6	9,4	28,5	40	267,5	376
7	9,4	28,5	25	267,5	235
8	9,4	28,5	10	267,5	94
$\Sigma$	<b>188,2</b>			<b>2425,4</b>	<b>6116,5</b>

Tabla 3.1: Ubicación del centro de fuerza.

Perímetro del arco (2; 4).

$$l_{2,4} = \pi r = \pi \times 9 = 28,3 \text{ mm}$$

Se calcula el centro de fuerza correspondiente a un semicírculo.

$$OG = 0,64 \times 9 = 5,8 \text{ mm}$$

Se halla el centro de fuerza del arco para la coordenada y (2; 4).

$$y_2 = 10 - 5,8 = 4,2 \text{ mm}$$

$$y_4 = 55 + 5,8 = 60,8 \text{ mm}$$

Perímetro de los agujeros (5; 6; 7; 8).

$$p_{5,6,7,8} = 2\pi r = 2 \times \pi \times 1,5 = 9,4 \text{ mm}$$

Cálculo del centro de fuerza total.

$$X_{CF} = \frac{\Sigma lx}{\Sigma l} = \frac{2425,4}{188,2} = 20,5 \text{ mm}$$

$$Y_{CF} = \frac{\Sigma ly}{\Sigma l} = \frac{6116,5}{188,2} = 51,7 \text{ mm}$$

### 3.9 Cálculo del juego de corte

Una expresión muy útil para el cálculo del juego es la que corresponde a:

$$U = c \times s\sqrt{0,8 \times \sigma_b} \rightarrow \text{Espesor de la chapa} \leq 3 \text{ mm.}$$

Se toma de la tabla 2.5 el **acero con 0,3 % de C** con una  $\sigma_b = 60 \text{ Kgf/mm}^2$ , el cual corresponde a un acero blando. Este tipo de acero presenta una dureza de 135-160 HB.

$$U = c \times s \sqrt{0,8 \times \sigma_b}$$

$$U = 0,01 \times 1 \sqrt{0,8 \times 60} = 0,069 \text{ mm}$$

### 3.10 Dimensionamiento de los elementos constantes del troquel

La figura 3.8 nos muestra los diferentes tipos de medidas.

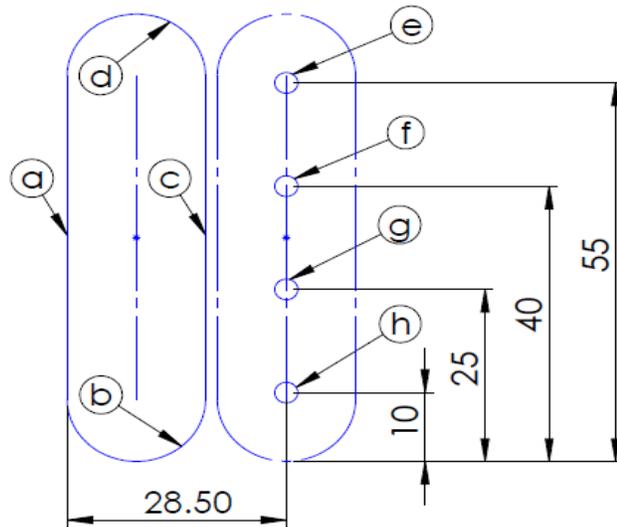


Figura 3.8: Medidas que aumentan, disminuyen y relativas.

Para el dimensionamiento de la matriz se utilizará las siguientes fórmulas:

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_P = (D_M - 2U)^{-f_p}$$

**Dimensiones en mm.**

Medidas que aumentan	Pieza IT 12	Matriz IT 7	Punzón IT 6
a = 47	0,25	0,025	0,016
b = 9	0,15	0,015	0,009
c = 47	0,25	0,025	0,016

d = 9	0,21	0,015	0,009
-------	------	-------	-------

Tabla 3.2: Valores de tolerancias para medidas que aumentan.

**Para el corte o recortado.**

**Para la medida: 47 mm (a, c)**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (47 + 0,125)^{+0,025}$$

$$D_M = 47,13^{+0,025} \text{ mm}$$

Dimensión del punzón

$$D_P = (D_M - 2U)^{-f_p}$$

$$D_P = (47,13 - 2 \times 0,069)^{-0,016}$$

$$D_P = 46,99^{-0,016} \text{ mm}$$

**Para la medida: 9 mm (b, d)**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (9 + 0,075)^{+0,015}$$

$$D_M = 9,08^{+0,015} \text{ mm}$$

Dimensión del punzón

$$D_P = (D_M - 2U)^{-f_p}$$

$$D_P = (9,08 - 2 \times 0,069)^{-0,009}$$

$$D_P = 8,94^{-0,009} \text{ mm}$$

Para el dimensionamiento del punzón se utilizará las siguientes fórmulas:

$$d_p = (d_n + e_s + f_e)^{-f_m}$$

$$d_m = (d_p + 2U)^{+f_p}$$

**Dimensiones en mm.**

Medidas que disminuyen	Pieza IT 12	Matriz IT 7	Punzón IT 6
e = 3	0,12	0,012	0,008
f = 3	0,12	0,012	0,008
g = 3	0,12	0,012	0,008
h = 3	0,12	0,012	0,008

Tabla 3.3: Valores de tolerancias para medidas que disminuyen.

**Para el punzonado.**

El valor de recuperación elástica ( $f_e$ ), (pág. 40, Herramientas de Conformar, Manuel Mallo) depende sólo de la dureza del material y del valor del juego de corte relativo, o relación entre el juego de corte y el espesor de la chapa.

$$u_0 = \frac{u}{s} \times 100\%$$

$$u_0 = \frac{0,069}{1} \times 100\%$$

$$u_0 = 6,9\%$$

Con  $u_0 = 6,9\%$  y dureza 143 HV, según el nomograma, se obtiene  $f_e = 0,01125$ .

**Para la medida: 3 mm (e, f, g, h)**

Dimensión del punzón

$$d_p = (d_n + e_s + f_e)^{-f_m}$$

$$d_p = (3 + 0,06 + 0,01125)^{-0,008}$$

$$d_p = 3,09^{-0,008} \text{ mm}$$

Dimensión de la matriz

$$d_m = (d_p + 2U)^{+f_p}$$

$$d_m = (3,09 + 2 \times 0,069)^{+0,012}$$

$$d_m = 3,23^{+0,012} \text{ mm}$$

Dimensionamiento de las medidas relativas.

**Dimensiones en mm.**

<b>Medidas relativas</b>	<b>Pieza IT 12</b>	<b>Matriz IT 7</b>
10	0,18	0,018
25	0,21	0,021
28,5	0,21	0,021
40	0,25	0,025
55	0,3	0,030

Tabla 3.4: Valores de tolerancias para medidas relativas.

Las medidas relativas se dan por la matriz.

**Para la medida: 10 mm**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (10 + 0,09)^{+0,018}$$

$$D_M = 10,09^{+0,018} \text{mm}$$

**Para la medida: 25 mm**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (25 + 0,105)^{+0,021}$$

$$D_M = 25,11^{+0,021} \text{mm}$$

**Para la medida: 28,5 mm**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (28,5 + 0,105)^{+0,021}$$

$$D_M = 28,61^{+0,021}_0 \text{ mm}$$

**Para la medida: 40 mm**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (40 + 0,125)^{+0,025}$$

$$D_M = 40,13^{+0,025}_0 \text{ mm}$$

**Para la medida: 55 mm**

Dimensión de la matriz

$$D_M = (M_N + E_I)^{+f_m}$$

$$D_M = (55 + 0,15)^{+0,030}$$

$$D_M = 55,15^{+0,030}_0 \text{ mm}$$

**Croquis de la matriz.**

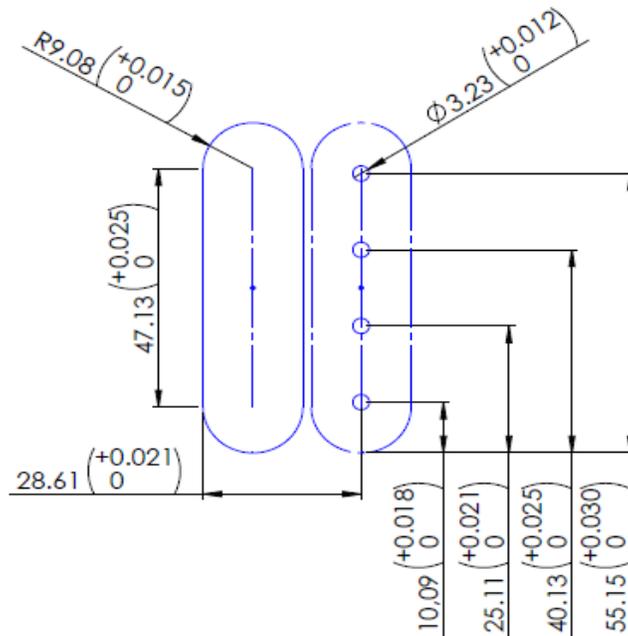


Figura 3.8.1: Dimensiones de la matriz.

**Croquis de los punzones.**

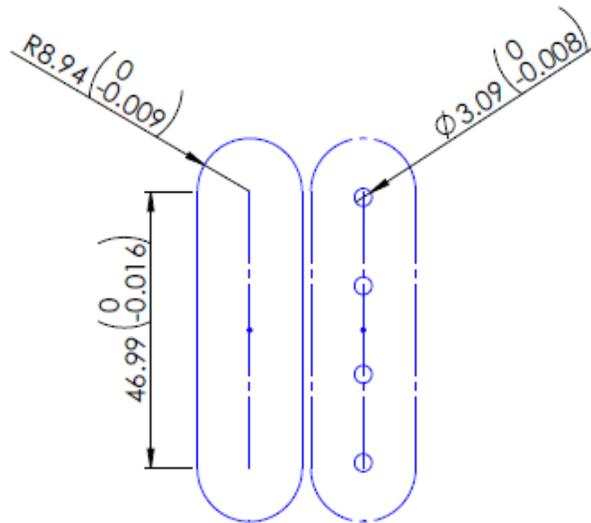


Figura 3.8.2: Dimensiones de los punzones.

### 3.11 Selección del material de los componentes del troquel

Para la selección del tipo material de cada elemento del troquel de corte y punzonado se contó con la experiencia de los diseñadores del área de moldes y troqueles de la INPUD. Esta selección se realizó según la norma GOST, como se indica en la tabla 3.5.

<b>Conjunto Superior</b>	
<b>Elementos</b>	<b>Material</b>
Base superior	45
Sufridera	Y8A
Placa porta punzón	45
Punzones de corte	X12M
Vástago	20
<b>Conjunto Inferior</b>	
<b>Elementos</b>	<b>Material</b>

Base inferior	45
Matriz	X12M
Guías laterales	35
Placa guía	45
Tope inicial	Y8A
Tope fijo	45
Tira	Acero galvanizado

Tabla 3.5: Tipo de material según los elementos que conforman el troquel.

### 3.12 Selección y dimensionamiento del conjunto inferior del troquel

#### 3.12.1 Dimensionamiento de la matriz

En la figura 3.9 se muestra el caso de una brida de resistencia eléctrica. En ella se ve elaborada la figura de la pieza que se obtiene en dos pasos: uno previo en el cual se le punzonan los cuatros agujeros, y el final, en el cual se recorta la pieza punzonada.

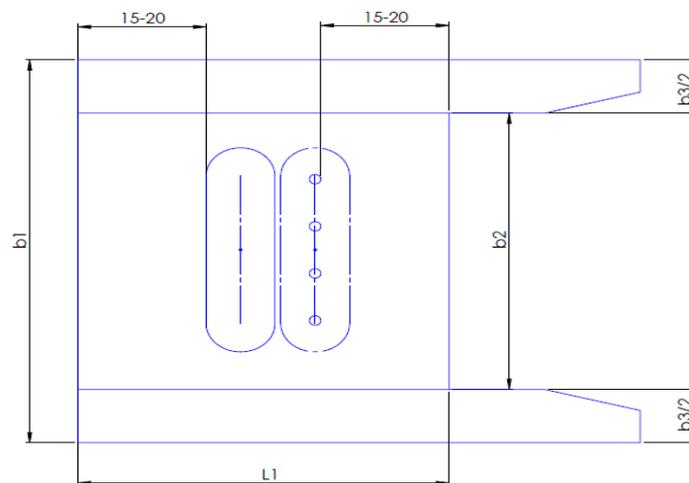


Figura 3 .9: Superficie de trabajo.

Se calcula la superficie de trabajo ( $b_2 \times l_1$ ).

La distancia entre reglillas ( $b_2$ ) se determina por la ecuación siguiente:

$$b_2 = B + 2/\Delta B/+E$$

$$b_2 = 69 \text{ mm} + 2/-0,4/+1,5$$

$$b_2 = 71,3 \text{ mm}$$

Se determina la longitud ( $l_1$ ), que sería la distancia entre los agujeros correspondientes a los punzones más distantes de la matriz más  $15 \div 20$  mm a ambos lados.

$$l_1 = 20 \text{ mm} + 18 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} + 10,5 \text{ mm} + 20 \text{ mm}$$

$$l_1 = 70 \text{ mm}$$

$$b_2 \times l_1 = 71,3 \times 70$$

Una vez que se tengan los valores ( $b_2 \times l_1$ ) se busca una superficie de trabajo normalizada con ayuda de la tabla que aparece en la página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo.

Superficie de trabajo escogida ( $b_2 \times l_1$ ):  $88 \times 97$

La longitud ( $l_1$ ) normalizada es de 97 mm por lo que la distancia que se estimó en un principio para ambos lados ( $15 \div 20$ ) ahora se modifica. Su valor será el siguiente:

$$\frac{97-70}{2} + 20 = 33.5 \text{ mm.}$$

Dimensiones de la matriz, página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Ver figura 2 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

$b_1$	$l_1$	$s_3$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
122	97	23	105	80	50

Tabla 3.6: Dimensiones de la matriz.

**Material:**

Acero X12M, templado y revenido 62-64 HRC.

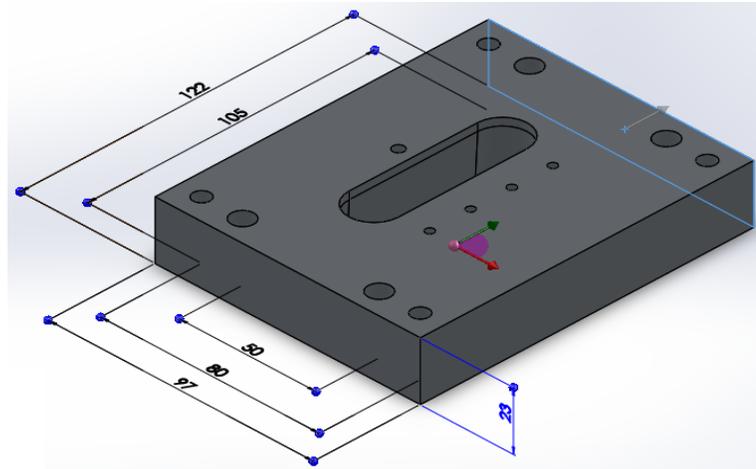


Figura 3.10: Matriz (Solid Works).

### 3.12.2 Dimensionamiento de la placa guía

Dimensiones de la placa guía, página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Ver figura 3 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

$b_1$	$l_1$	$s_3$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
122	97	22	105	80	50

Tabla 3.7: Dimensiones de la placa guía.

**Material:**

Acero 45.

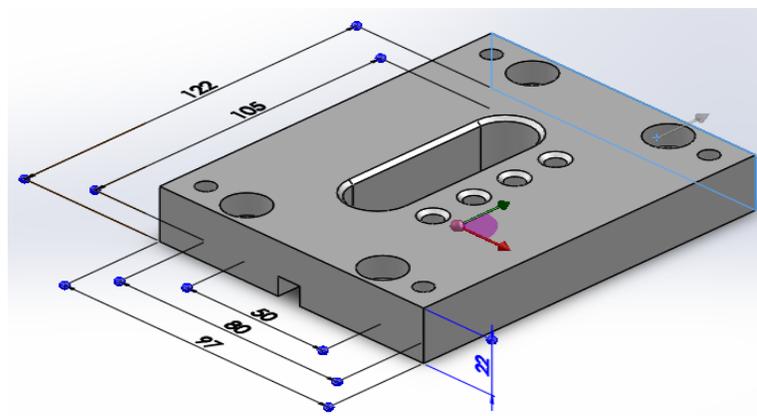


Figura 3 .11: Placa guía (Solid Works).

Encaste

$$D_e = d_t + 5 \text{ a } 6 \text{ mm} \quad (3.1)$$

$$D_e = 8 + 5 \text{ a } 6 \text{ mm}$$

$$D_e = 14 \text{ mm}$$

$$h_e = d_t + 1 \quad (3.2)$$

$$h_e = 8 + 1$$

$$h_e = 9 \text{ mm}$$

### 3.12.3 Dimensionamiento de la placa base

Dimensiones de la base inferior, página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Ver figura 4 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

$b_5$	$l_3$	$s_4$	$e_1$	$e_2$	$e_3$
172	147	27	105	80	50

Tabla 3.8: Dimensiones de la placa base.

**Material:**

Acero 45.

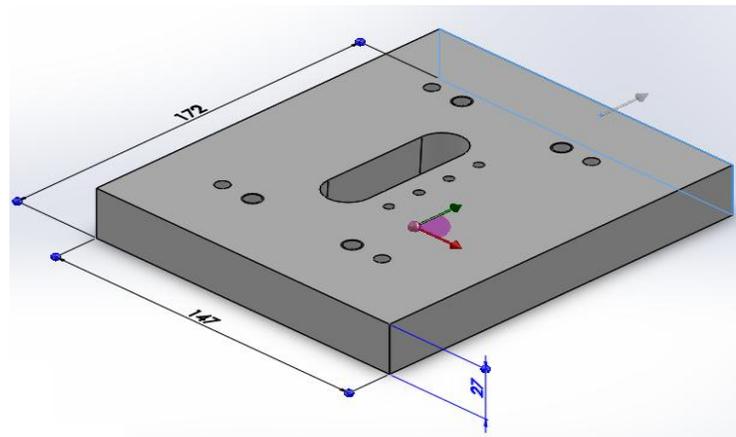


Figura 3.12: Placa base (Solid Works).

### 3.12.4 Dimensionamiento de las guías laterales

Dimensiones de las guías laterales, página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Ver figura 5 y 6 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

$l_3$	$s_2$	$e_2$	$e_3$
147	7	80	50

Tabla 3.9: Dimensiones de las guías laterales.

**Material:**

Acero 35.

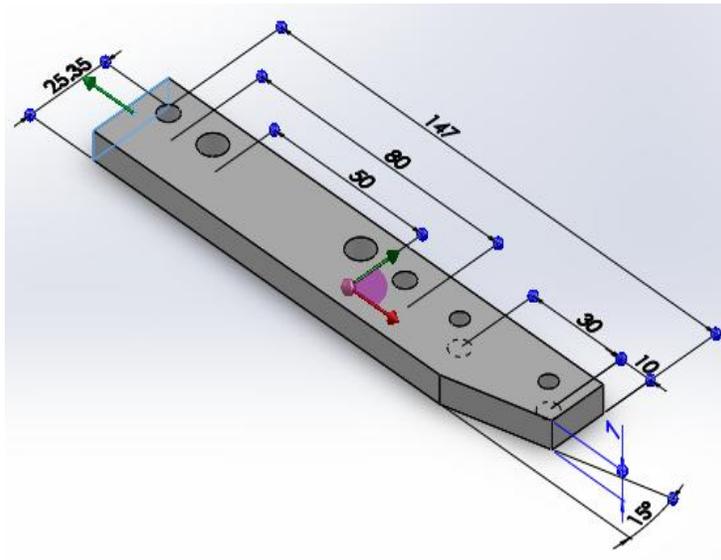


Figura 3.13: Guía lateral derecha (Solid Works).

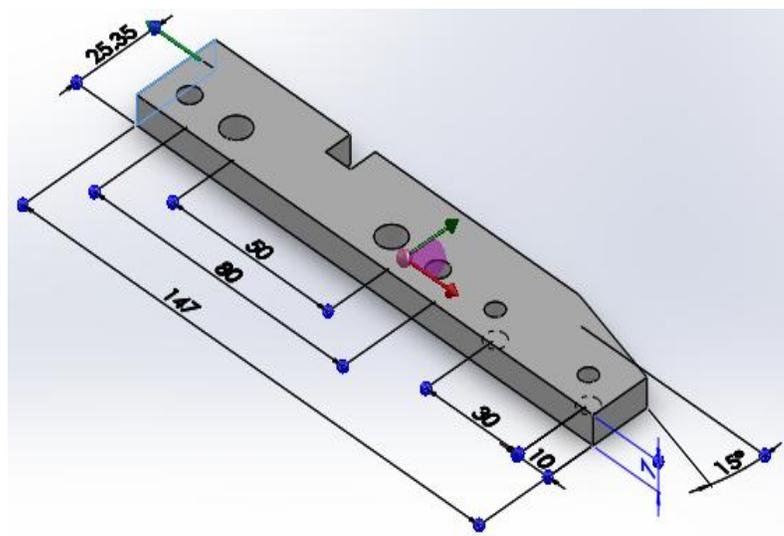


Figura 3 .14: Guía lateral izquierda (Solid Works).

Una vez que se tengan las guías laterales se diseña la traviesa. Las dimensiones de la traviesa estarán determinadas por dichas guías. Ver figura 7.

**Dimensiones en mm.**

<b>l</b>	<b>a</b>	<b>s</b>	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>e<sub>2</sub></b>
122	50	2	105	30

Tabla 3.10: Dimensiones de la traviesa.

**Material:**

Acero 08KP.

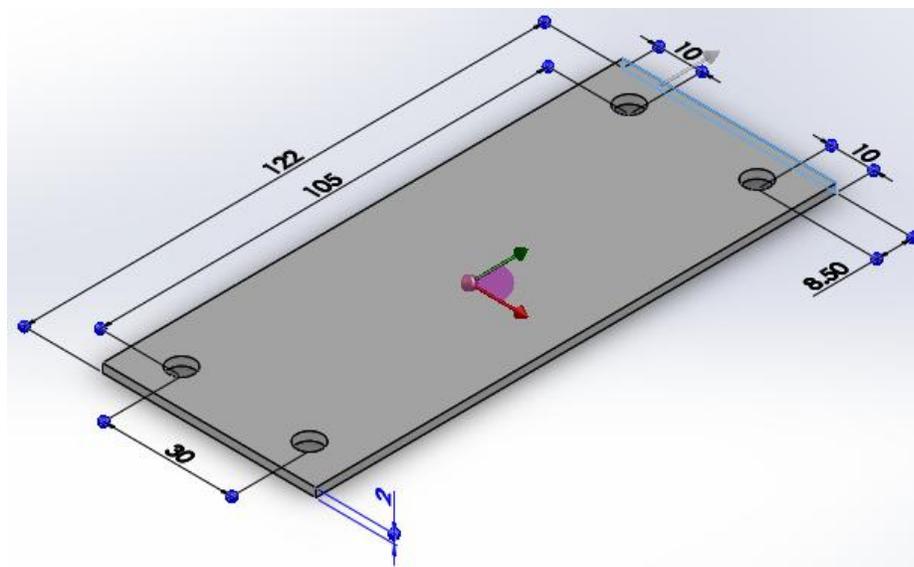


Figura 3 .15: Traviesa (Solid Works).

**3.13 Selección y dimensionamiento del conjunto superior del troquel**

**3.13.1 Dimensionamiento de la placa porta punzón**

Se entra a la página 53 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Aquí se toma la medida nominal  $125 \times 100$  correspondiente para una superficie de trabajo de  $88 \times 97$ . Para el dimensionamiento de la placa porta punzón se busca dicha medida nominal en la página 66. Al no encontrarse se escoge la inmediata superior, la misma es  $125 \times 125$ . Luego se selecciona las demás dimensiones. Ver figura 8 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

<b>b</b>	<b>a</b>	<b>s</b>	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>e<sub>2</sub></b>
122	125	16	103	105

Tabla 3.11: Dimensiones de la placa porta punzón.

**Material:**

Acero 45, templado y revenido 55-58 HRC.

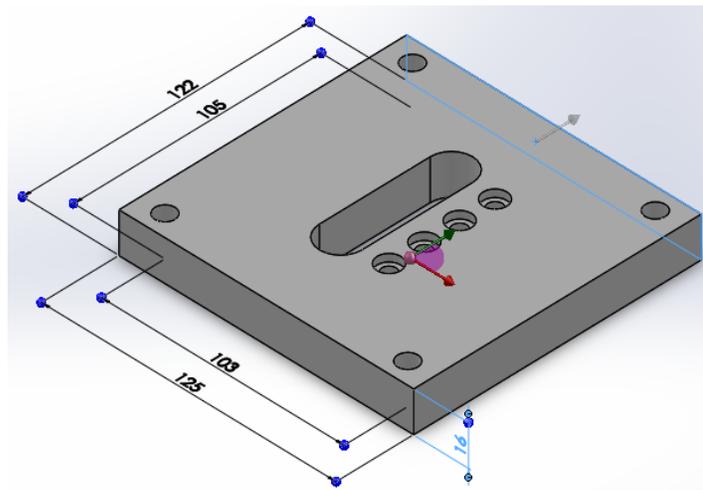


Figura 3 .16: Placa porta punzón (Solid Works).

**3.13.2 Dimensionamiento de la sufridera**

El caso que se analiza presenta cuatro agujeros de 3 mm de diámetro.

Se calcula ( $\sigma_b$ ) por la siguiente expresión:

$$\sigma_b = \frac{F_c}{A_{ap}} \rightarrow N/mm^2$$

Perímetro de corte de un punzón.

$$P_c = (\pi \times d)$$

$$P_c = (\pi \times 3)$$

$$P_c = 9,4 \text{ mm}$$

$$\zeta_c = 48 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$F_c = P_c \times S \times \zeta_c \times 1,3$$

$$F_c = 9,4 \times 1 \times 48 \times 1,3$$

$$F_c = 586,6 \text{ Kgf}$$

$$A_{ap} = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$A_{ap} = \frac{\pi \times 3^2}{4}$$

$$A_{ap} = 7,1 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_b = \frac{F_c}{A_{ap}} = \frac{586,6}{7,1} = 82,6 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$\sigma_b = 82,6 \text{ Kgf/mm}^2 > [\sigma_b] = 18 \text{ Kgf/mm}^2$$

Como  $\sigma_b > [\sigma_b] \rightarrow$  lleva sufridera.

Se selecciona las dimensiones de la sufridera en la página 66 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Ver figura 9 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

<b>b</b>	<b>a</b>	<b>s</b>	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>e<sub>2</sub></b>
122	125	4	103	105

Tabla 3.12: Dimensiones de la sufridera.

**Material:**

Acero Y8A, templado y revenido 56-60 HRC.

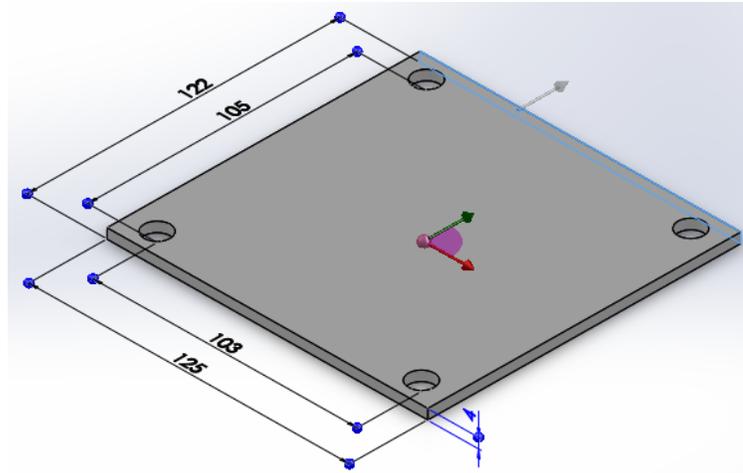


Figura 3 .17: Sufridera (Solid Works).

### 3.13.3 Dimensionamiento de la placa superior

**Croquis para hallar el centro de fuerza en la matriz.**

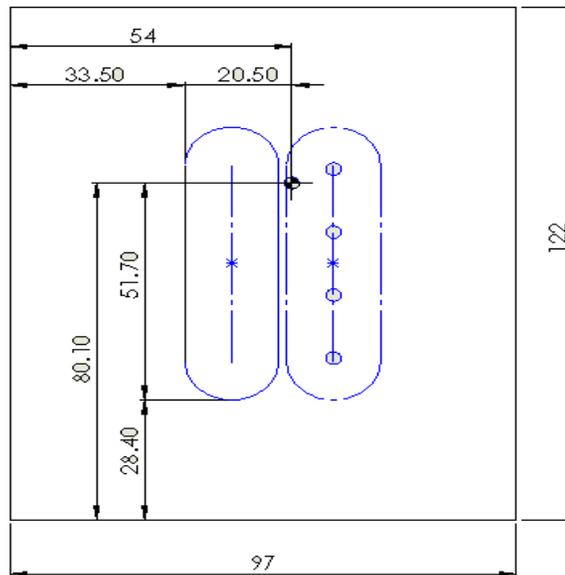


Figura 3 .18: Ubicación del centro de fuerza en la matriz.

Para la coordenada Y

$$Y_{CF} = 51,7 \text{ mm}$$

$$D_M = (M_N + E_I)^{+6m}$$

$$D_M = (65 + 0,15)$$

$$D_M = 65,15 \text{ mm}$$

$$\frac{122 - 65,15}{2} = 28,4 \text{ mm}$$

$$28,4 + 51,7 = 80,1 \text{ mm}$$

Para la coordenada X

$$X_{CF} = 20,5 \text{ mm}$$

$$20,5 + 33,5 = 54 \text{ mm}$$

$$\frac{125 - 97}{2} + 54 = 68 \text{ mm}$$

Se selecciona las dimensiones de la placa superior en la página 66 del texto Herramientas de Conformar, Manuel Mallo. Ver figura 10 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

<b>b</b>	<b>a</b>	<b>k</b>	<b>e<sub>1</sub></b>	<b>e<sub>2</sub></b>
122	125	23	103	105

Tabla 3.13: Dimensiones de la placa superior.

**Material:**

Acero 45.

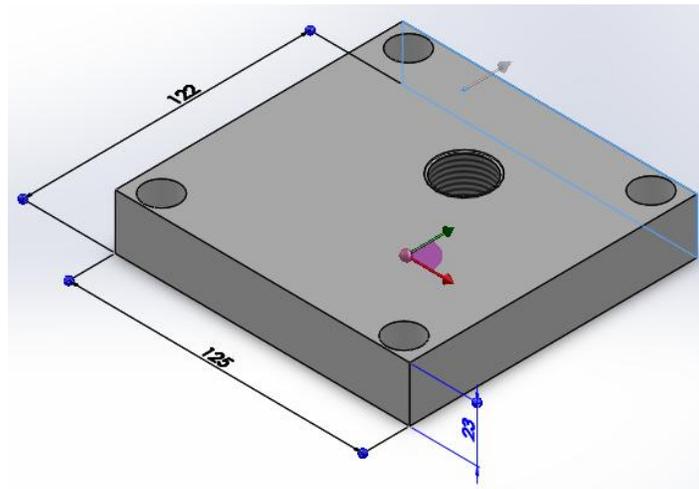


Figura 3 .19: Placa superior (Solid Works).

Encaste

$$D_e = d_t + 5 \text{ a } 6 \text{ mm}$$

$$D_e = 10 + 5 \text{ a } 6 \text{ mm}$$

$$D_e = 15 \text{ mm}$$

$$h_e = d_t + 1$$

$$h_e = 10 + 1$$

$$h_e = 11 \text{ mm}$$

### 3.14 Cálculo de la fuerza de corte y el trabajo para la elección de la máquina

Se calcula la fuerza de corte por la fórmula siguiente:

$$F_c = P_c \times S \times \zeta_c \times 1,3$$

$$P_c = ((\pi \times d) \times 4) + (47 \times 2 + 28,3 \times 2)$$

$$P_c = ((\pi \times 3) \times 4) + (47 \times 2 + 28,3 \times 2)$$

$$P_c = 188,3 \text{ mm}$$

$$\zeta_c = 48 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$F_c = P_c \times S \times \zeta_c \times 1,3$$

$$F_c = 188,3 \times 1 \times 48 \times 1,3$$

$$F_c = 11749,9 \text{ Kgf}$$

$$F_c = 11,7499 \text{ tf}$$

Para calcular el trabajo se emplea la siguiente expresión:

$$W = F_c \times X \times S$$

$$W = 11749,9 \text{ Kgf} \times 0,7 \times 1 \text{ mm}$$

$$W = 8224,9 \text{ Kgf} - \text{mm}$$

$$W = 8,2249 \text{ Kgf} - \text{m}$$

### 3.15 Selección del tipo de prensa

Se entra a la tabla con la fuerza de corte calculada, generalmente esta no coincide con los valores de la tabla por lo que se toma el valor inmediato superior. Después de seleccionar los demás parámetros se chequean los siguientes aspectos:

- a) La fuerza nominal de la prensa debe ser mayor o igual que la fuerza de corte calculada.

$$F_p > F_c$$

25 tf > 11,7499 tf → se cumple la condición.

- b) La capacidad de trabajo de la prensa debe ser mayor o igual que el trabajo necesario en el corte.

$$W_p > W$$

20 Kg-m > 8,2249 Kg-m → se cumple la condición.

- c) Se selecciona la carrera de trabajo de la prensa, la cual debe ser mayor que la carrera de trabajo necesaria para el corte. Esta última, generalmente se calcula como la altura de la reglilla más de  $(2 \div 4)$  mm.

11 mm > 9 mm → se cumple la condición.

- d) Se calcula la altura cerrada del troquel y se comprueba que esté en el rango comprendido entre la altura cerrada mayor y menor de la prensa calculada para la carrera de trabajo.

$$(H - 5 \text{ mm} \geq H \text{ troquel} \geq H_2 - 10 \text{ mm})$$

Donde:

H → Altura cerrada nominal de la prensa (mm).

H<sub>2</sub> → Altura menor cerrada (mm).

La altura cerrada total del troquel de corte y punzonado será la suma de la placa inferior más la placa superior.

Entonces:

$$H \text{ troquel} = H \text{ placa inferior} + H \text{ placa superior}$$

$$H \text{ troquel} = 79 \text{ mm} + 43 \text{ mm}$$

$$H \text{ troquel} = 122 \text{ mm}$$

$$H_2 = H - \frac{h_{\text{máx}} - h_{\text{mín}}}{2} - S$$

$$H_2 = 220 - \frac{80 - 8}{2} - 55$$

$$H_2 = 129 \text{ mm}$$

$$(H - 5 \text{ mm} \geq H \text{ troquel} \geq H_2 - 10 \text{ mm})$$

$$(220 \text{ mm} - 5 \text{ mm} \geq H \text{ troquel} \geq 129 \text{ mm} - 10 \text{ mm})$$

(215 mm ≥ 122 mm ≥ 119 mm) → se cumple la condición.

- e) Por último, deben verificarse otros parámetros geométricos como son el ancho del troquel, sus dimensiones respecto a la mesa de la prensa, el agujero para la salida de las piezas, etc.

Las dimensiones de la palca inferior (Ancho  $\times$  Longitud) del troquel de corte y punzonado tienen que ser menores que la placa de la mesa.

Dimensiones de la placa de la mesa (A  $\times$  L), mm.  $\rightarrow$  (530  $\times$  250)

Dimensiones de la palca inferior (A  $\times$  L), mm.  $\rightarrow$  (172  $\times$  147)

Las dimensiones de la placa de la mesa son mayores que las del troquel de corte y punzonado, por lo que se puede utilizar dicha prensa para la realización del trabajo.

Se toma de la tabla 20 de la guía de troqueles la prensa LENR-25 la cual cumple con los requisitos mencionados anteriormente.

### 3.16 Selección de los elementos normalizados

#### 3.16.1 Selección del vástago

Se entra con el valor del agujero del cabezal siendo de 32 mm, este valor se busca en la NC 09-15. Una vez entrado a la tabla con dicho valor se selecciona las demás dimensiones según la figura representada. Esta selección debe hacerse después de haber seleccionado la prensa. Ver figura 11 del anexo 2.

#### Dimensiones en mm.

<b>dh11</b>	<b>d<sub>2</sub></b>	<b>d<sub>3</sub></b>	<b>l<sub>1</sub></b>	<b>L</b>	<b>s</b>	<b>h</b>	<b>h<sub>1</sub></b>
32	M 24 $\times$ 2	6	20	76	6	6	10

Tabla 3.14: Dimensiones del vástago.

#### Material:

Acero 20, Mejoramiento.

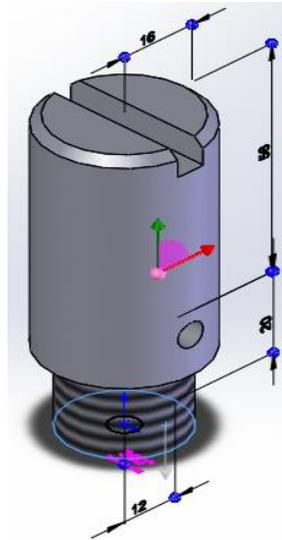


Figura 3.20: Vástago (Solid Works).

### 3.16.2 Selección del punzón de corte

Se utilizará la NC 09-46 debido a que los diámetros de los agujeros de la brida de resistencia eléctrica son de 3 mm. Ver figura 12 del anexo 2.

La longitud del punzón de corte será:

$$L_p = (1 \div 2) \text{ mm} + \text{PPP} + \text{PG} + \text{GL} + (25 \div 30) \text{ mm}$$

$$L_p = 1 \text{ mm} + 16 \text{ mm} + 22 \text{ mm} + 7 \text{ mm} + 25 \text{ mm}$$

$$L_p = 71 \text{ mm.}$$

Se verifica si existe el pandeo ( $L_{\text{máx}} > L_p$ )

$$L_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times I}{F_c}}$$

Según la tabla 3 del anexo 1 para una forma geométrica circular el momento de inercia se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} = \frac{\pi \times 3^4}{64} = 3,97 \text{ mm}^4$$

$$L_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times I}{F_c}}$$

$$L_{\text{máx}} = \sqrt{\frac{\pi^2 \times 2 \times 10^5 \times 3,97}{586,6}}$$

$$L_{\text{máx}} = 115,6 \text{ mm}$$

$$L_{\text{máx}} > L_p$$

115,6 mm > 71 mm → Se cumple la condición.

**Dimensiones en mm.**

dh7	L	l	Dm	D <sub>1</sub>	h
3	71	8	6	10	3

Tabla 3.15: Dimensiones de los punzones cilíndricos.

**Material:**

Acero X12M, templado y revenido HRC 56-60.

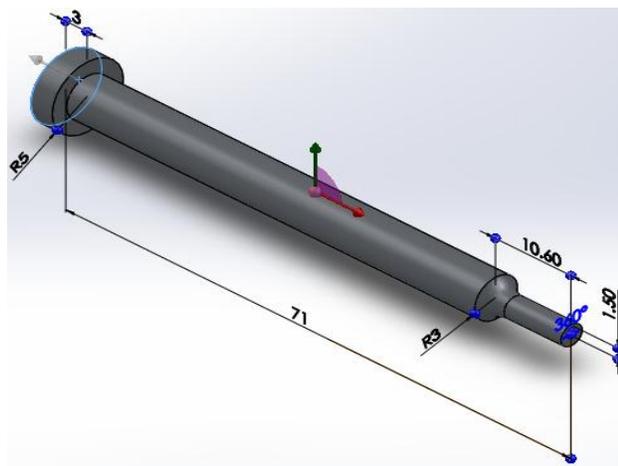


Figura 3 .21: Punzón cilíndrico (Solid Works).

Las dimensiones del punzón de corte van a estar dadas por la pieza a conformar. Ver figura 13 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

A	L	R	P
18	65	9	71

Tabla 3.16: Dimensiones del punzón de corte.

**Material:**

Acero X12M, templado y revenido HRC 56-60.

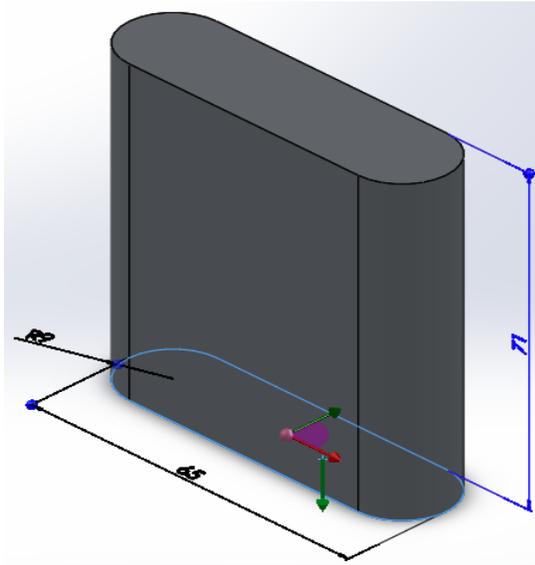


Figura 3.22: Punzón de corte (Solid Works).

**3.16.3 Selección del tope inicial**

El tope inicial se encuentra normado en la NC 09-52. Ver figura 14 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

Espesor de la guía lateral	b	ah6		L
		Nominal	Ajuste	
8	15	8	0 -0,009	55

Tabla 3.17: Dimensiones del tope inicial.

**Material:**

Acero Y8A, templado y revenido HRC 45-50.

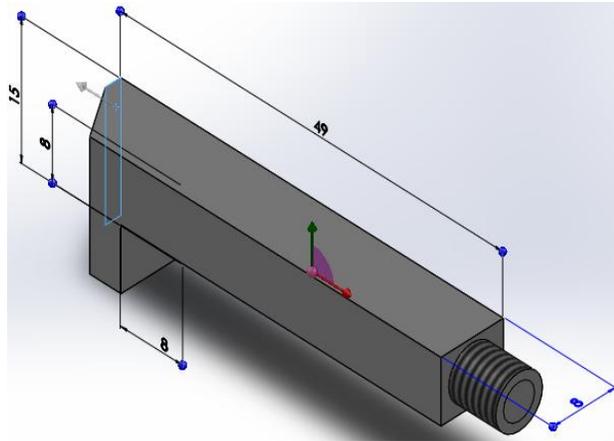


Figura 3.23: Tope inicial (Solid Works).

### 3.16.4 Selección del tope fijo

El tope escogido se encuentra normado en nuestro país, en dos variantes en la NC 09-44. Ver figura 15 del anexo 2.

**Dimensiones en mm.**

<b>D</b>	<b>d(n7)</b>	<b>d<sub>1</sub>(H7)</b>	<b>h</b>	<b>H</b>
8	4	4	3	12

Tabla 3.18: Dimensiones del tope fijo.

**Material:**

Acero 45, Mejoramiento.

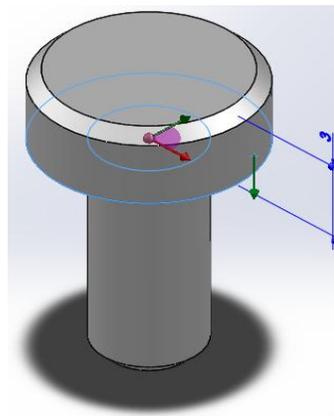


Figura 3.24: Tope fijo (Solid Works).

### 3.17 Dibujo del troquel progresivo de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica

En la figura 3.25 se muestra el plano de ensamble del troquel de corte y punzonado con el cual se obtendrá la brida de una resistencia eléctrica. Las especificaciones técnicas del mismo y de los demás elementos que lo conforman se encuentran en el anexo 2.

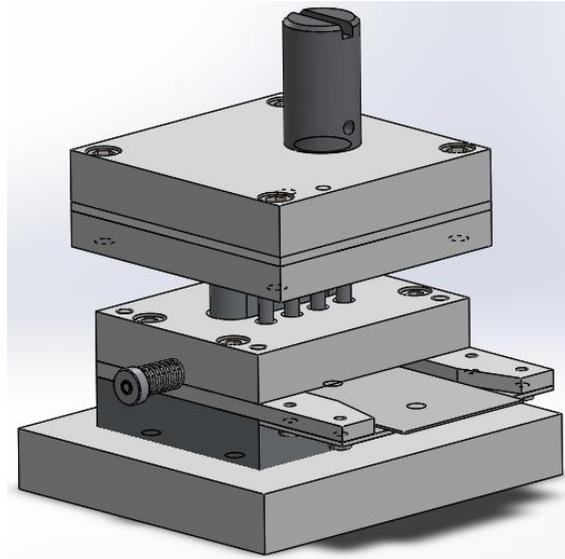


Figura 3.25: Plano de ensamble del troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica (Solid Works).

### 3.18 Análisis económico del troquel progresivo de corte y punzonado

En la tabla 4 del anexo 1 se muestra la ficha de costo del troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica, en la cual se encuentran los gastos de producción de esta herramienta en moneda total y en pesos convertibles CUC. Según el análisis Costo-Beneficio, un proyecto será rentable cuando la relación Costo-Beneficio es mayor que la unidad. Por lo que si  $B/C > 1$ , el proyecto es rentable.

Para la evaluación del proyecto propuesto se tuvo en cuenta varias premisas como son:

- a) La inversión se analiza para 5 años de vida útil.
- b) La evaluación se realizó en moneda total.
- c) Se aplicó el 12.5 % estipulado por el Ministerio de Finanzas y Precios (MFP) como contribución a la seguridad social.

- d) Se aplicó el 25 % como impuesto sobre el salario establecido en la Ley 73 del Sistema Tributario.
- e) La tasa de actualización utilizada para el estudio es del 12 %.
- f) El número de años que se evalúa la inversión es de 2.
- g) Como margen comercial se estableció el 10% por encima del costo en CUC.
- h) Para calcular el factor de actualización se ha utilizado la fórmula  $\Sigma IT \times \text{vida útil} / (1 + k)^n$ , donde k es la tasa de actualización y n el número de años que se evalúa la inversión.

Se estima que se producirán al año aproximadamente 1 unidad a un precio de venta de 6677.04 MT. Por lo que de forma anual (tabla 3.18):

Concepto	Valores (MT)
Ingresos totales	6677.04
Costos totales	5747.88
$\Sigma$ Ingresos totales actualizados	26614.48
$\Sigma$ Costos totales actualizados	22910.87

Tabla 3.18: Producción anual.

Por lo que:

$$\frac{B}{C} = \frac{\Sigma IT \text{ actualizados}}{\Sigma CT \text{ actualizados}}$$

IT → cantidad de artículos en un año × precio.

$$IT = 1 \times 6677.04 = 6677.04$$

$$IT \text{ actualizados} = \frac{IT \times \text{vida útil}}{(1 + 0.12)^2} = \frac{6677.04 \times 5}{(1 + 0.12)^2} = 26614.48 \text{ MT}$$

CT → cantidad de artículos en un año × gastos totales o costo de producción.

$$CT = 1 \times 5747.880 = 5747.88 \text{ MT}$$

$$CT \text{ actualizados} = \frac{CT \times \text{vida útil}}{(1 + 0.12)^2} = \frac{5747.88 \times 5}{(1 + 0.12)^2} = 22910.87 \text{ MT}$$

$$\frac{B}{C} = \frac{26614.48}{22910.87} = 1.16$$

$\frac{B}{C} > 1 \rightarrow$  es viable la propuesta.

$1.16 > 1 \rightarrow$  es viable la propuesta.

### **3.19 Conclusiones parciales**

- 1) Se cuenta con todo lo necesario para el diseño y construcción del troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica mediante la metodología propuesta.
- 2) Según el análisis Costo-Beneficio realizado para el diseño del troquel de corte y punzonado es rentable, ya que la relación B/C es mayor que la unidad.
- 3) La aplicación de modelado en 3D por medio de software de dibujo garantiza una mayor calidad del producto y fiabilidad en el diseño a la vez que agiliza la respuesta de entrega en un menor tiempo.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- 1) Se realizó una búsqueda bibliográfica acerca del diseño de troqueles de corte y punzonado donde podemos destacar que el diseño de troqueles es un proceso complejo basado fundamentalmente en la experiencia y habilidades del diseñador.
- 2) Se realizó el diseño de un troquel de corte y punzonado para la obtención de la brida de una resistencia eléctrica mediante la metodología propuesta.
- 3) Según el análisis Costo-Beneficio realizado para el diseño del troquel de corte y punzonado es rentable, ya que la relación B/C es mayor que la unidad.

### Recomendaciones

- 1) Continuar con la búsqueda de parámetros y criterios que influyen en el diseño de troqueles de corte y punzonado.
- 2) Poner a prueba la metodología propuesta para el diseño de troqueles de corte y punzonado en la INPUD.
- 3) Realizar un estudio acerca de las otras operaciones a la que está sometida la chapa durante el proceso de conformado.

**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- ASCAMM, C. T. 2014. Matrices Progresivas.
- BERMUDEZ, L. S. A. 2009. *Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica.*
- CALVET, J. P. 1979. Estampado y prensado a máquina.
- COVARRUBIAS, J. C. C. & GARZA, S. N. D. L. 2001. *Desarrollo de una técnica de diseño de alta velocidad para producir laminación rotor-estator grapado.*
- CRESPO, L. L. D., CRESPO, R. R., MARTÍNEZ, Y. H. & MARTÍNEZ, L. H. 2012. Desarrollo del troquel progresivo para la conformación de la cubierta metálica del magnetizador de fluido. *Avances.*
- FERREIRO, M. L. 2011. *Diseño de una matriz progresiva para chapa.*
- FLORIT, A. 2005. *Fundamentos de matricería, corte y punzonado.*
- GALLARDO, M. M. 1984. *Herramientas de Conformar.*
- GARMO, P. & KOHSER, R. A. 1988. *Materiales y procesos de fabricación.*
- GONZÁLEZ, H. L., NIETO, G. A. R. & MARTINEZ, R. R. 2012. *Diseño herramental para un troquel para geometrías simples y corridas cortas.*
- HOYOS, J. E. C. 2013. *Desarrollo de aspectos metodológicos en el diseño de matrices progresivas.*
- KALPAKJIAN, S., SCHMID, S. R. & STEVEN, S. 2002. *Manufactura, ingeniería y tecnología.*
- LEVY, G. F. 1988. *Troqueles.*
- LÓPEZ, M. A. A. 2015. *Diseño y manufactura de un troquel de corte con fines didácticos.*
- ROSSI, M. 1971. *Estampado de la chapa en frío.*
- SOTO, J. M. 2014. *Diseño de un troquel progresivo.*
- VILLAR, C. M. 2015. *Troqueles y troquelado para la producción de grandes series de piezas.*

## ANEXOS

## Anexo I Tablas utilizadas en la metodología

**Tabla 1: Composición química aproximada de algunos de los materiales más utilizados en la fabricación de troqueles según la norma DIN 17007.**

DIN 17007	GOST	Composición química en %										
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W	Cu
Ck22 ó C22E	20	0.17 + 0.24	0.17 + 0.37	0.35 + 0.65	0.035	0.040	≤0.25	-	≤0.25	-	-	≤0.25
Ck45 ó C45E	45	0.42 + 0.50	0.17 + 0.37	0.50 + 0.80	0.035	0.040	≤0.25	-	≤0.25	-	-	0.25
C80W2	Y8A	0.75 + 0.84	0.15 + 0.35	0.15 + 0.30	≤0.03 0	≤0.020	≤0.15	-	≤0.20	-	-	≤0.20
C105W1	Y10A	0.95 + 1.04	0.15 + 0.35	0.15 + 0.30	≤0.03 0	≤0.020	≤0.15	-	≤0.20	-	-	≤0.20
105WCr6	XBG	0.90 + 0.90	0.15 + 0.15	0.80 + 0.80		≤0.030	0.90 +	≤0.30	≤0.35	≤0.05	1.20 +	0.30

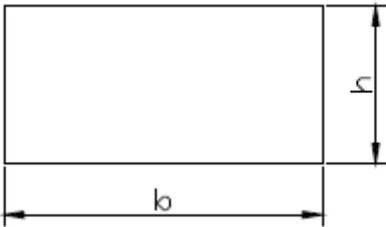
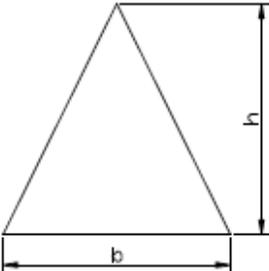
		1.05	0.35	1.10	≤0.03 0		1.20				1.60	
X210Cr12	X12	2.00 +	0.15 +	0.15 +	≤0.03 0	≤0.030	11.5 +	≤0.15	≤0.35	≤0.05	≤0.20	0.30
Ck67 6 Ck67E	65GA	0.65 +	0.15 +	0.70 +	0.025	0.025	≤0.15	-	≤0.20	-	-	≤0.20
		2.20	0.35	0.40			13.0					
		0.70	0.30	1.50								

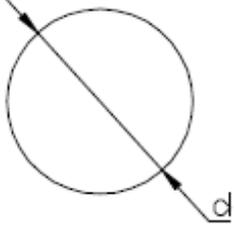
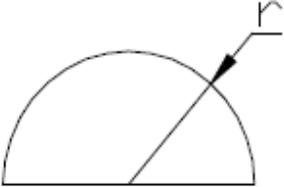
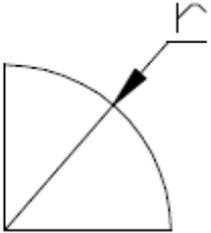
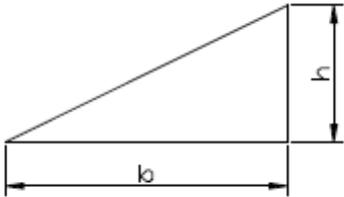
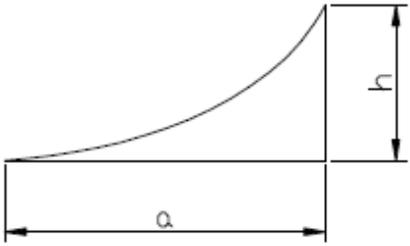
**Tabla 2: Equivalencia de los aceros más utilizados por la norma DIN 17007 en la fabricación de troqueles con otras normas utilizadas internacionalmente.**

Normas	Materiales							
DIN 17007	X155CrVMO12-1	X21Cr12	105WCr6	C105W1	C80W2	Ck45 C45E	Ck22 C22E	Ck67 CK67E
GOST	X12MΘ	X12	XBG	Y10A	Y8A	45	20	65GA
Código Normas alemanas	1.2379	1.2080	1.2419	1.1545	1.1625	1.1191	1.1151	1.1231
AFNOR	Z160CDV12 X160CrMoV12	Z200C12 X200Cr12	105WC13 105WCr15	Y1105 C105E2U	Y180*	XC45 XC42H1	2C22 XC25 XC18	XC68
B.S	BD2	BD3	B01*	060A96*	BW1B	080M46 060A47	050A20 055M15	060A67
UNI	X150CrMo12KU X155CrVMo121KU	X205Cr12KU	100WCr6 107WCr5KU	C98KU C100KU	C100*	C45 C46	C20 C25	C70
JIS	SKD11	SKD1	SKS31 SKS2 SKS3	SK3	SKC3 SK5 SK6	SC45C S48C	S20C S20Ck	-
SS	2310	-	2140	1880	1870*	1672	1312*	1770

							1450	
UNE	F.520*	X120Cr12 F.5212	105WCr5 F.5223	F.515 F.16	F.5107 C80	F.1140- C45K F.1142- C48K	F1120-C25k	-
AISI Ó ASTM	D2	D3	E51100**	W110	W1	1045	1020 1023	1070
GB	Cr12MoV	Cr12	CrWMn	T10A	T8	45	20	65Mn
EN	X160CrMoV121	X210Cr12	107WCr5	CT105	CT80	C45E	C20D*	60Si7
* Puede ser usado como sustituto.								
** Puede ser usado como sustituto limitadamente (Exigir contenido mínimo de C)								

**Tabla 3: Localización del centroide y cálculo del momento de inercia para las formas geométricas más comunes.**

Forma	Área	Centroide	Momento de inercia
	$A = b \times h$	$x = \frac{b}{2}$ $y = \frac{h}{2}$	$I = \frac{1}{12}bh^3$
	$A = \frac{b \times h}{2}$	$x = 0$ $y = \frac{1}{3}h$	$I = \frac{1}{36}bh^3$

	$A = \frac{1}{4} \pi \times d^2$ $A = \pi \times r^2$	$x = 0$ $y = 0$	$I = \frac{\pi \times d^4}{64}$
	$A = \frac{\pi \times r^2}{2}$	$x = 0$ $y = \frac{4 \times r}{3 \times \pi}$	$I = 0,11 \times r^4$
	$A = \frac{\pi \times r^2}{4}$	$x = \frac{4 \times r}{3 \times \pi}$ $y = \frac{4 \times r}{3 \times \pi}$	$I = 0,055 \times r^4$
	$A = \frac{b \times h}{2}$	$x = \frac{1}{3} \times b$ $y = \frac{1}{3} \times h$	$I = \frac{1}{36} b \times h^3$
	$A = \frac{a \times h}{3}$	$x = \frac{3 \times a}{4}$ $y = \frac{3 \times h}{10}$	$I = \frac{8a^3 \times b}{175}$

**Tabla 4: Ficha de costo.**

MINISTERIO DE FINANZAS Y PRECIOS MINISTERIO DE ECONOMÍA Y PLANIFICACIÓN FICHA PARA PRECIOS Y SU COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES.	
EMPRESA: INPUD	

Organismo: SIME	DESCRIPCIÓN DEL PRODUCTO: Troquel de corte y punzonado de la brida de la resistencia Hta 572-287		
Código: 103.0.1125			
Plan de producción:	UM: Uno		
Producción periodo anterior:	Código:		
Capacidad instalada:	% de capacidad utilizada:		
<b>Concepto de gastos</b>	<b>Fila</b>	<b>Total Unitario</b>	<b>De ello: CUC</b>
1	2	3	4
<b>Materia Prima y Materiales</b>	<b>1</b>	<b>1102.086</b>	<b>907.978</b>
Materias primas y materiales fundamentales	1.1	515.821	321.731
Combustibles y lubricantes	1.2	1.470	1.470
Energía eléctrica	1.3	584.778	584.778
Agua	1.4	0.017	0.000
<b>Sub total (Gastos de elaboración)</b>	<b>2</b>	<b>4645.794</b>	<b>512.605</b>
<b>Otros Gastos directos</b>	<b>3</b>	<b>109.170</b>	<b>5.263</b>
Depreciación	3.1	109.170	
Arrendamiento de equipos	3.2		
Ropa y calzado (trab. Directos)	3.3		5.263
<b>Gastos de fuerza de trabajo</b>	<b>4</b>	<b>1331.523</b>	<b>24.381</b>
Salarios	4.1	878.110	
Vacaciones	4.2	79.820	
Contribución a la seguridad Social	4.3	134.110	
Impuesto sobre el salario 25%	4.4	239.483	
Estimulación en Divisas	4.5		24.381
<b>Gastos indirectos de producción</b>	<b>5</b>	<b>2098.683</b>	<b>289.776</b>
Depreciación	5.1	87.811	
Mantenimiento y reparación	5.2	318.754	160.958
<b>Gastos generales y de administración</b>	<b>6</b>	<b>799.080</b>	<b>114.154</b>
Combustible y lubricantes	6.1	12.294	
Energía eléctrica	6.2	0.878	
Depreciación	6.3	36.881	
Ropa y Calzado	6.4		1.316
Alimentos	6.5		71.119
Otros	6.6	749.028	41.720
<b>Gastos de Distribución y Ventas</b>	<b>7</b>	<b>307.339</b>	<b>79.030</b>
Combustible y lubricantes	7.1	7.903	
Energía eléctrica	7.2		
Depreciación	7.3	97.470	

Ropa y Calzado	7.4		0.263
Otros	7.5	201.965	78.767
<b>Gastos Bancarios</b>	<b>8</b>		
<b>Gastos Totales o Costo de producción</b>	<b>9</b>	<b>5747.880</b>	<b>1420.583</b>
<b>Margen utilidad s/ base autorizada</b>	<b>10</b>	929.159	
<b>PRECIO</b>	<b>11</b>	<b>6677.04</b>	
<b>% Sobre el gasto en divisas</b>	<b>12</b>		142.058
<b>COMPONENTE EN PESOS CONVERTIBLES</b>	<b>13</b>		<b>1562.64</b>

**Anexo II Especificación técnica de los elementos del troquel de corte y punzonado**

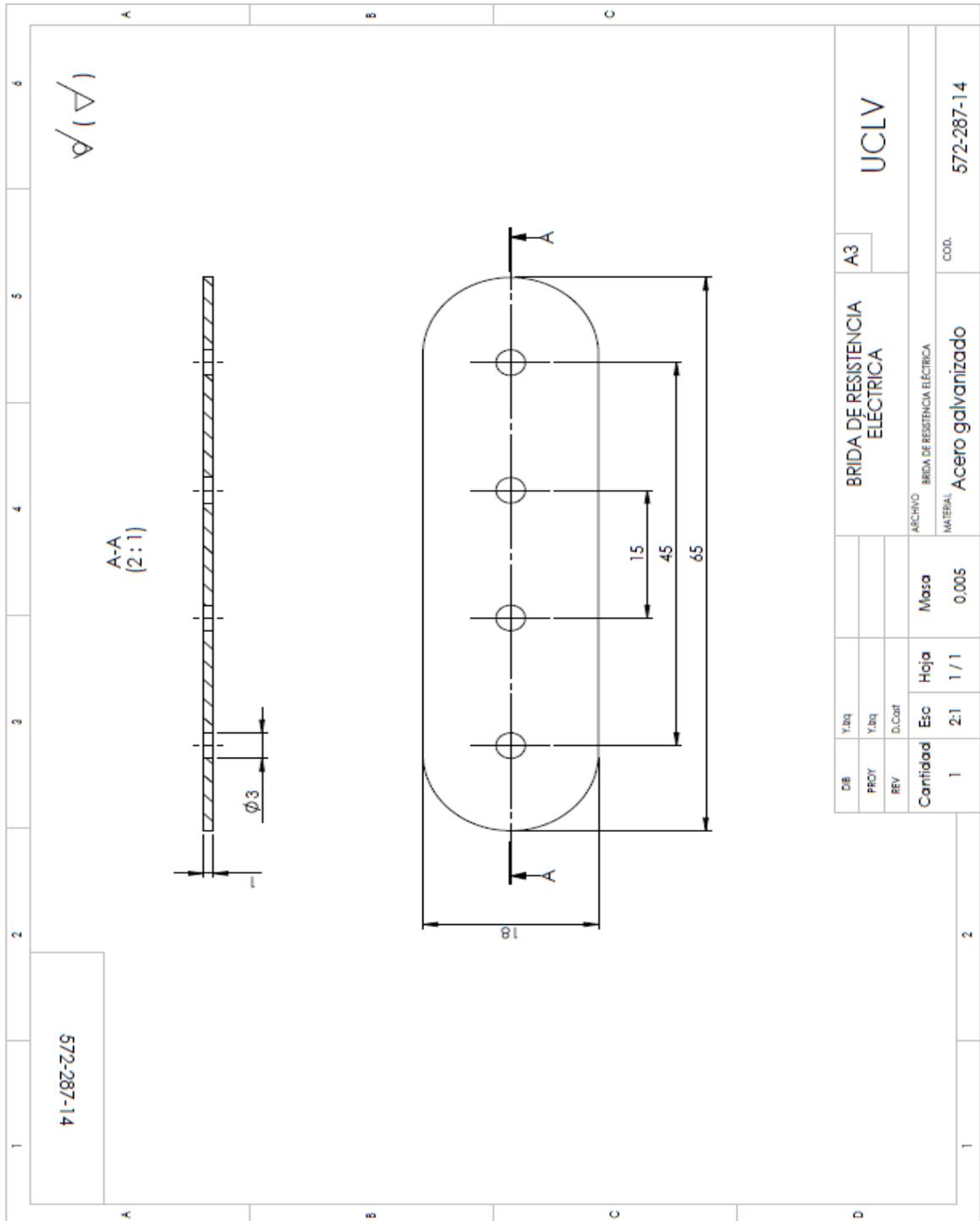


Figura 1: Brida de resistencia eléctrica.

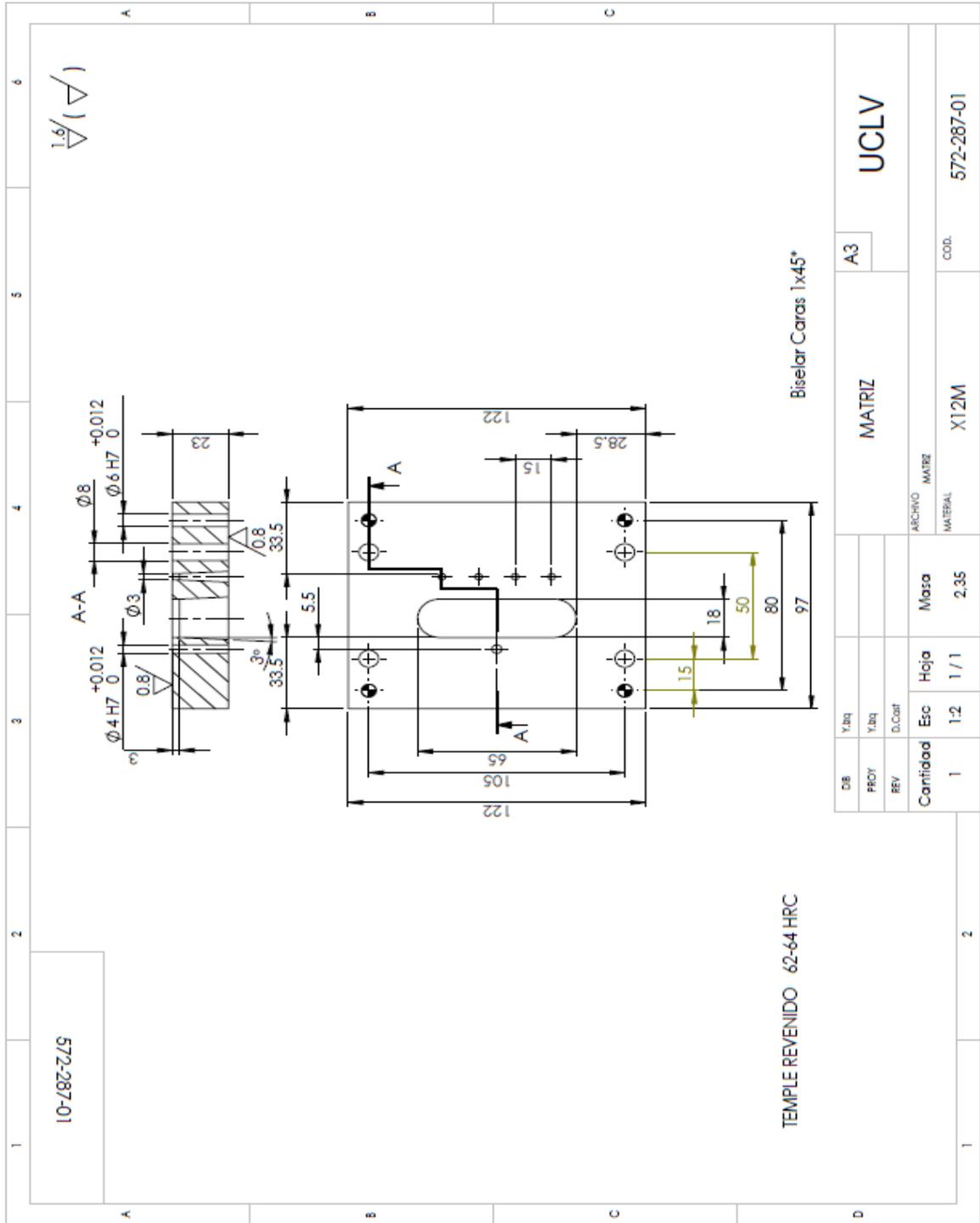


Figura 2: Dimensiones de la matriz.



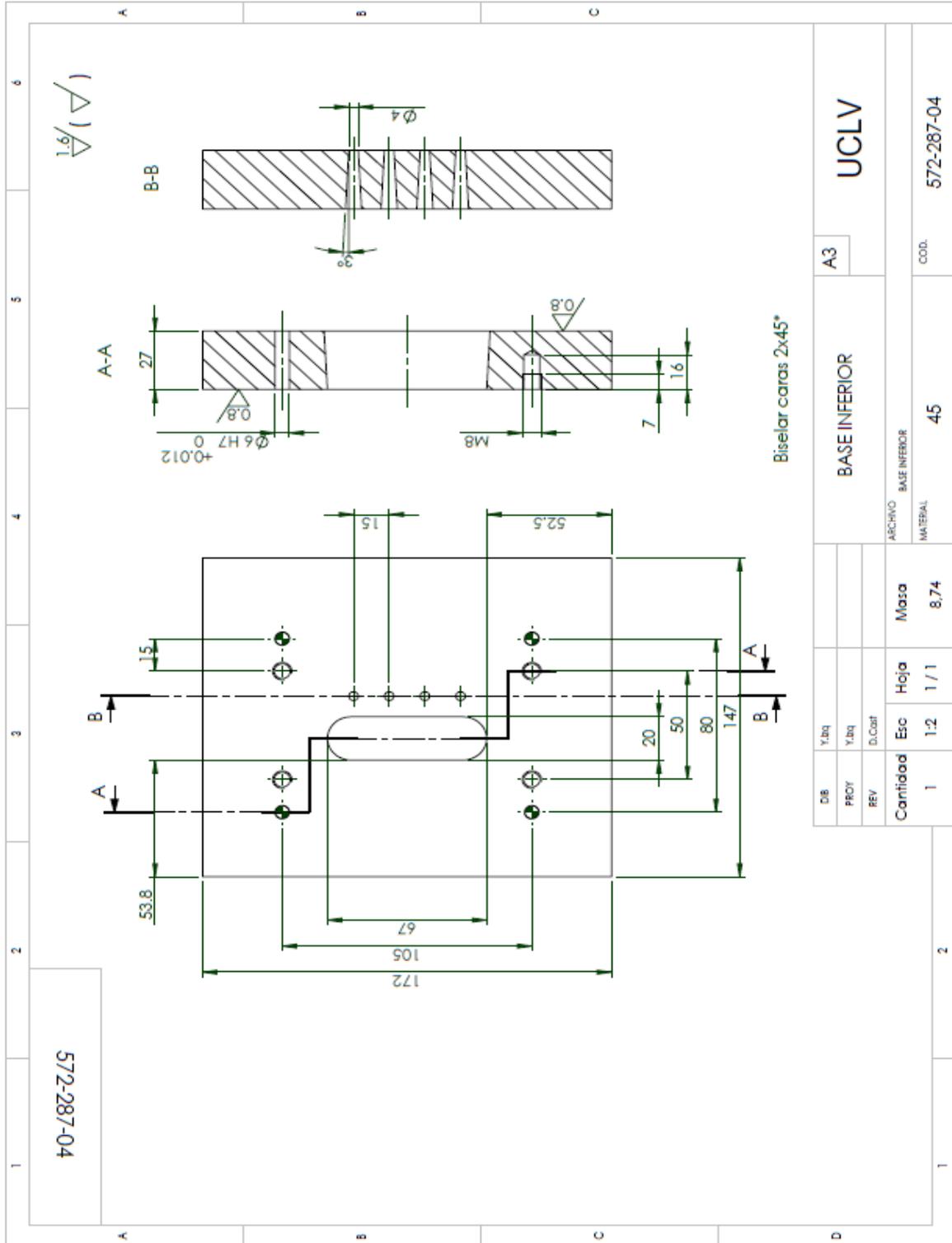


Figura 4: Dimensiones de la placa base.

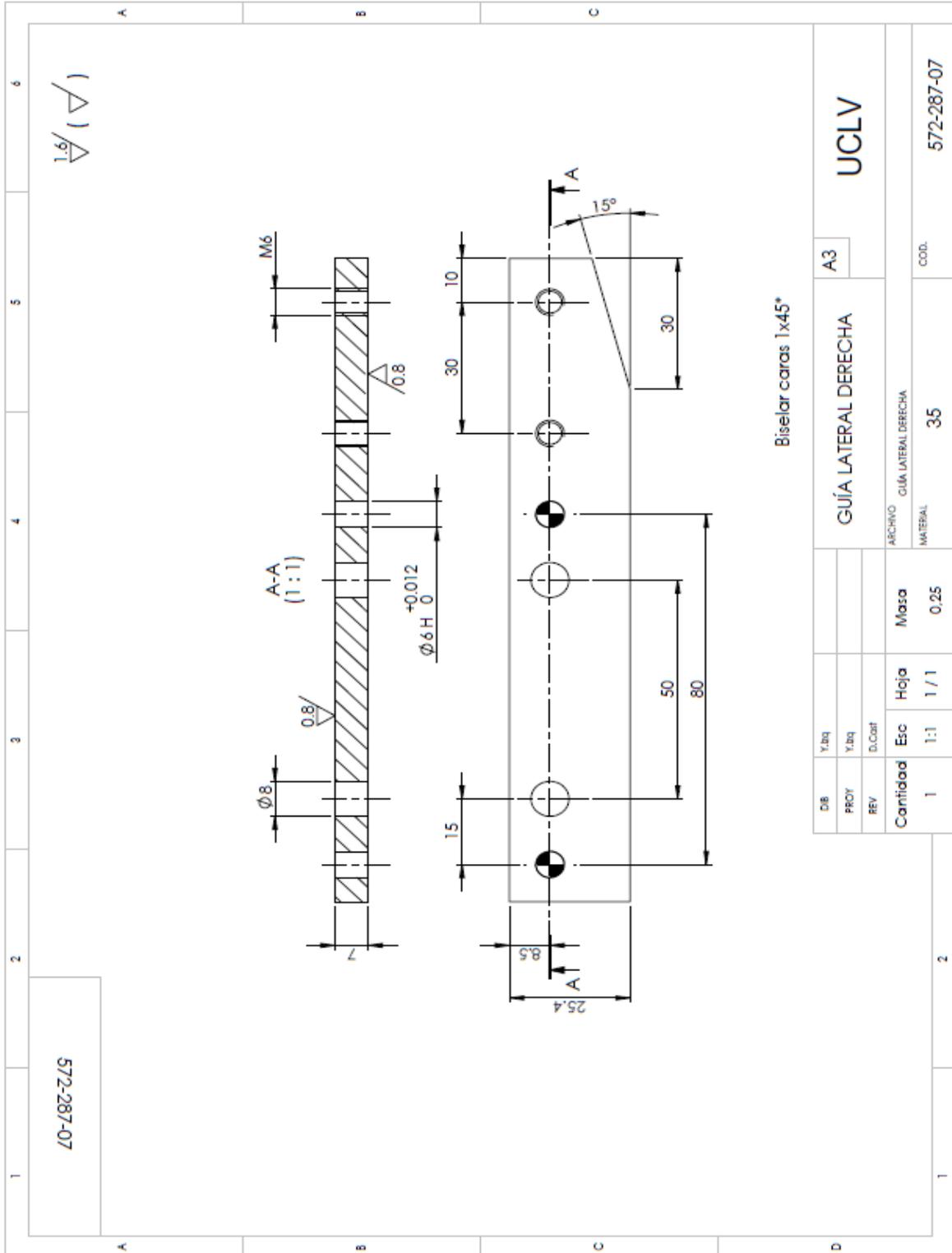


Figura 5: Dimensiones de la guía lateral derecha.

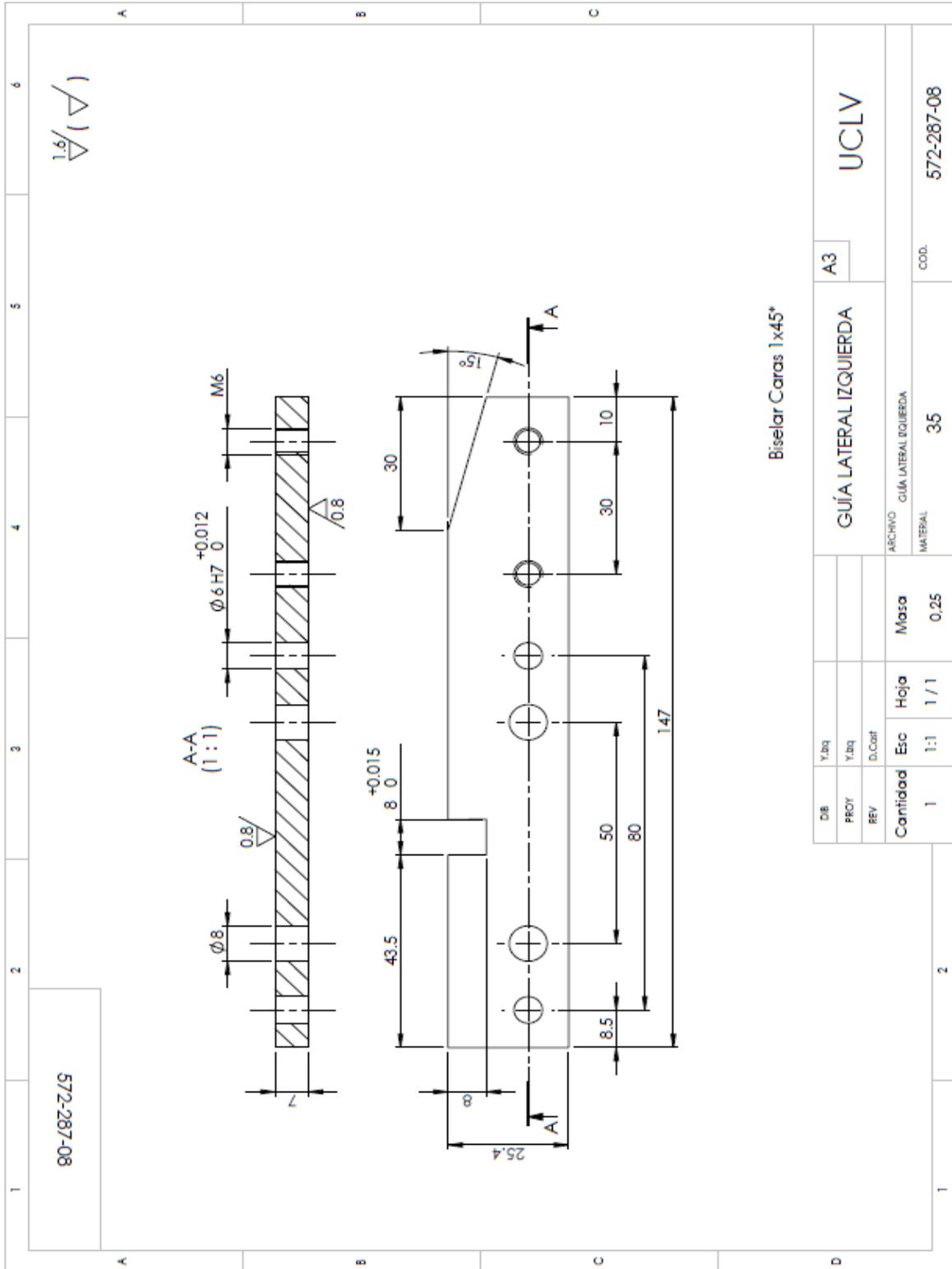


Figura 6: Dimensiones de la guía lateral izquierda.



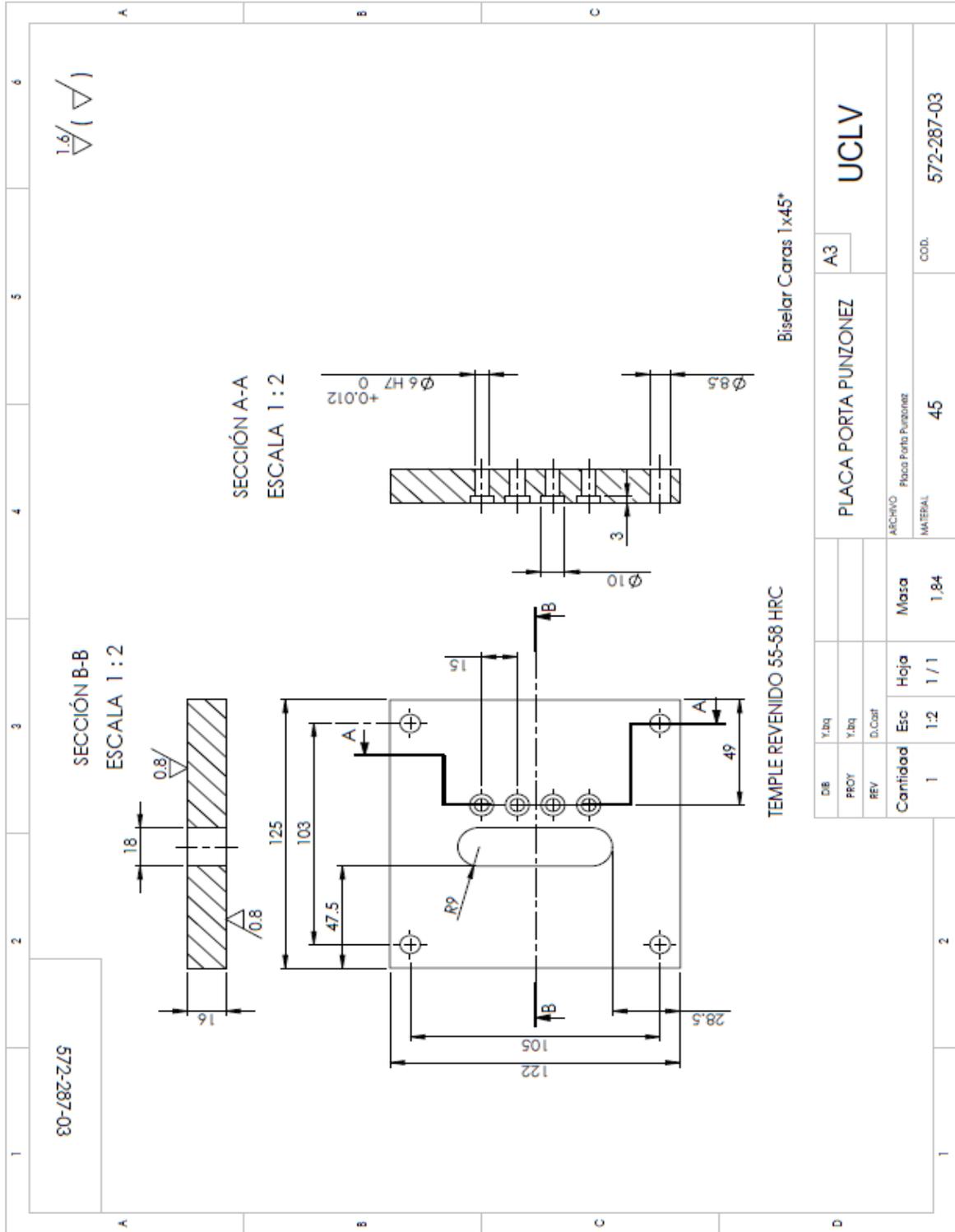


Figura 8: Dimensiones de la placa porta punzón.

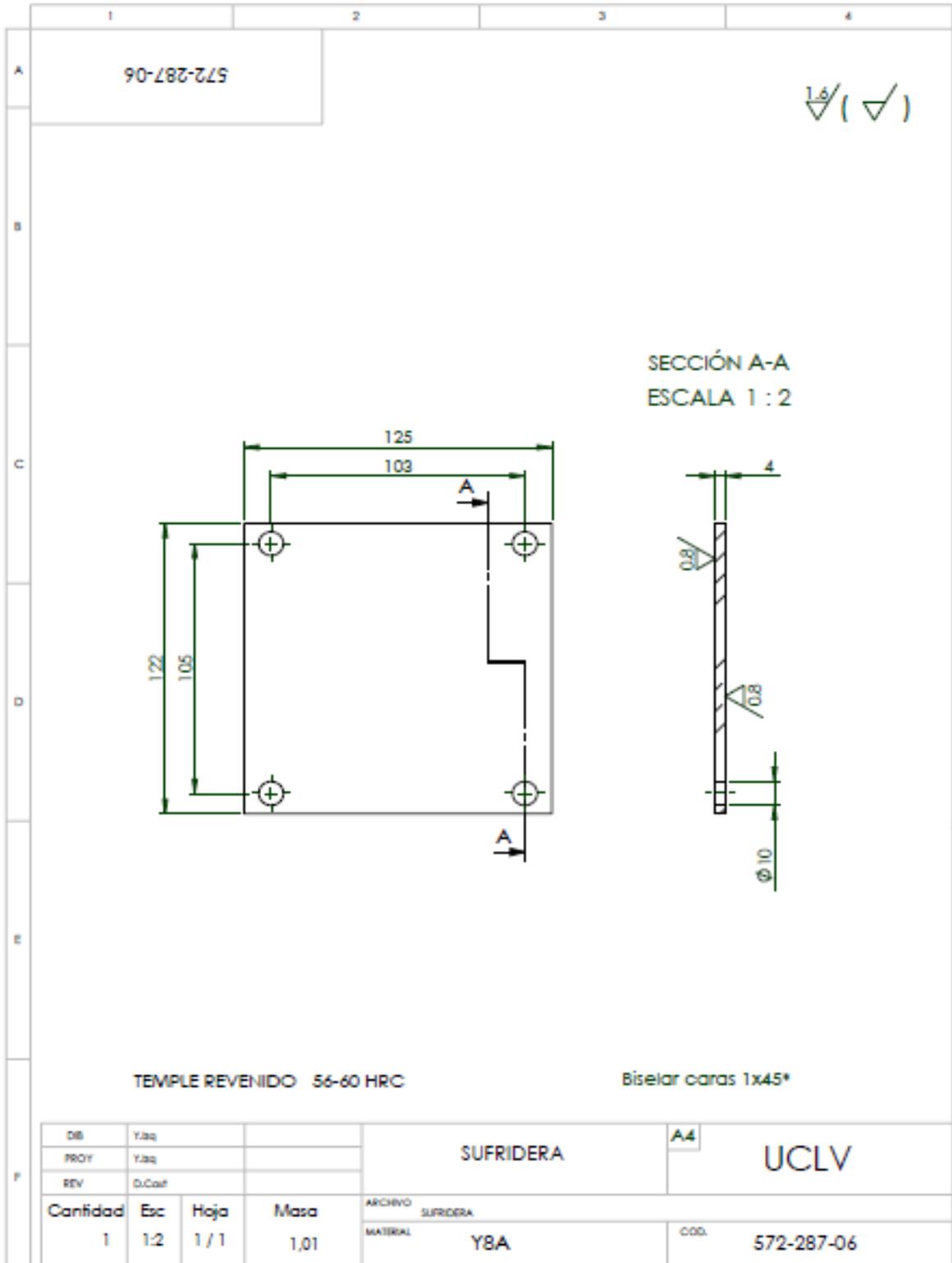


Figura 9: Dimensiones de la placa de apoyo

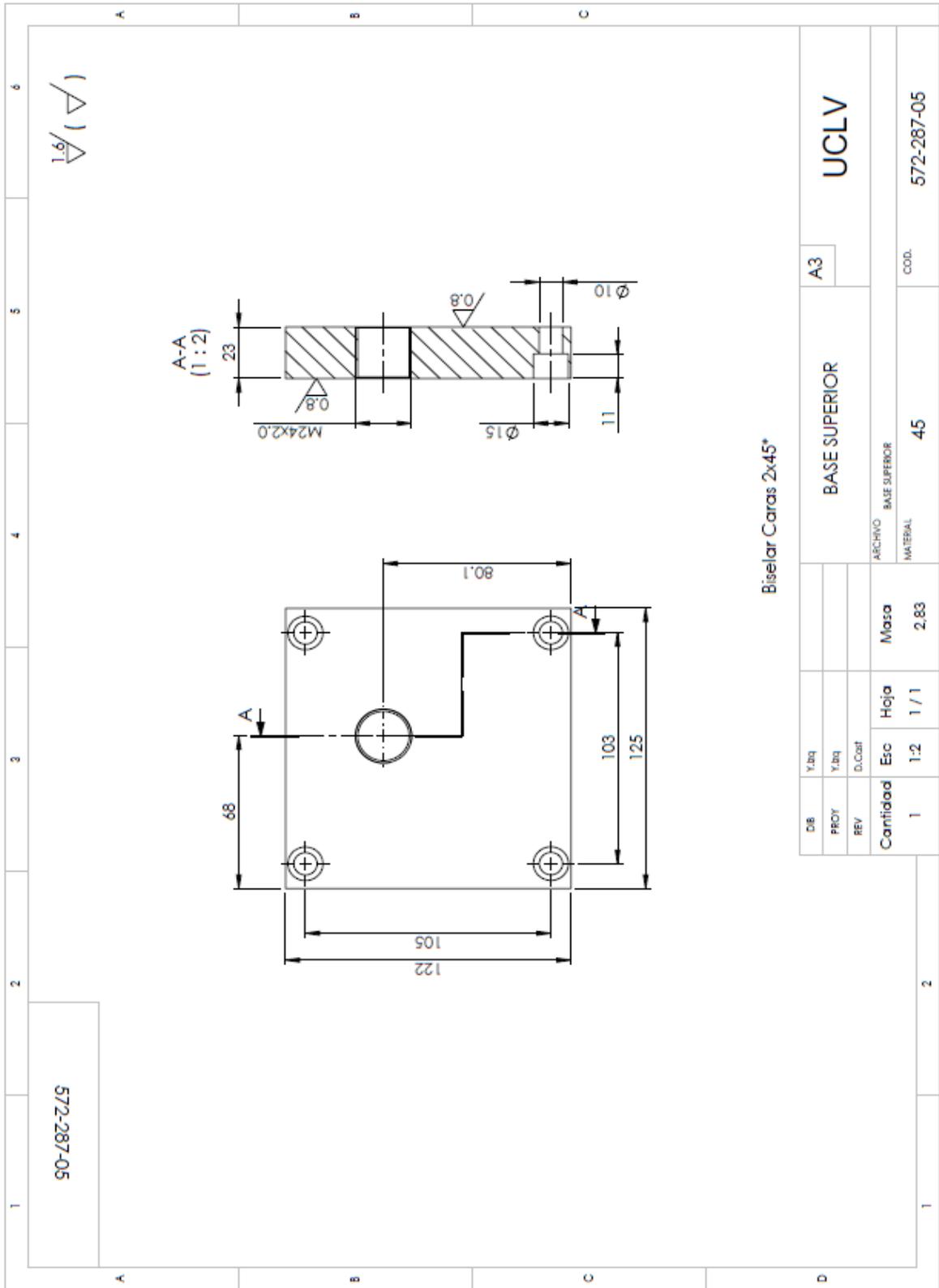


Figura 10: Dimensiones de la placa superior.

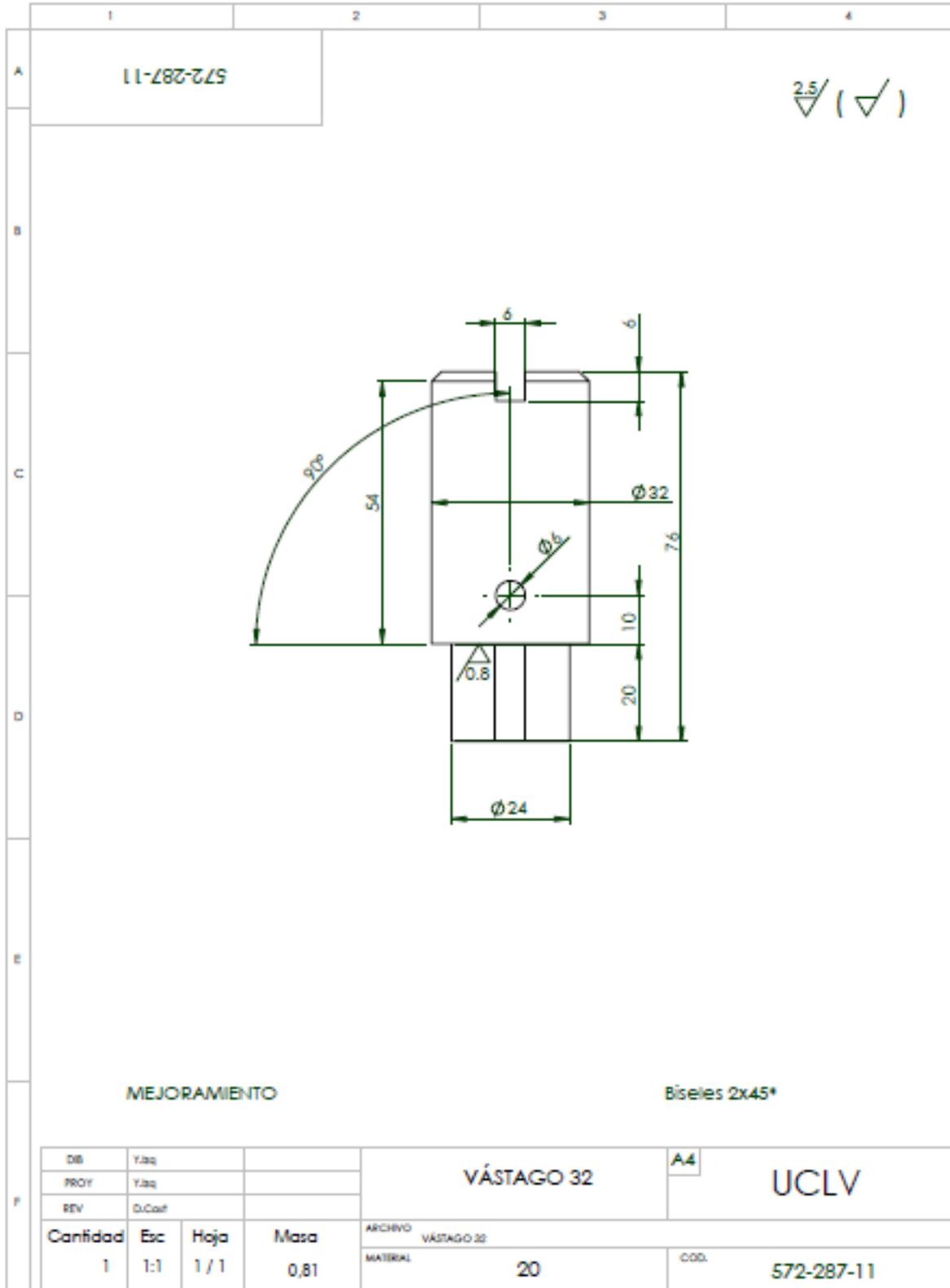


Figura 11: Dimensiones del vástago.

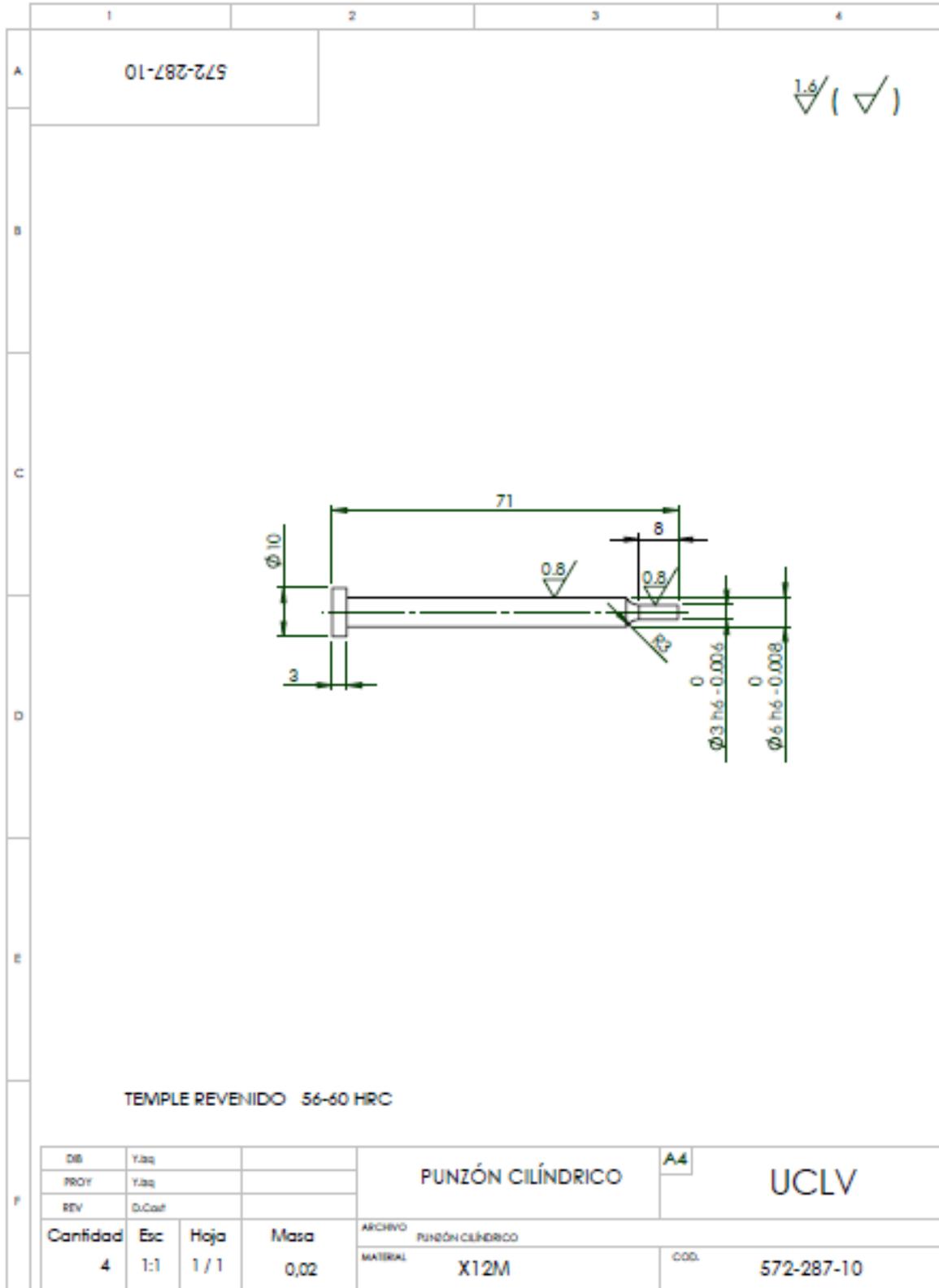


Figura 12: Dimensiones de los punzones cilíndricos.

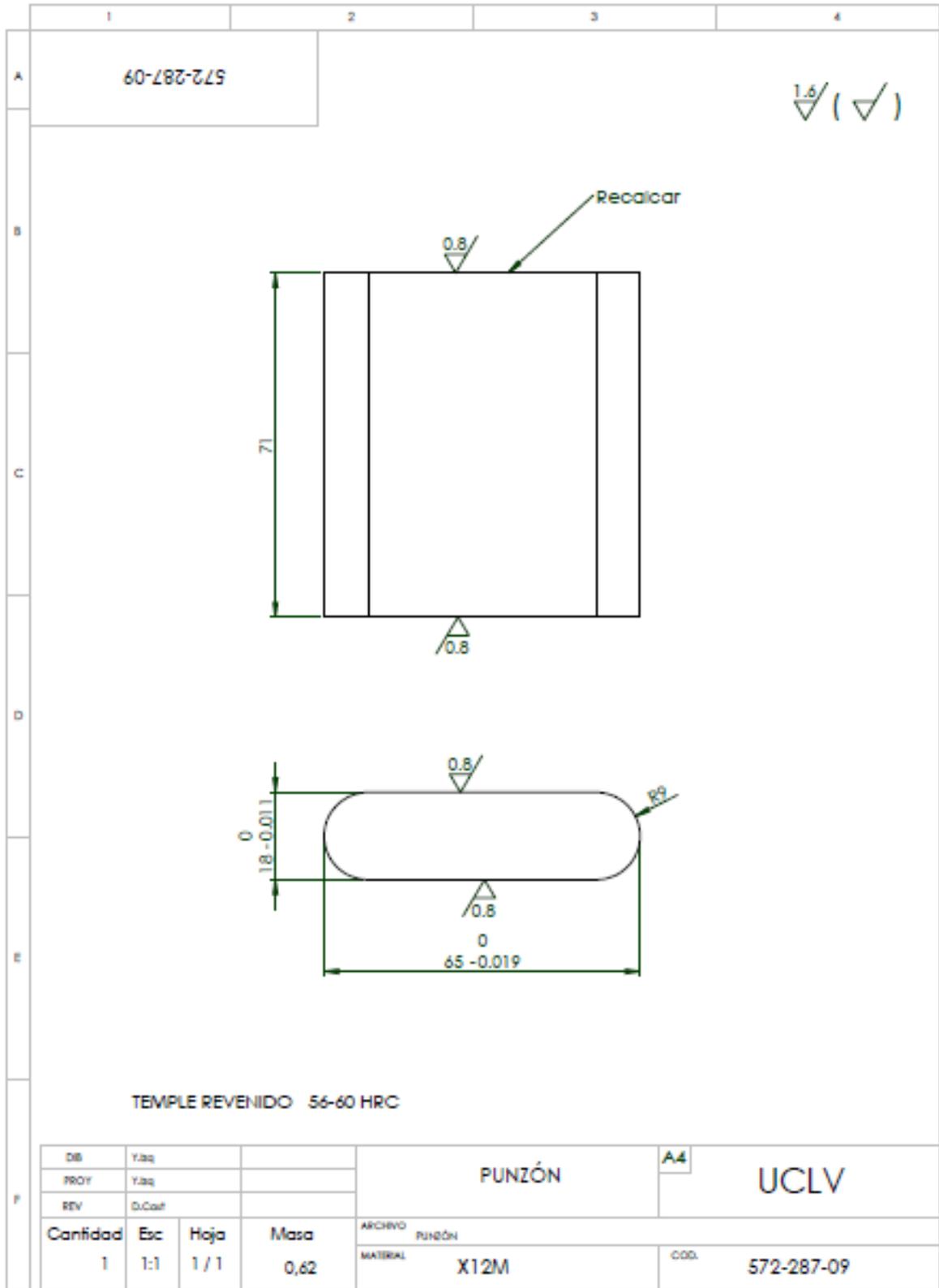


Figura 13: Dimensiones del punzón de corte.

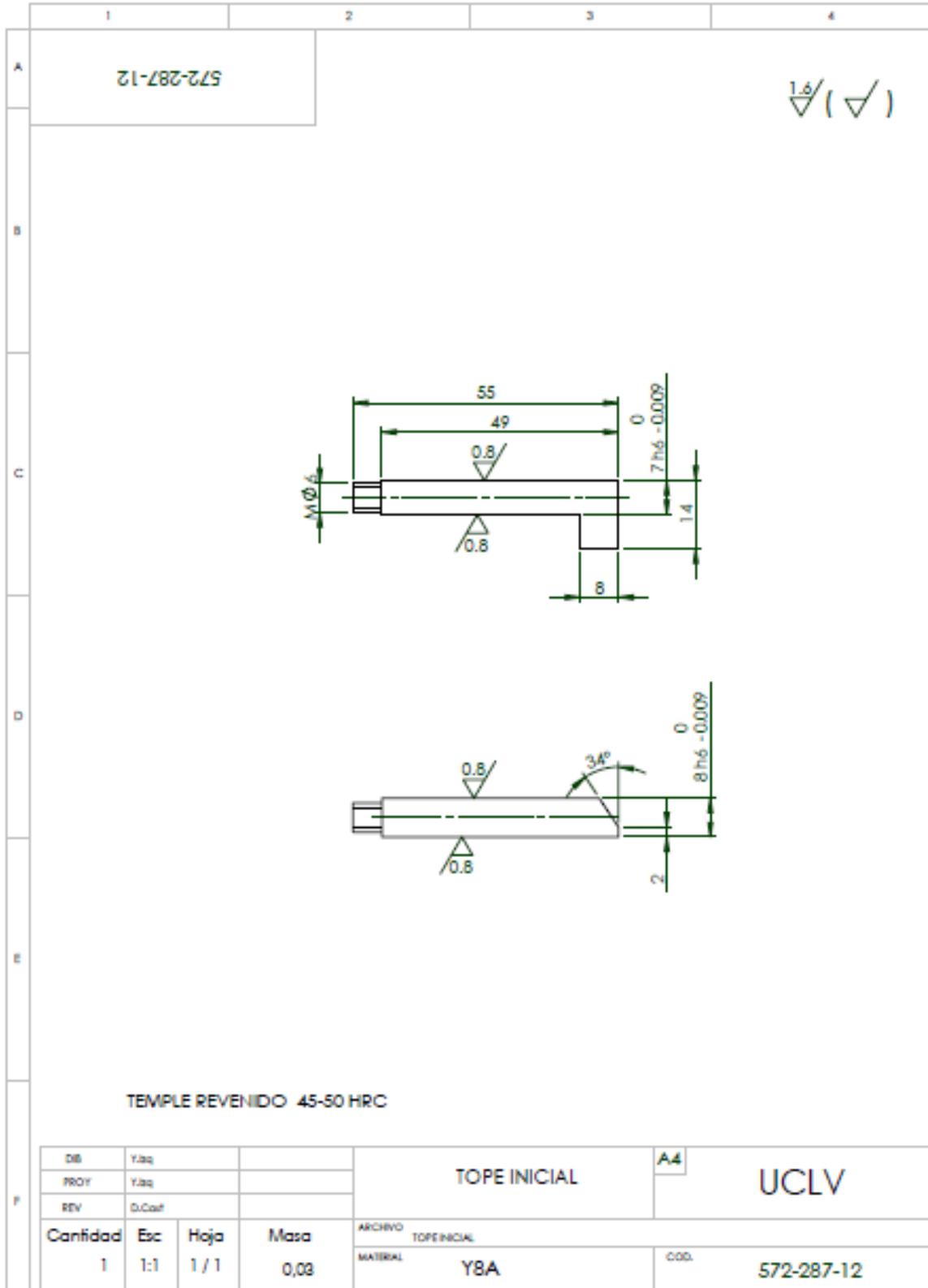


Figura 14: Dimensiones del tope inicial.

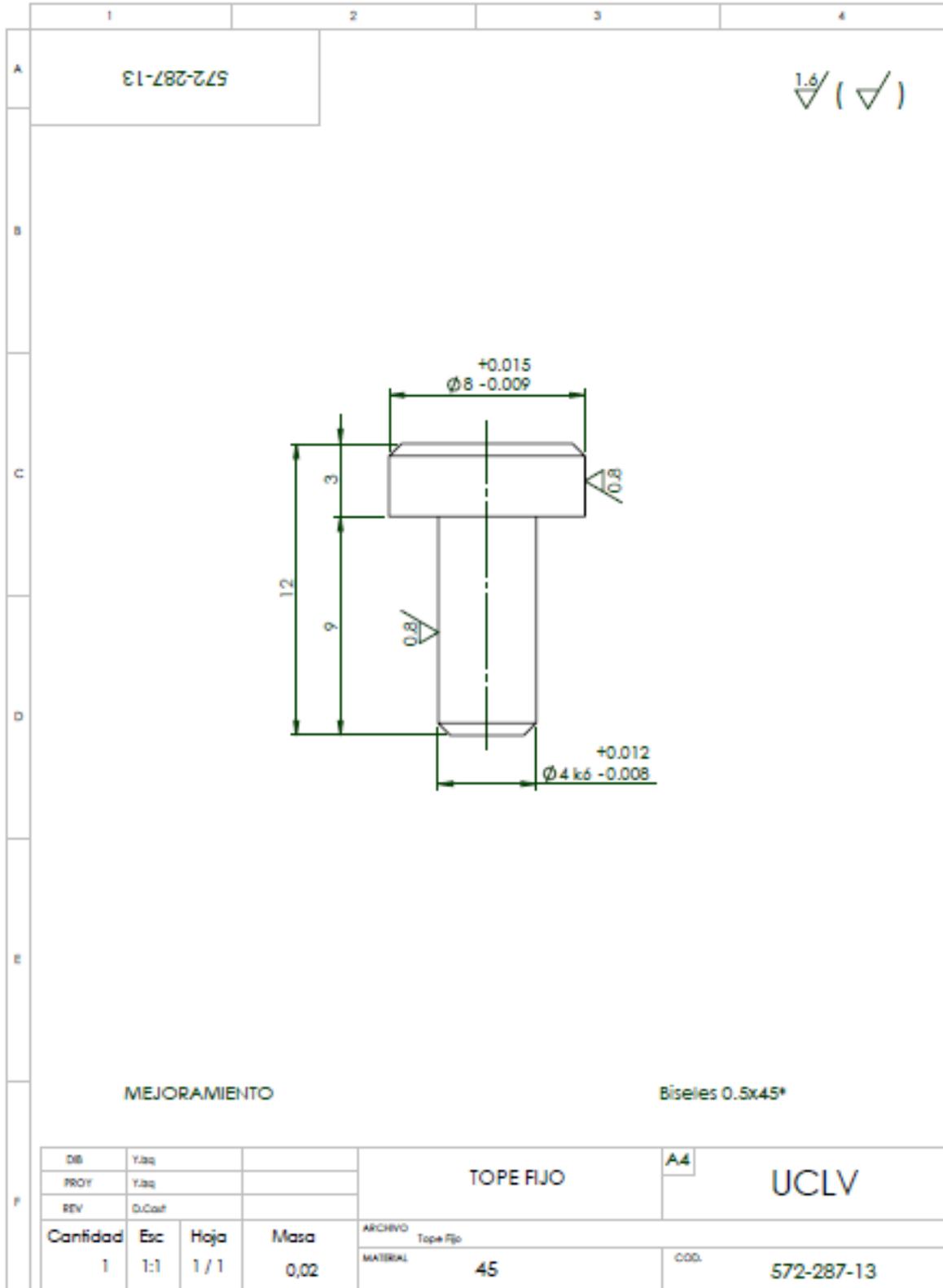


Figura 15: Dimensiones del tope fijo.

