



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA



**DISEÑO DE HERRAMENTAL PARA UN
TROQUEL PARA GEOMETRÍAS SIMPLES Y
CORRIDAS CORTAS.**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

PRESENTAN

LÓPEZ GONZÁLEZ HORACIO.

RAMIREZ NIETO GUSTAVO AARON.

RIVERA MARTINEZ RODRIGO.

ASESOR DE TESIS:

M. C. UBALDO EDUARDO MARQUEZ AMADOR

MÉXICO D. F.

2012



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

*Agradezco infinitamente a dios por los dos ángeles maravillosos que me dio llamados mamá y papá (**María de la Luz y Rodrigo**) quienes me enseñaron grandes valores como la perseverancia y la pasión por hacer bien las cosas.*

*Otro ángel que cayó del cielo se nombra hermana (**Aida**) y me apoya siempre en todo por lo que también le agradezco. Cuando existe oscuridad ellos brillan para mostrarme el camino; cuando caigo, no me lastimo pues amortiguan mi desplome.*

*Agradezco a toda mi familia (abuel@s, tí@s, prim@s, sobrin@s, ahijad@s) pues siempre me apoyan y una mención especial para un hombre maravilloso quien en vida me demostró que el carisma y amor por la vida dan fortaleza para enfrentar cualquier adversidad: **tío Melchor†**.*

*Agradezco a quien me oriento por medio de su experiencia como universitaria para seguir sus pasos preparatorianos y quien nunca perdió la fe en mí. **Tía Güera**, este logro que hoy culmina con gran satisfacción también es tuyo pues fuiste el alma que dio vida a un orgullosamente ingeniero puma.*

*Agradezco a quien me dio la oportunidad de practicar los conocimientos teóricos, me abrió las puertas de su espacio en CDM, me permitió aprender de su amplia experiencia, me oriento y me brindo su valiosa amistad. **Ing. Miguel Hernández**, sin lugar a dudas el mejor asesor académico que pude conocer durante mi paso por la facultad de ingeniería.*

*Agradezco al **M. C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador** por asesorar este proyecto y brindarnos todo su apoyo. Cuando nuestra bibliografía se veía escueta nos proporciono sus valiosos libros con gran confianza y cuando tuvimos dudas, se tomo el tiempo necesario para revisar el trabajo.*

Agradezco al Dr. Arturo Barba Pingarrón, M. I. Antonio Zepeda Sánchez, Ing. Alejandro Rojas Tapia y M. I. Jesús Vicente González Sosa que se tomaron el tiempo necesario para la revisión de este proyecto.

Finalmente agradezco a tod@s mis amig@s ya que sin ellos no hubiera tenido la potencia necesaria para concluir este gran logro. Moy, Search, Kika, Gus, Rod, Yaz, Ale, Nanshy, Ely, Yuri, Candi, doc, Mayret, Ana Lilia, Blanca, Brendiux, Tito, Karin, Omar, David,... la lista es interminable.

Muchas gracias a tod@s.

*Atentamente: **Horacio López González.***

Agradezco:

A mis padres Juan e Irma a quien agradezco de todo corazón por el amor, esfuerzo y paciencia que me han dado, por haberme brindado la mejor de las guías no solo a lo largo de mi carrera profesional, sino también en cada día de mi vida; gracias por demostrarme que cuento con todo su apoyo y confianza. Esta tesis es suya.

A mis hermanos Ricardo, Eduardo y Claudia quienes han sido un gran apoyo y motor muy importante en mi vida académica.

A cada uno de los profesores que me compartieron sus conocimientos y despertaron día a día en las aulas de clase mi vocación de ingeniero. En especialmente quiero agradecer a mi tutor el Ing. Ubaldo Márquez Amador quien al compartir su experiencia y conocimientos dio las pautas para la realización de este trabajo y al Ing. Miguel que desde el inicio nos brindó el apoyo y la mejor de las asesorías.

A Laura quien ha depositado en mí su amor y confianza.

Gracias a (sin importar el orden) Noé, Horacio, Alberto, Olmo, Alejandro, Berenice y demás amigos que han dejado huella en mi vida y han sido fuente de mi felicidad, aventura y desvelos. Y sin los cuales el paso por la universidad no hubiera sido la mejor etapa de mi vida hasta el momento.

Atte. Gustavo Aarón Ramírez Nieto

A mis padres por todas sus enseñanzas y porque todo lo que soy se lo debo a ellos, pero sobre todo por nunca dejar de creer en mí.

A mi hermano por crecer junto a mí, y estar a mi lado durante todos estos años.

Al M.C. Ubaldo E. Márquez, por confiar y creer en nosotros, y darnos la oportunidad de realizar este proyecto.

Al Ing. Miguel Hernández, por todo el tiempo y el incondicional apoyo que nos brindó durante este tiempo.

A mis compañeros de tesis, por su paciencia, apoyo, pero sobre todo por su amistad.

A la Facultad de Ingeniería, a mis maestros, por todos los conocimientos y el aprendizaje que me proporcionaron.

A mis amigos con los que he tenido la dicha de compartir innumerables experiencias.

Y a todas aquellas personas que escapan a mi memoria, pero que contribuyeron de manera directa o indirecta a la realización y culminación de este proyecto y por ende de esta etapa en vida.

GRACIAS.

Atte. Rodrigo Rivera Martínez.

OBJETIVO:

Análisis del funcionamiento y selección de los elementos que constituyen un troquel que, mediante operaciones básicas de corte, produzca piezas de geometrías simples aplicado a corridas cortas de producción.

Índice.

Antecedentes.	1
Definición de manufactura.	2
Antecedentes de la manufactura.	4
Clasificación de los procesos de manufactura.	7
Introducción.	9
Capítulo 1. Análisis de los procesos de manufactura.	
1.1 Procesos de manufactura.	12
1.2 Operaciones de corte de láminas.	24
1.3 Fuerza de corte.	32
1.4 Doblado de láminas.	33
1.5 Fuerza de doblado.	42
1.6 Formabilidad de láminas.	47
1.7 Corridas cortas de producción.	52
Capítulo 2. Elementos básicos de un troquel.	
2.1 Elementos básicos que conforman un troquel y proceso de troquelado.	55
2.2 Prensas: Tipos y Clasificaciones.	62
2.3 Operaciones de conformado por prensado de lámina.	66
Capítulo 3. Diseño del troquel para corridas cortas.	
3.1 Recomendaciones para el diseño de un troquel.	72
3.2 Diseño de la tira del material a troquelar.	73
3.3 Cálculo de la fuerza para el corte.	74
3.4 Diseño de la matriz.	76
3.5 Diseño de punzones.	79
3.6 Tope del material.	83
3.7 Selección de piezas normalizadas.	84
3.8 Materiales empleados.	87
Capítulo 4. Diseño de los elementos que conforman un troquel en NX 7 (software de modelado en 3D).	
4.1 Definición de CAD CAM.	90
4.2 Tira de material.	91
4.3 Matriz.	94
4.4 Punzones.	95
4.5 Placa porta punzones.	96
4.6 Guía de punzones	97
4.7 Simulación de maquinado en NX7.	98
4.8 Parámetros de velocidad, avance y profundidad de corte.	101

Capítulo 5.	Rutas de trabajo.	105
Conclusiones.		131
Anexos.		133
Bibliografía.		151



ANTECEDENTES
DE LA
MANUFACTURA

Definición de manufactura.

La palabra manufactura se deriva de los vocablos latinos *manus* y *factus* que significan manos y hacer respectivamente, la combinación de estos términos nos da el significado: *hacer con las manos*; en otras palabras, es la transformación de materias primas en productos terminados para su venta.

La manufactura puede definirse desde dos puntos de vista, el económico y el tecnológico.

- Económico: La manufactura es la transformación de materias primas en artículos de mayor valor, a través de uno o más procesos, la manufactura vista como una aplicación tecnológica, agrega valor a dicha materia prima al cambiar su forma, propiedades, o al combinar con otros materiales que han sido alterados de forma similar. La definición económica puede visualizarse de mejor manera en la figura A.1

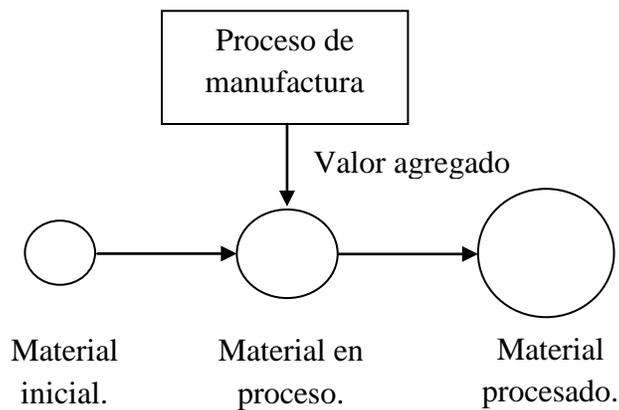


Figura A.1 Definición económicaⁱ.

ⁱ Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

- Tecnológico: Es la aplicación de procesos químicos y físicos, los cuales, alteran la geometría y las propiedades de un material para elaborar un producto. Esta combinación de procesos es muy amplia e involucra diversas máquinas, herramientas, trabajo manual, energía, a través de pasos sucesivos que acercan cada vez más al material inicial a su estado final. La definición tecnológica muestra en la figura A.2.

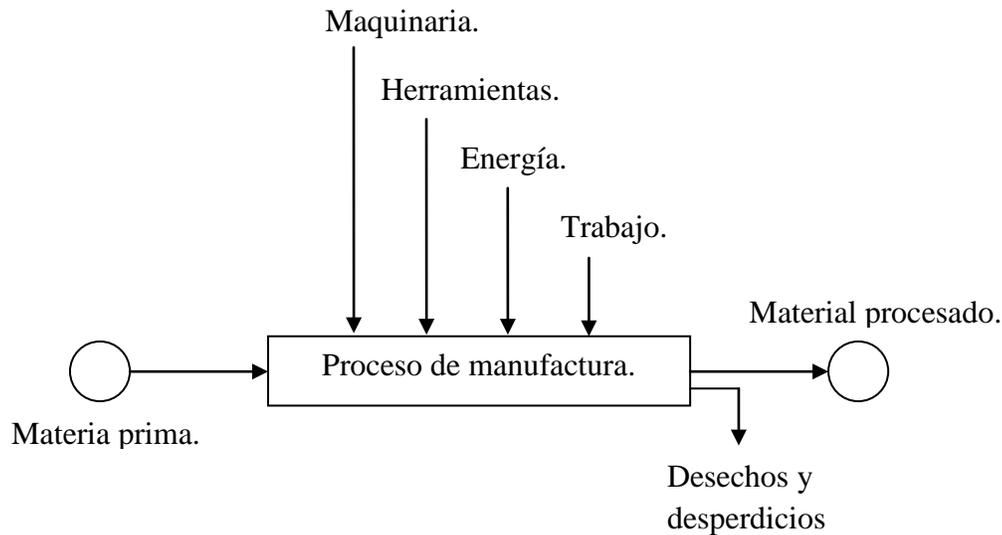


Figura A.2 Definición tecnológicaⁱⁱ

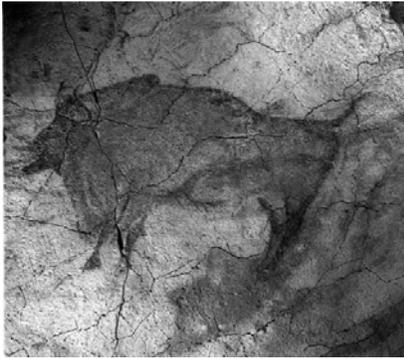
Las alteraciones de las propiedades mecánicas como son: dureza, ductilidad, plasticidad, entre otras, son empleadas para adaptar los materiales a ciertas condiciones de trabajo; por ejemplo, la dureza en herramientas es empleada para cortar metales con menor dureza, materiales ligeros para fabricar paredes en un vehículo, conductores de calor para calentadores de agua, etc. En general, pueden ser productos terminados o formar parte de otros productos.

Es posible dividir a la manufactura de acuerdo a los siguientes enfoques: Las operaciones de proceso, que consisten en modificar las materias primas acercándolas al estado final de un producto, aplicándose principalmente a partes discretas; y las operaciones de ensamble, que se emplean para unir dos o más partes de un conjunto.

ⁱⁱ Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

Antecedentes de la manufactura.

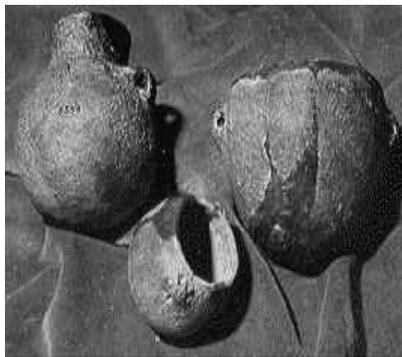
La manufactura tiene su origen entre los años 5000 y 4000 a.C. Existen antecedentes de dibujos en cuevas y rocas primitivas, figura A.3 a), que dependían de cierta forma de brochas, pinceles u otro medio para grabar en la roca. Es aquí donde surgió la necesidad de producir herramientas adecuadas.



a)



b)



c)

Figura A.3 Origen y evolución de la manufacturaⁱⁱⁱ.

La manufactura se presentaba para usos específicos y es donde apareció el uso de distintos tipos de materiales como lo fueron en su época la piedra, la madera, la cerámica y el metal, figura A.3 b) y c).

Con el paso de los siglos se han usado novedosos materiales y operaciones. Esto ha cubierto las necesidades de producción y calidad. Los primeros metales usados en la fabricación de artículos ornamentales fueron el oro, cobre, hierro; posteriormente se utilizó la plata, plomo, estaño, bronce y latón. Para los años 600-800 d.C. aparece el acero el cual sustituye a muchos de los materiales empleados hasta entonces conocidos.

Antes de la revolución industrial, alrededor del año 1750, la producción se llevaba a cabo en pequeños lotes que se basaba en la mano de obra en los pequeños talleres, como se muestra en la figura A.4.

ⁱⁱⁱ <http://asusta2.com.ar/2008/07/04/las-cuevas-de-altamira/>

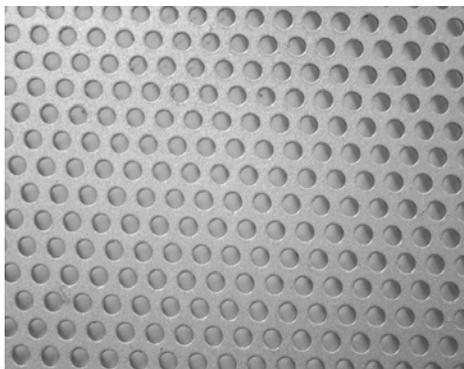
Antecedentes de la manufactura.

La sustitución de mano de obra por mecanismos capaces de mejorar en tiempo y cantidad la producción se da en Europa para posteriormente trasladarse a Estados Unidos en donde se desarrolla considerablemente. Diseño, manufactura y el uso de piezas intercambiables son algunas de estas mejoras.



Figura A.4 Taller de forja^{iv}.

En comparación con la actualidad, la velocidad de manufactura y cantidades, son infinitamente mayores gracias a la intervención de los sistemas de manufactura integrados por computadora. Ejemplos de esto son los 800 orificios por minuto que pueden efectuarse en una lámina de metal, figura A.5 a), o las 500 latas para refresco por minuto que se manufacturan hoy en día, figura A.5 b).



a)



b)

Figura A.5 Artículos de la actualidad^v.

^{iv} <http://us.123rf.com/400wm/400/400/ihor/ihor1009/ihor100900085/7899057-el-proceso-de-forja.jpg>

^v <http://blog.limpiatumundo.com/2010/07/02/recicla-latas-de-aluminio>

Desarrollo de los procesos de manufactura y materiales a través del tiempo.

PERIODO	PROCESOS DE FUNDICIÓN	PROCESOS DE CONFORMADO
Antes de 4000 a. C.	Oro, cobre y hierro de meteoro	Martillado
4000-3000 a. C.	Fundición de cobre, moldes de piedra, de metal, proceso a la cera perdida, plata, plomo, estaño, bronce.	Estampado, joyería.
3000-2000 a. C.	Fundición de bronce	Alambre cortando hojas y estirando; hoja de oro.
1000-1 a. C.	Hierro fundido, acero fundido.	Estampado de monedas.
1-1000	Zinc, acero	Armaduras, acuñado, forja, espadas de acero.
1000-1500	Alto horno, fundición de campanas y de peltres.	Estirado de alambre, oro, trabajo en oro y plata.
1500-1600	Cañones de hierro fundido, lámina estañada.	Energía hidráulica para trabajado en metal, laminadora para tiras de monedas.
1600-1700	Fundiciones de molde permanente, latón y zinc metálico.	Laminado (plomo, oro, plata) rolado de forma (plomo).
1700-1800	Hierro fundido maleable, acero de crisol.	Extrusión (tubería de plomo) embutido profundo, laminado barras y varillas de hierro.
1800-1900	Fundido centrífugo, proceso Bessemer, aluminio electrolítico, aceros al níquel, aleaciones babbitt ^{vi} , acero galvanizado, metalurgia de polvos, acero al tungsteno, acero de hogar abierto.	Martillado accionado por vapor, laminado de acero, perforado de tubos sin costura, laminado de riel de acero, laminado continuo, electro depósito.
1920-1940	Fundición en dados	Alambre de tungsteno a partir de polvos.
1940-1950	Cera perdida para piezas de ingeniería.	Extrusión (acero), suajeado, metales en polvo para piezas de ingeniería
1950-1960	Moldes cerámicos, hierro nodular, semiconductores, colada continua.	Extrusión en frío (acero), formado explosivo, tratamiento termo mecánico.
1960-1970	Fundición por apachurramiento, alabes de turbina monocristalinos.	Extrusión hidrostática; electro formado.
1970-actualidad	Grafito compactado, fundición por vacío, arena aglutinada orgánicamente, automatización del moldeo y del vaciado, tecnología de la solidificación rápida, compositos de matriz metálica, trabajado de metal semisólido, reofundición.	Forja de precisión, forja isotérmica, formado superplástico, dados fabricados mediante diseño y manufactura asistido por computadora, prototipo rápido, formado de piezas.

Tabla número 1^{vii}.

^{vi} Aleación Babbitt es un término genérico que se usa para designar la aleación antifricción de bajo punto de fusión, es decir se funden como superficies de cojinete o apoyo en tapas o respaldos de acero, bronce o hierro fundido.

^{vii} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

Clasificación de los procesos de manufactura.

Los procesos de manufactura pueden dividirse en tres tipos:

- *Procesos de conformado.* O sin desprendimiento de material, son todos aquellos en los cuales se da forma al material inicial a través de la aplicación de fuerzas que exceden la resistencia del material a la deformación. Para que el material pueda formarse de esta manera debe ser lo suficientemente dúctil para evitar la fractura durante la deformación, a menudo se calienta con anterioridad a una temperatura por debajo de su punto de fusión.
- *Procesos de corte.* O con desprendimiento de material, son aquellos en los cuales se quita material de la pieza inicial de trabajo, para así lograr la geometría deseada.
- *Procesos de unión y ensamble.* El término unión se emplea indistintamente para clasificar distintos procesos como: soldadura, ya sea soldadura por arco eléctrico, soldadura fuerte (aleaciones de plata con fósforo), o soldadura con estaño (soldadura blanda). Distintos tipos de uniones mecánicas, como unión con tornillos o con pernos, etc. y el proceso de pegado o de adhesión.

En el presente trabajo se abarcan los procesos de manufactura que deforman y cortan al material ya que en el proceso de troquelado, se presentan deformaciones tanto elásticas como plásticas y, finalmente, el cizallado.

El cuadro sinóptico de la figura A.6 resume la clasificación de los procesos de manufactura antes mencionada. Cabe mencionar que existe una gran cantidad de procesos de manufactura que no se citan en el cuadro sinóptico debido a que no tienen ninguna relación con este proyecto.

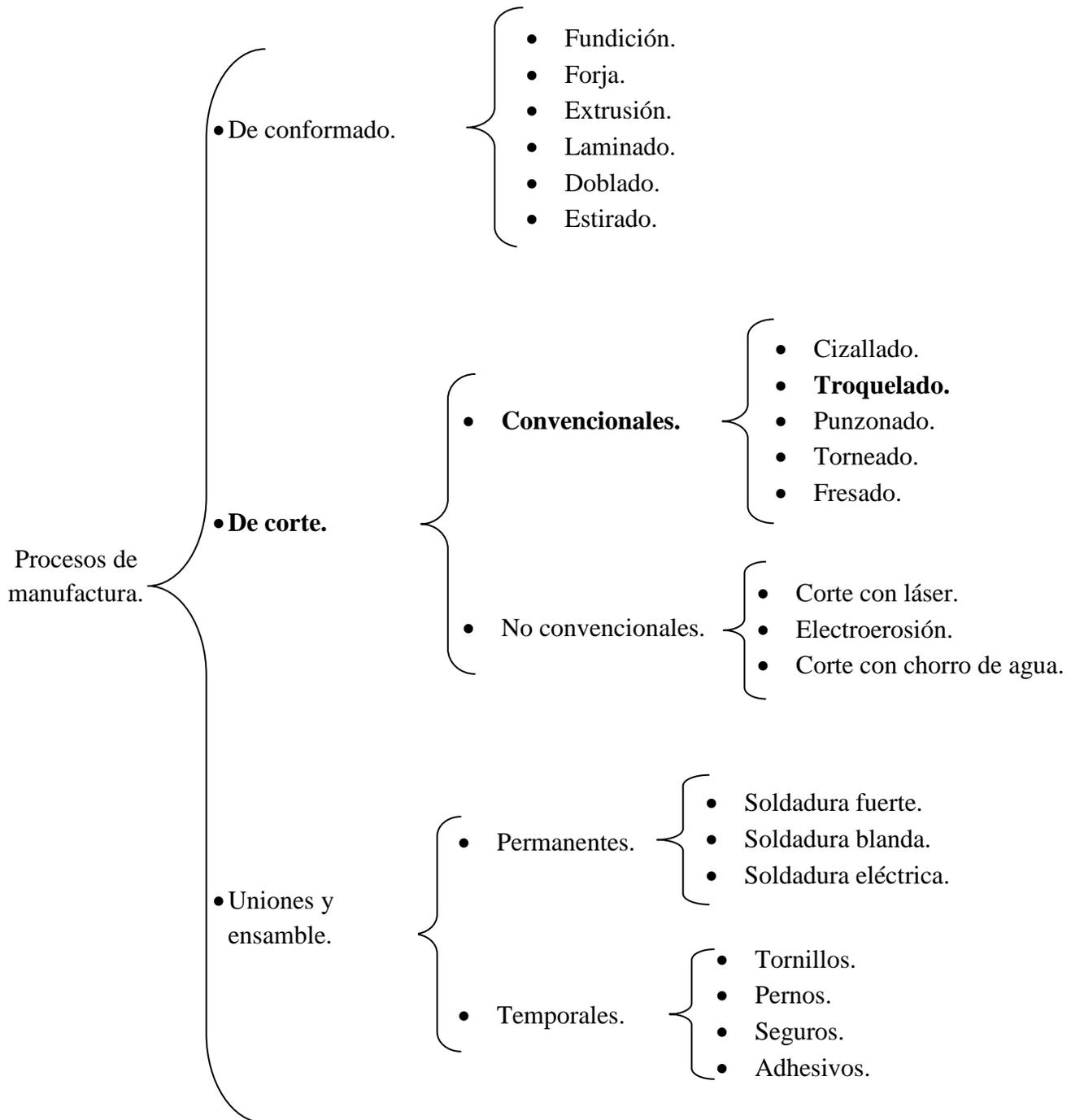


Figura A.6 Clasificación de los procesos de manufactura.



Introducción.

Como se muestra en los antecedentes, el hombre ha buscado una mejor calidad de vida manufacturando diversas piezas para cubrir sus necesidades.

No contrastando con la historia del hombre, este proyecto surge por la necesidad de mejorar el herramental para troqueles, que hasta la actualidad se diseña derrochando su vida útil, a través del concepto de corridas cortas de producción.

Es por ello que se requiere estudiar los procesos de manufactura relacionados con el tema de forma directa (como el caso de laminado, doblado, cizallado, etc.) e indirecta (forja, fundición, etc.).

Con el paso del tiempo se han desarrollado materiales que se adaptan a las necesidades de la ingeniería por lo que los procesos de manufactura también deben presentar una adaptación a la materia prima moderna.

Tomando como plataforma los conocimientos que hasta hoy se han desarrollado, el proyecto del diseño de herramental para un troquel para geometrías simples y corridas cortas involucra la vida útil planificada para determinada cantidad de piezas a fabricar con el tipo de material del que está constituido dicho troquel.

Se analiza la pieza que se busca manufacturar para brindar mejoras por lo que en su momento se estudia un determinado tipo de doblado.

Las pruebas de formabilidad en láminas también son una parte fundamental de este proyecto ya que si se consideran todas las propiedades físicas de las hojas metálicas previniendo algún tipo de falla en la pieza, se obtienen mejores resultados.

Una vez obtenidas las bases teóricas se analizan las piezas que conforman un troquel para, de esta forma, descartar las partes no necesarias y la respectiva propuesta de materiales para las partes que si se considera diseñar en este proyecto.

Conocidas las partes a diseñar se procede a un exhaustivo desarrollo en base al software llamado NX7 el cual proporciona datos de gran importancia como dimensiones, tolerancias, momentos de inercia y la visualización del ensamble para el troquel, entre otros.

Ya que se obtienen los archivos en NX7 se presenta una ruta de trabajo propuesta al personal que, tentativamente, desarrollará el herramental para el troquel, básicamente en CNC, y de esta forma se concluye dicho proyecto.

Capítulo

1

Análisis de los procesos de manufactura.

- 1.1 Procesos de manufactura.
- 1.2 Operaciones de corte de láminas.
- 1.3 Fuerza de corte.
- 1.4 Doblado de láminas.
- 1.5 Fuerza de doblado.
- 1.6 Formabilidad de láminas
- 1.7 Corridas cortas de producción.

En este capítulo se enuncian las definiciones básicas que se deben tener en cuenta cuando se habla de los procesos de manufactura. Se señala la clasificación de dichos procesos. Se muestra el perfeccionamiento de los diversos procesos de producción y como dicho perfeccionamiento está relacionado estrechamente con el progreso de la humanidad. Así mismo se definen, de manera general, las características y clasificación de algunos de los procesos de manufactura más comunes relacionados con el conformado de lámina. Se estudian, de manera más detallada, como se llevan a cabo los diversos procesos de corte, es decir, se describen los fenómenos físicos que ocurren cuando se realiza el cizallado, troquelado, punzonado y doblado de láminas metálicas.

Aspectos físicos como la fuerza de corte, la holgura, la fuerza de expulsión, la recuperación elástica del material, etc. Son parámetros muy importantes que se requieren calcular para poder seleccionar la máquina herramienta necesaria para llevar a cabo el corte del material de manera exitosa.

1.1 Procesos de manufactura.

- **Procesos de conformado.**

Fundición. Básicamente el proceso de fundición consiste elevar la temperatura de un metal hasta su punto de fusión, vaciar el metal fundido en un molde construido en base a la forma de la pieza a manufacturar, dejar solidificar y extraer la pieza del molde.

Los puntos importantes en el proceso de fundición son los siguientes:

- El flujo del metal fundido en la cavidad del molde debe ser constante.
- La solidificación y enfriamiento del metal en el molde.
- La influencia que tiene el tipo de material del molde en el acabado final de la pieza.

Dentro de las principales ventajas que existen en este proceso están: producir formas complejas con cavidades internas o con secciones huecas, piezas complejas y grandes volúmenes de producción a costos muy bajos. En la figura 1.1 se puede apreciar un esquema representativo de un molde para el proceso de fundición.

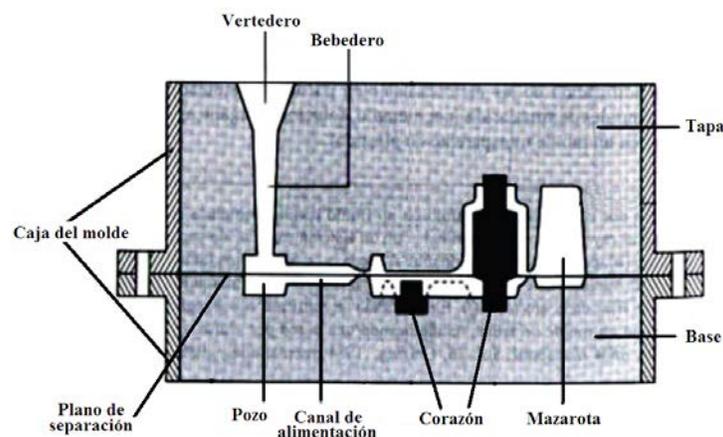


Figura 1.1 Proceso de fundición^{viii}.

^{viii} Apuntes de procesos de conformado de materiales. M. C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador.

En la figura 1.2 se resumen las distintas variantes del proceso de fundición.

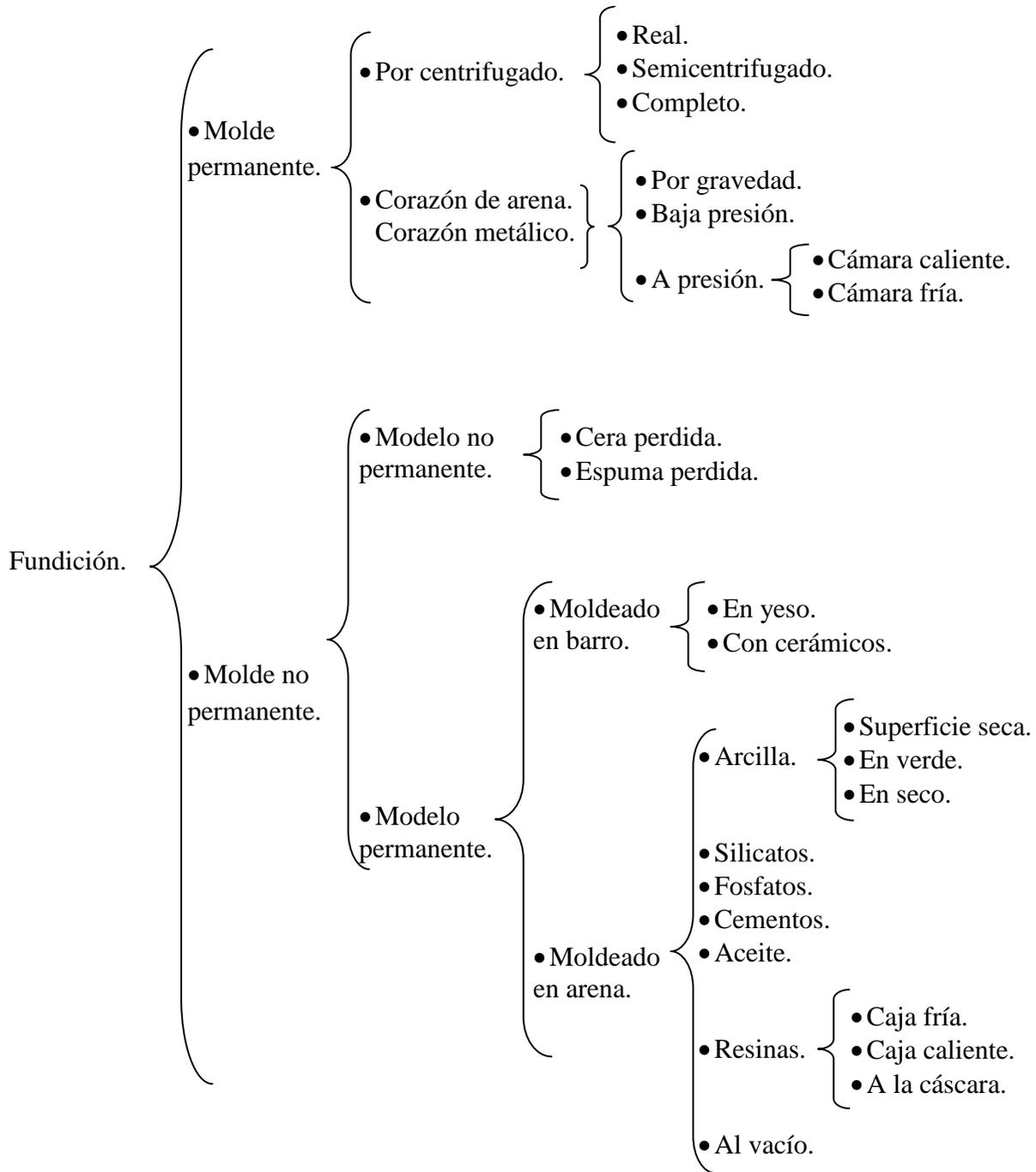


Figura 1.2 Clasificación de los procesos de fundición.

- **Procesos de deformación plástica volumétrica.**

Forja. Es un proceso en el que la pieza se conforma mediante fuerzas sucesivas de compresión aplicadas a través de diversos dados y herramientas.

Algunos productos característicos obtenidos mediante el proceso de forjado, como los mostrados en la figura 1.3, son: tornillos, bielas, ejes de turbina, herramientas de mano, una gran variedad de piezas estructurales para maquinaria y aviones.

La ventaja que proporciona este proceso es que se puede controlar el flujo de metal y la estructura del grano, para que las piezas tengan una buena resistencia y tenacidad, y se puedan usar en aplicaciones críticas donde la seguridad es un factor muy importante.

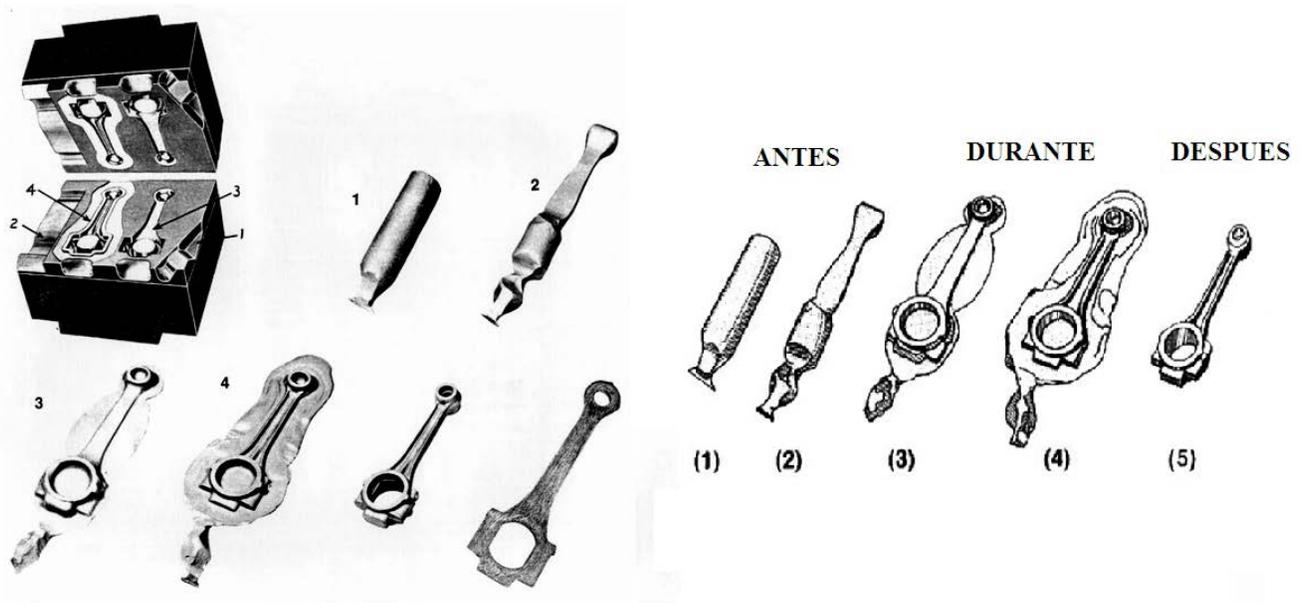


Figura 1.3 Proceso de forja^{ix}.

^{ix} Apuntes de procesos de conformado de materiales. M. C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador.

De acuerdo a las condiciones en que se realiza el proceso de forjado es posible clasificarlo como se muestra en la figura 1.4.

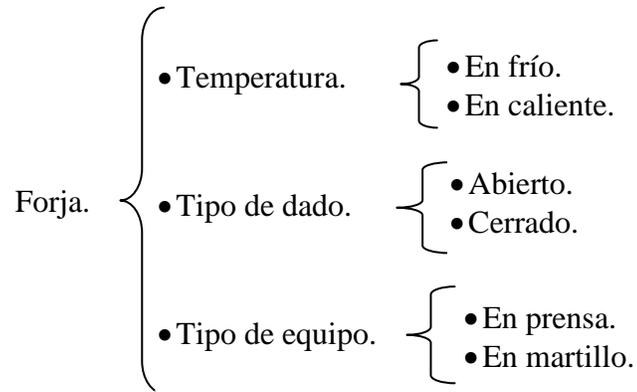


Figura 1.4 Clasificación de los procesos de forja.

Las piezas forjadas requieren operaciones adicionales, como un tratamiento térmico para modificar sus propiedades, así como operaciones de maquinado para poder obtener las dimensiones exactas de las piezas.

La figura 1.5 describe como se lleva a cabo el proceso de forjado en caliente.

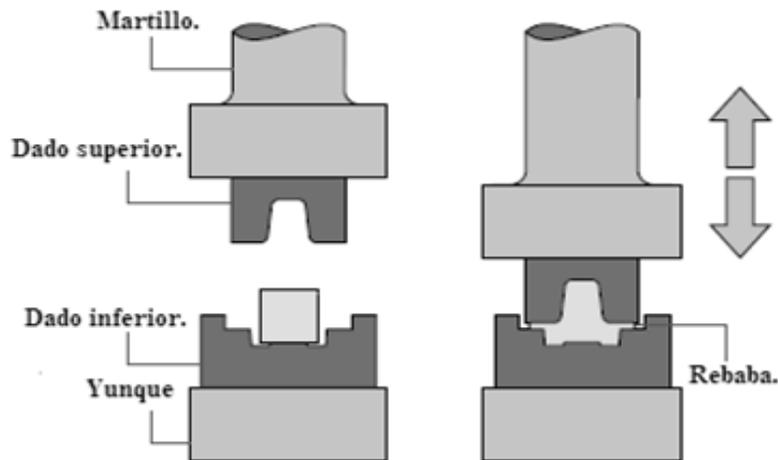


Figura 1.5 Modo de empleo de dados para el proceso de forja^x.

^x http://www.whitlidesley.com/CMS/upload_area/images/forging_diagram.gif

Extrusión. Es un proceso de compresión en el cual el material, ya sea que se trate de un metal o un plástico, es forzado a pasar por una matriz o dado. Una analogía con la vida diaria que resulta muy útil para poder comprender este proceso es cuando presionamos un tubo de pasta dental, la pasta al interior del tubo es forzada a salir, adquiriendo la forma de la boquilla del tubo de la pasta.

Mediante este proceso se puede producir casi cualquier perfil transversal, ya sea sólido o hueco. Debido a que la geometría del dado no cambia durante la operación, los productos extruidos son de sección transversal constante.

En el caso de los metales, dependiendo de la ductilidad del metal a extruir, el proceso se puede hacer a temperatura ambiente o alta temperatura; debido a que cada lingote se extruye individualmente, la extrusión, en el caso de los metales, es un proceso intermitente. La figura 1.6 muestra el proceso de extrusión de metales y en la figura 1.7 se presentan los procesos de extrusión que hoy en día existen.

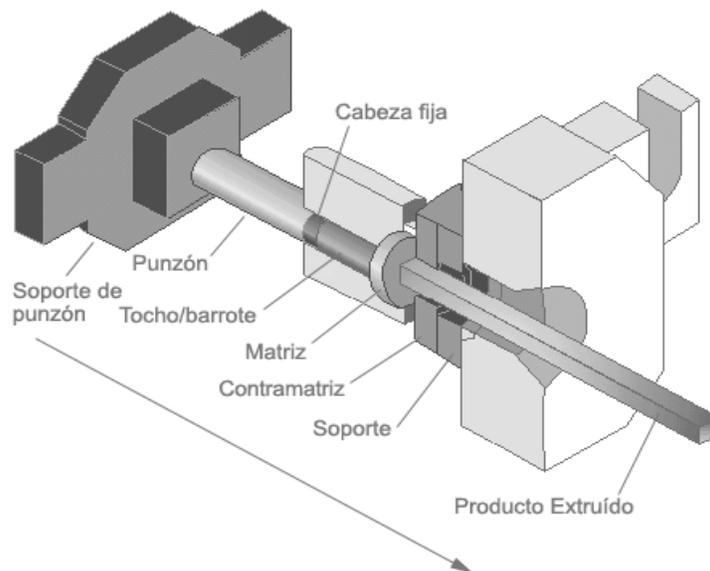


Figura 1.6 Proceso de extrusión de metales^{xi}.

- Tipos extrusión.
- Directa.
 - Indirecta.
 - Hidrostática.
 - Impacto.
 - En caliente.
 - En frío.

Figura 1.7 Tipos de extrusión.

^{xi} <http://www.endmillwebsite.com/wp-content/uploads/2011/04/aluminum-extrusion-machines1.jpg>

Laminado. Consiste en reducir la sección transversal de una pieza (reducción de su espesor) mediante la aplicación sucesiva de fuerzas de compresión aplicadas a través de un juego de rodillos que giran en sentidos opuestos.

La operación básica es el laminado plano o laminado simple, donde los productos laminados son la placa y la hoja; un proceso estrechamente relacionado es el laminado de perfiles, en el cual una sección transversal cuadrada es transformada en un perfil tal como el de una viga I, L, T, etc.

La mayoría de las operaciones de laminado se realizan en caliente debido a la gran cantidad de deformación requerida. Las desventajas del laminado en caliente son: El producto obtenido no presenta una buena tolerancia dimensional y la superficie muestra una capa de óxido característica.

En la figura 1.8 se muestra como se lleva a cabo el proceso de laminado.

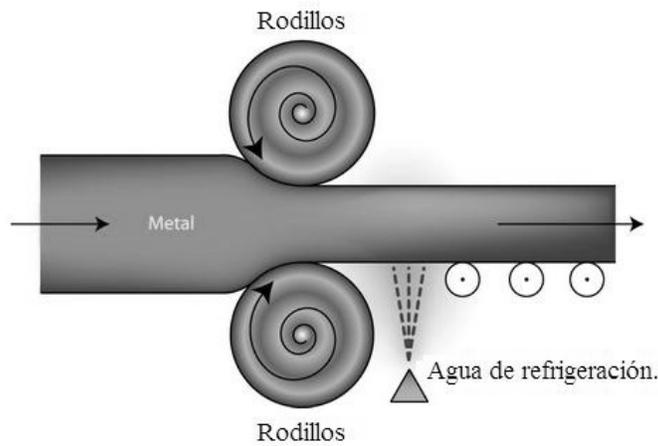


Figura 1.8 Proceso de laminado^{xii}.

En la figura 1.9 se muestran las principales clasificaciones de los procesos de laminado.

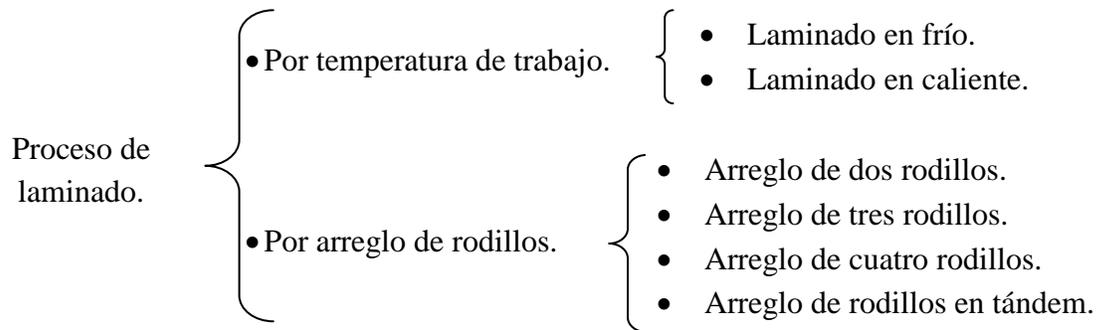


Figura 1.9 Clasificación de los procesos de laminado.

^{xii} <http://www.doitpoms.ac.uk/tlplib/metal-forming-2/rolling.php>

- **Procesos de deformación plástica en 2D**

Doblado. Es una de las operaciones más comunes en los procesos de manufactura, se define como la deformación plástica de una lámina o una plancha metálica alrededor de un eje recto; durante el proceso, el metal situado por debajo del plano del eje neutro se comprime, mientras que el metal superior al eje neutro se estira, es decir queda tensionado como se muestra en la figura 1.10.

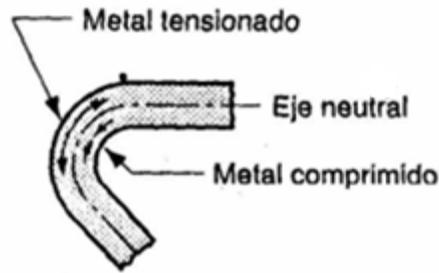


Figura 1.10 Tensión y compresión posteriores al doblado^{xiii}.

En las operaciones de doblado es necesario tener en cuenta los factores que pueden influir en la forma final de las piezas a obtener, como por ejemplo: elasticidad del material, recuperación elástica del mismo, radios interiores y ángulos de doblado.

El doblado no solo se usa para formar, uniones o corrugados sino también para impartir rigidez a la pieza, aumentando su momento de inercia.

En la figura 1.11 se aprecia cómo se lleva a cabo el doblado de una hoja metálica.



Figura 1.11 Proceso de doblado^{xiv}.

^{xiii} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

^{xiv} <http://www.thefabricator.com/article/bending/doblado-de-metal-de-alta-resistencia-a-la-tension>

En la figura 1.12 se muestran las principales clasificaciones de los procesos de doblado.

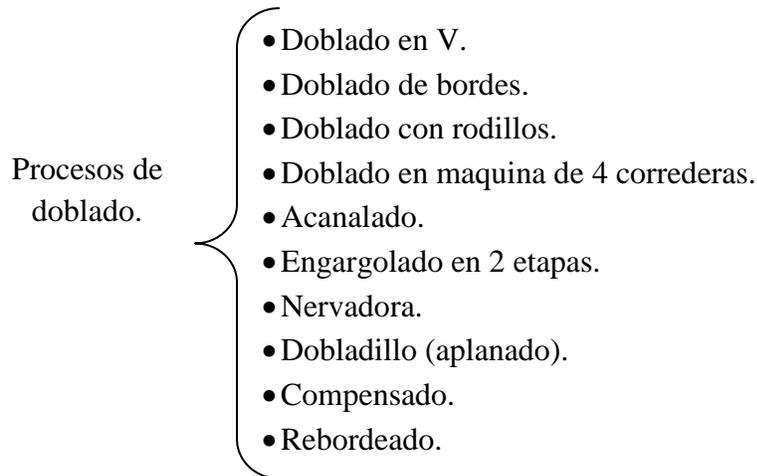


Figura 1.12 Procesos de doblado.

Estirado. Es una operación donde la sección transversal de una varilla, alambre o barra se reduce al tirar del material a través de un dado como se puede observar en la figura 1.13.

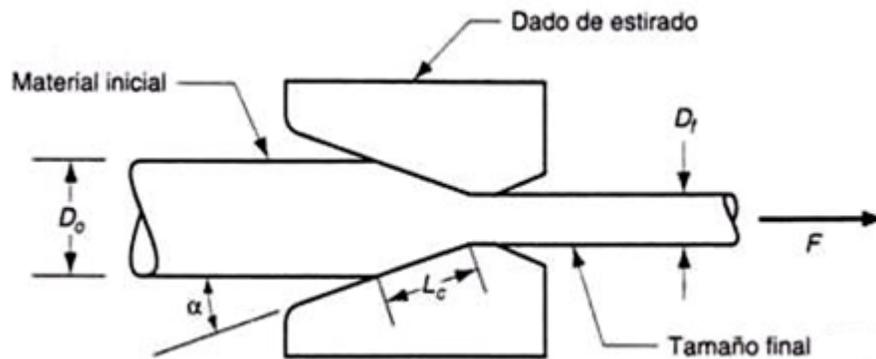


Figura 1.13 Proceso de estirado^{xv}.

El estirado es un proceso muy similar al proceso de extrusión, la diferencia está en que en el estirado se tensiona al material después de pasar por un dado mientras que en la extrusión se empuja al material forzándole a pasar por dicho dado.

En el estirado aparecen los esfuerzos de tensión, sin embargo la compresión también es importante pues el material se comprime al desplazarse por el dado. La deformación que ocurre en el estirado también recibe el nombre de compresión indirecta.

La diferencia más importante entre el estirado de alambre y el estirado de barras es el tamaño del material que se procesa.

^{xv} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

El estirado de barras es un estirado simple. Por el diámetro inicial, que es relativamente grande, la forma es la de una pieza recta, este hecho limita la longitud de trabajo que se puede procesar por una operación tipo lote.

El estirado de alambre se lleva a cabo a partir de rollos de alambre que miden varios metros de longitud y pasa a través de una serie de dados.

El término estirado continuo recibe ese nombre por que las corridas de producción son grandes. Los rollos de alambre pueden ser unidos, mediante soldadura, por el tope de cada rollo para contar con un verdadero estirado continuo.

Otro tipo de estirado importante es el embutido de láminas metálicas.

- **Procesos de corte.**

Cizallado. Es un corte que puede ser recto, en ángulo, a lo largo o a lo ancho del material. El corte se efectúa con dos cuchillas longitudinales, una de las cuales permanece fija y la otra se mueve alternativamente. El cizallado suele ser en frío, en especial con materiales de poco espesor tales como papeles, telas, cerámica, plásticos, caucho, productos de madera y la mayoría de los metales.

Es común el empleo de este tipo de corte para reducir grandes láminas a secciones más pequeñas para operaciones de prensado posteriores.

En la figura 1.14 se aprecia cómo se lleva a cabo la operación de cizallado de una hoja metálica.

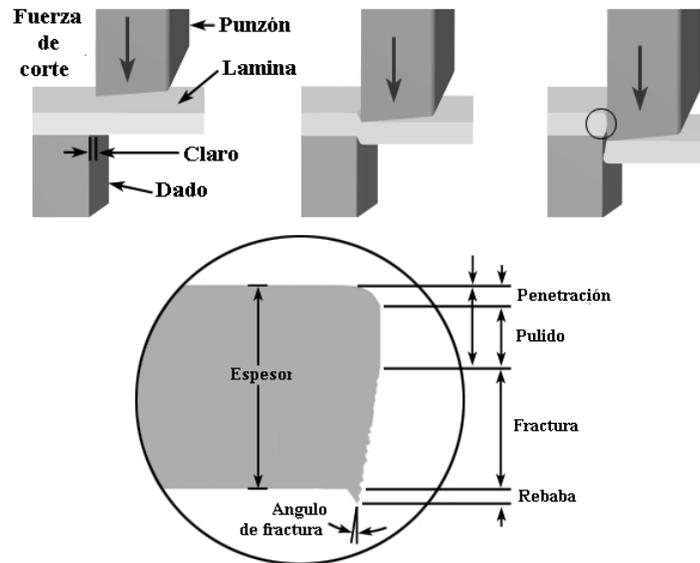


Figura 1.14 Proceso de Cizallado^{xvi}.

^{xvi} <http://www.custompartnet.com/wu/images/sheet-metal/shearing-edge.png>

En la figura 1.15 se muestra la clasificación más común del proceso de cizallado.

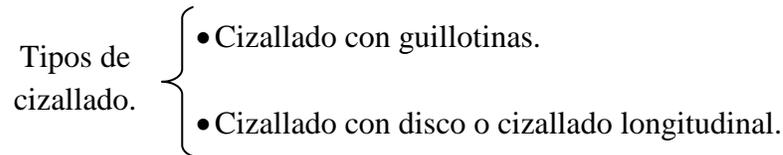


Figura 1.15 Tipos de cizallado.

Troquelado.

El troquelado es la operación de corte de una lámina a lo largo de un contorno cerrado en un solo paso, aplicando una fuerza de compresión sobre un punzón para separar la pieza del material circundante; la parte que se desprende del material es el producto deseado.

Es común que este proceso sea empleado para la obtención de preformas para operaciones posteriores; para ello se utilizan prensas que comúnmente cuentan con un arreglo mecánico aunque es posible, dependiendo el tipo de trabajo, utilizar prensas hidráulicas.

Para este proceso de corte, la calidad superficial de la pieza troquelada está directamente relacionada con el acabado superficial de la herramienta de corte, las caras frontales de la herramienta deben de estar bien mecanizadas y sin rayas, de ser posible rectificadas y abrillantadas, ya que con el menor defecto en la herramienta se reproduciría en la pieza troquelada y con el uso constante una fatiga prematura de la matriz y el punzón. **Este proceso, al igual que punzonado, es la base del presente proyecto por lo que su estudio a detalle se presenta en los siguientes capítulos.**

Los tipos de troquelado se muestran en la figura 1.16.

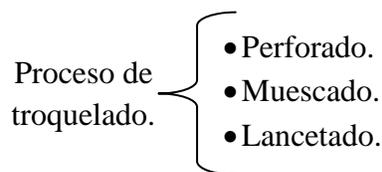


Figura 1.16 Tipos de troquelado.

Punzonado. Es muy similar al troquelado, sólo que la pieza que se desprende o se corta es la que se desecha, es decir el material remanente es la pieza deseada.

El Punzonado se lleva a cabo en tres etapas:

1. El punzón hace contacto con el material y ejerce presión hasta llegar a la deformación plástica.
2. La presión hace que el punzón penetre en el material desplazando el material al interior de la matriz.
3. Se presenta la fractura del material, En este punto se separa el recorte del material.

En la figura 1.17, se aprecia más claramente la diferencia entre el troquelado y el punzonado.

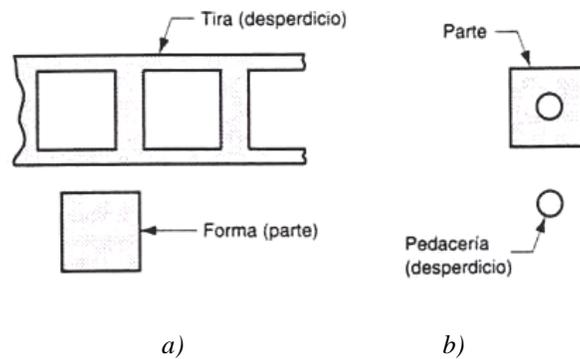


Figura 1.17 a) Troquelado y b) punzonado^{xvii}.

Electroerosión. La electroerosión o EDM por sus siglas en inglés (Electrical Discharge Machining) es un proceso de fabricación de formas completas en materiales conductores, en especial aquellos de alta resistencia y por lo tanto difíciles de ser maquinados por procesos tradicionales. Consiste en remover material por medio de descargas eléctricas controladas entre un electrodo y una pieza, en un medio dieléctrico.

Consiste en aplicar descargas eléctricas entre un ánodo (generalmente de grafito o cobre), y un cátodo (acero u otro material para herramientas) en un fluido dieléctrico. Al estar ambos electrodos inmersos en un medio dieléctrico, la diferencia de potencial que se aplica, debe ser suficientemente alta para generar un campo eléctrico mayor a la rigidez dieléctrica del fluido. Las descargas son controladas de modo que produzcan erosión al cátodo (material a manufacturar). Durante el proceso, el ánodo (electrodo) se abre camino en la pieza trabajada (cátodo) que de este modo adquiere los mismos contornos que el ánodo. El dieléctrico (generalmente aceite) o líquido de barrido, se ioniza durante las descargas. Los iones cargados positivamente golpean el cátodo con lo cual la temperatura en la superficie del acero aumenta hasta un nivel tal que hace que el acero se funda e incluso evapore, quedando pequeños fragmentos de metal (virutas) que son arrastradas por el fluido dieléctrico. El punto de contacto entre ambos conductores muestra un cráter, como el que se muestra en la figura 1.18, y es aquí donde se erosiona el metal.

^{xvii} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

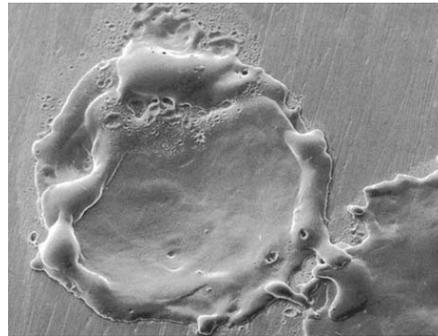


Figura 1.18 Cráter producido por descarga^{xviii}.

El proceso físico de electroerosión consta de 6 etapas mostradas en la figura 1.19:

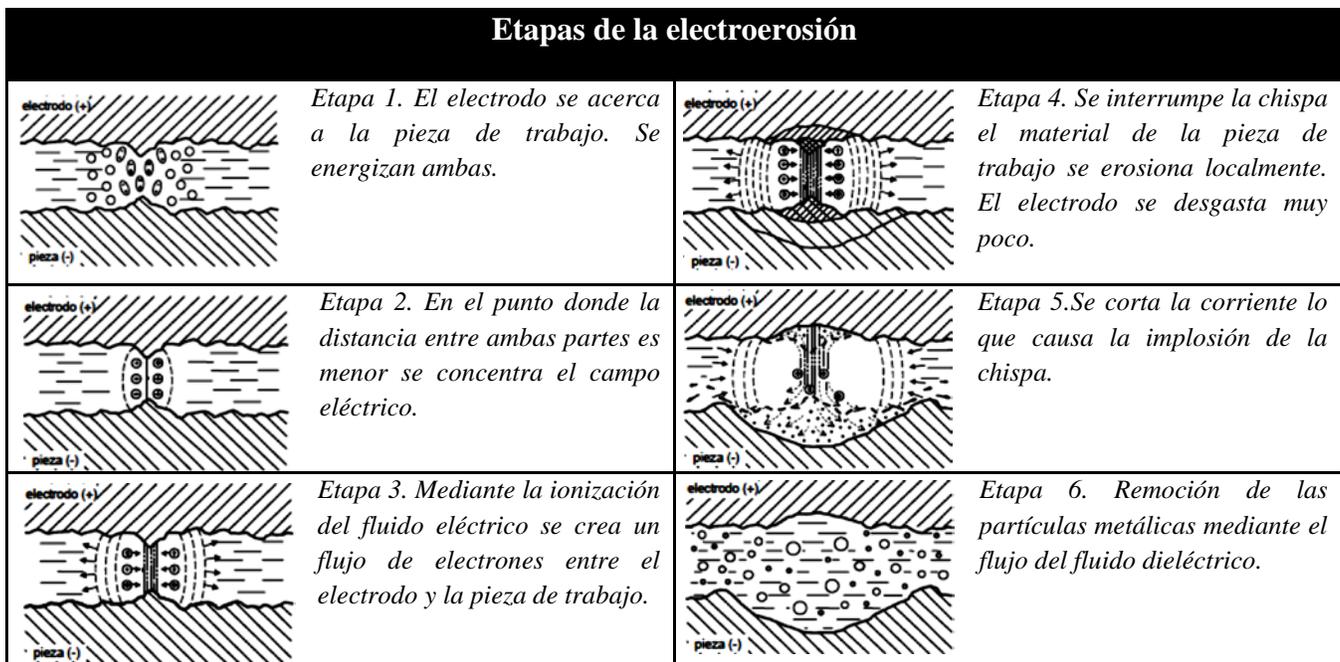


Figura 1.19 Etapas de la electroerosión^{xix}.

En la figura 1.20 se muestran las ventajas que se obtienen con la aplicación de la electroerosión en la manufactura.

^{xviii} <http://www.tecnun.es/asignaturas/labfabricacion/LCSF/pdfs/Electroerosion.pdf>

^{xix} <http://www.tecnun.es/asignaturas/labfabricacion/LCSF/pdfs/Electroerosion.pdf>

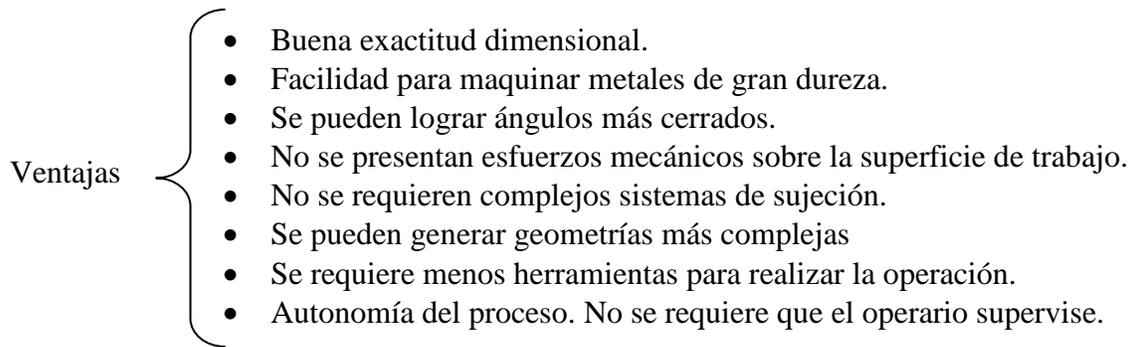


Figura 1.20 Ventajas de la electroerosión.

Aplicado a este proyecto la electroerosión proporciona el maquinado del ángulo de salida en la matriz.

1.2 Operaciones de corte de láminas.

La mayoría de los procesos con láminas metálicas se realizan a temperatura ambiente, excepto cuando el material es grueso (placas), frágil o la deformación es significativa.

Los procesos de manufactura que se realizan en lámina pueden dividirse en tres categorías: corte, doblado y embutido. Debido a los alcances de este trabajo, únicamente abarcaremos las principales operaciones de corte y doblado.

Definición del proceso de corte en láminas.

Dentro de las diversas formas que hoy en día existen para el corte de lámina, destacan tres debido a su bajo costo y calidad de acabado que cada una de ellas presenta. Estas son: el proceso de corte con cizalla, el punzonado y el perforado.

El corte de lámina se realiza por una acción de cizalla entre dos bordes afilados, a continuación se describe como se lleva a cabo dicho proceso de cizalla.

El borde superior de corte (punzón) se mueve hacia abajo sobrepasando el borde, como se muestra en la figura 1.21.

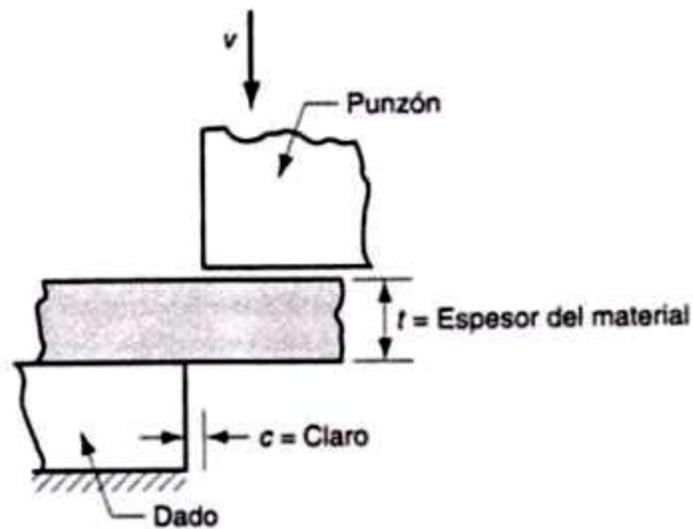


Figura 1.21 Carrera del punzón hacia la lámina^{xx}.

Cuando el punzón empieza a presionar la lámina, ocurre una deformación plástica en las superficies de la lámina, como se muestra en la figura 1.22.

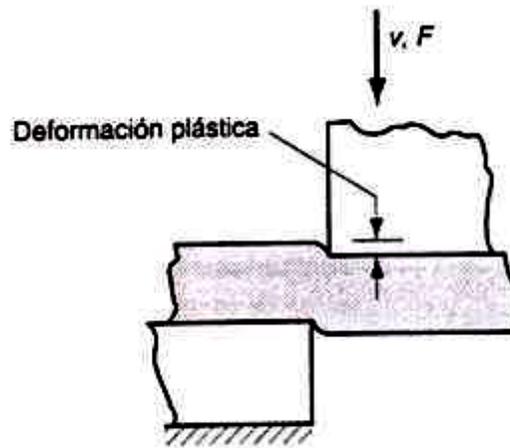


Figura 1.22 Deformación plástica en lámina antes de la fractura^{xxi}.

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 1.23.

^{xx} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

^{xxi} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

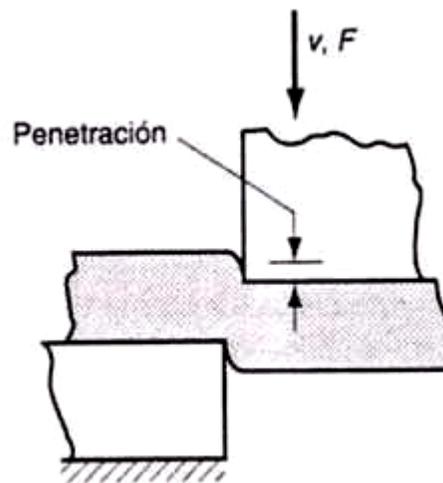


Figura 1.23 Penetración del punzón en la lámina^{xxii}.

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 1.24.

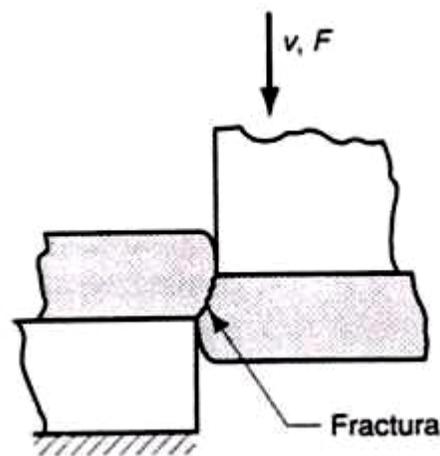


Figura 1.24 Fractura en los bordes de la lámina^{xxiii}.

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

^{xxii} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

^{xxiii} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

resultado de la penetración del punzón en el material justo antes de empezar la fractura, como se muestra en la figura 1.25.

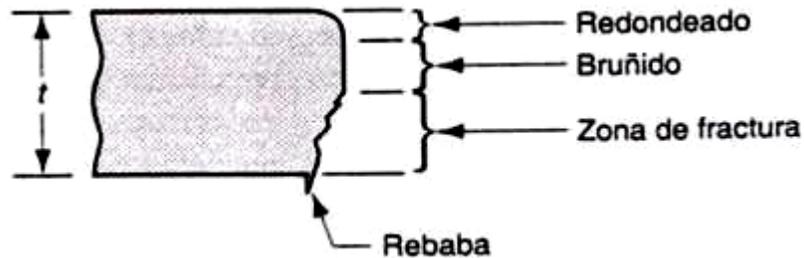


Figura 1.25 Borde de la zona de corte visto de perfil^{xxiv}.

Debajo del bruñido encontramos la zona de fractura, una superficie irregular en comparación con la zona de bruñido, esta se produce debido al movimiento continuo del punzón hacia abajo, causando éste la fractura del metal. Finalmente, al fondo del borde se encuentra la rebaba, un filo causado por la elongación del metal durante la separación final de las dos piezas, como se muestra en la figura 1.25.

En el cizallado, el corte de la lámina se lleva a cabo a lo largo de una línea recta entre dos bordes de corte o cuchillas de las cuales una de ellas permanece fija mientras la otra se mueve alternativamente.

Podríamos definir al cizallado como la primera operación del proceso de manufactura de una determinada pieza, ya que a partir de este proceso se reducen grandes láminas a secciones más pequeñas para operaciones posteriores, el equipo o maquinaria en el cual se efectúa se conoce comúnmente como cizalla.

En general es para cortes rectos a lo ancho o a lo largo del material. El corte se efectúa con dos cuchillas longitudinales, una de las cuales permanece fija y la otra se mueve alternativamente.

La cuchilla superior de la cizalla frecuentemente es sesgada, para reducir la fuerza requerida para realizar el corte, como se muestra en la figura 1.26.

^{xxiv} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

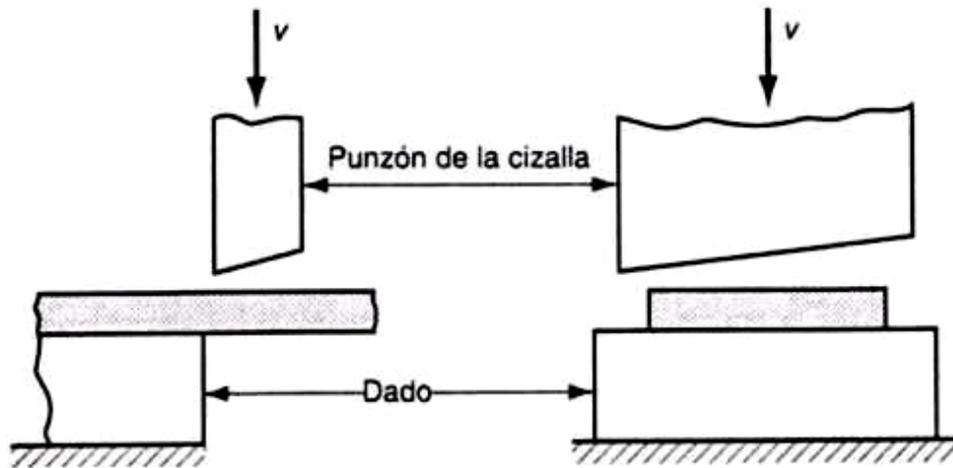


Figura 1.26 Vista lateral y frontal de una cizalla recta^{xxv}.

Troquelado fino. Con el troquelado fino se pueden producir orillas muy lisas y a escuadra. Un sujetador en forma de V mantiene a la hoja firme y en su lugar, evitando la distorsión del material. El troquelado fino trabaja con holguras que van desde el 1% del espesor de la hoja metálica y puede variar en un rango de 0.5 a 13 [mm].

Como referencia, en cuanto a las tolerancias dimensionales, pueden ser de ± 0.05 [mm] y en el caso de perpendicularidad de la orilla, menos de $0.025 \pm$ [mm].

Ranurado. Consiste en un par de cuchillas circulares que pueden seguir trayectorias curvas o en línea recta, como se muestra en la figura 1.27. Las orillas ranuradas presentan cierto tipo de rebabas que podrían ser indeseadas, pero con la ayuda del proceso de laminado se pueden doblar sobre la superficie de la hoja metálica. De no tomar en cuenta dichas rebabas, el ranurado puede provocar distorsiones de las orillas en una variedad de formas.

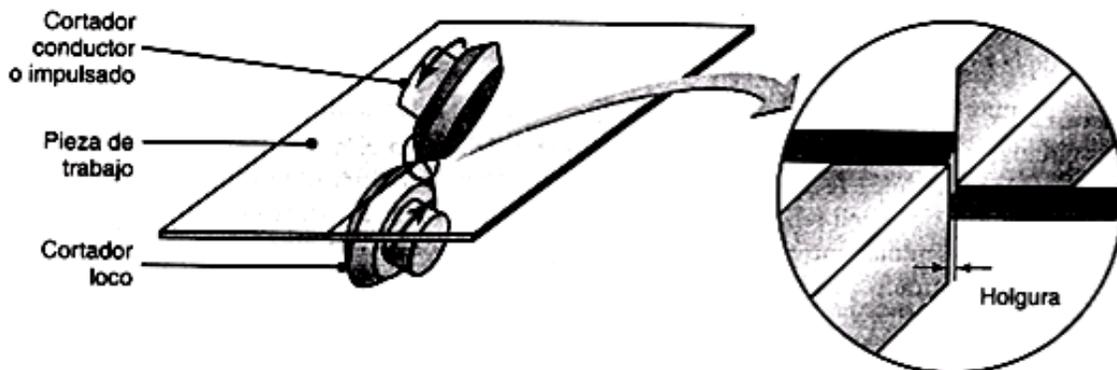


Figura 1.27 Proceso de ranurado^{xxvi}.

^{xxv} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

^{xxvi} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

Suajes. Son reglas de acero que sirven para troquelar materiales blandos. Consisten en una matriz creada con cinta de acero endurecido doblada con la geometría que se desea para el material, como se muestra en la figura 1.28. Se apoya sobre la base plana de madera para que la matriz presione contra el material, el cual, está apoyado en la superficie plana y la cizalla a lo largo del suaje.



Figura 1.28 Suajes^{xxvii}.

Niblado. En este proceso una máquina mueve un punzón recto, de forma rápida dentro de una matriz con secuencia, dicha máquina recibe el nombre de nibladora (figura 1.29).

El proceso consiste en insertar una hoja a la cual se le practican perforaciones traslapadas, con la ayuda de controles, los cuales pueden ser manuales o automáticos.

El niblado tiene ciertas ventajas como por ejemplo su flexibilidad y que se pueden producir muescas y ranuras complejas con punzones estándar.

El proceso de niblado resulta ser económico y adecuado para corridas cortas debido a que las matrices usadas son simples.



Figura 1.29 Nibladora^{xxviii}.

^{xxvii} http://suajesdiamante.com/SUAJES_DE_CORTE.html

^{xxviii} http://distritofederal.quebarato.com.mx/gustavo-a-madero/maquina-nibladora-mca-thomas__7052B5.html

Un aspecto muy importante en los procesos de corte, específicamente del troquelado, es la pérdida por recorte, la cual, puede llegar a ser del 30% en estampados grandes. Esto se ve reflejado en el costo de manufactura lo cual puede ser mejorado mediante un arreglo eficiente de las formas en la hoja a cortar.

Existen diversos parámetros que son de suma importancia durante el desarrollo de los troqueles y en la mayoría de los casos son los que determinan la configuración de la herramienta, su geometría final y el o los materiales con los que estará conformada la herramienta.

A continuación se presenta un análisis de los parámetros más importantes en el corte de láminas metálicas mediante el proceso de troquelado. Estos factores son: la fuerza de corte, fuerza de expulsión, fuerza de extracción, el claro u holgura, la relación con el espesor de la lámina, las dimensiones de la sección transversal del punzón y el ángulo de salida del material cortado.

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 1.30. 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 1.31. En procesos que requieren bordes muy rectos, el claro es solamente del 1% del espesor del material.

La holgura apropiada depende de:

- Tipos de materiales.
- Espesor y tamaño en bruto.
- Proximidad entre orillas cizalladas y orillas del material o bordes de la pieza.

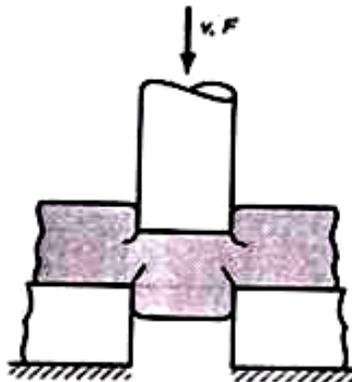


Figura 1.30 Un claro demasiado pequeño ocasiona una fractura poco óptima y se requieren fuerzas excesivas para llevar a cabo el proceso^{xxix}.

^{xxix} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

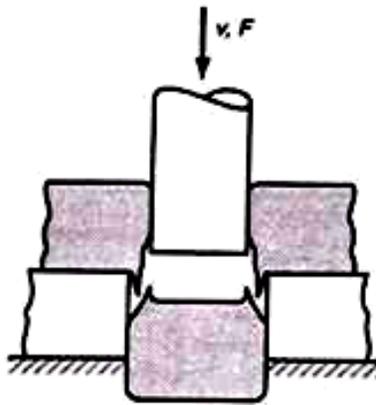


Figura 1.31 Un claro demasiado grande produce un corte menos limpio, originando rebabas más grandes^{xxx}.

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 mas angosta, la superficie cizallada mas 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.

El valor del claro depende del tipo de lámina y de su espesor. Dicho valor se puede calcular empleando la ecuación 1.

$$c = at \dots \dots \dots \text{Ecuación (1)}$$

Donde: c = Claro.

a = Tolerancia.

t = Espesor de la lámina.

La tolerancia se determina en función del tipo de material. Por simplicidad los metales se clasifican en tres grupos, y para cada grupo se tiene ya un valor de a previamente calculado. Para poder determinar el tamaño del punzón y de la matriz, el valor del claro es fundamental, esta consideración se aplica tanto para el troquelado como para el punzonado. Resulta evidente que la apertura de la matriz deber ser mayor que el tamaño del punzón. La adición del claro al tamaño de la matriz, o su resta del tamaño del punzón dependen de la geometría de la pieza a producir.

^{xxx} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

Claro angular.

Para que las piezas troqueladas o punzonadas caigan a través de la matriz, la apertura de ésta debe tener un claro angular (figura 1.32), aproximadamente entre 0.25 [°] y 1.5 [°] de cada lado, esto debido a la restitución plástica que presenta el segmento de material cortado inmediatamente después de que el punzón lo separa de la lámina o pieza original.

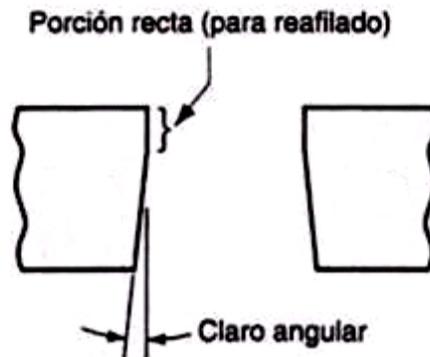


Figura 1.32 Claro angular^{xxvi}.

1.3 Fuerza de corte.

Es muy importante calcular la fuerza de corte, debido a que este parámetro determina el tamaño de la prensa que se utilizara para realizar el proceso. La fuerza de corte se calcula con la ecuación 2:

$$F_c = StL \dots \dots \dots \text{Ecuación (2)}$$

Donde: S = Resistencia al corte del material.

t = Espesor de la lámina.

L = Longitud de corte.

Si se desconoce la resistencia al corte del material, se puede estimar la fuerza de corte mediante el uso de la resistencia a la tensión:

$$F_c = 0.7 \sigma_{UTS} tL \dots \dots \dots \text{Ecuación (3)}$$

Donde: σ_{UTS} = Ultimo esfuerzo de cedencia.

La ecuación (3) calcula la fuerza de corte suponiendo que el corte entero se lleva acabo al mismo tiempo, en este caso la fuerza de corte requerida es máxima.

^{xxvi} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

Es posible reducir la fuerza de corte requerida usando un borde de corte sesgado en el punzón o en la matriz, tal como se ilustra en la figura 1.26. Este ángulo (llamado ángulo de corte y dependiente del espesor de la lámina) distribuye el corte en el tiempo y reduce la fuerza que se requiere.

Para espesores de lámina menores a 1.4 [mm] se recomienda un ángulo de 20 [°], para espesores entre 1.4 y 2 [mm] un ángulo de 15 [°] mientras que para espesores arriba de los 2 [mm] un ángulo de 10 [°].

Fuerza de expulsión.

En el corte se produce una fuerza de rozamiento entre la lámina y la matriz, por ello es necesario incrementar la fuerza de corte a un valor que supere dicha fuerza. Este incremento influye a la hora de seleccionar la fuerza que haya que aplicar en la prensa.

$$F_c' = 1.1(F_c) \dots\dots\dots \text{Ecuación (4)}$$

Donde F_c' = fuerza de expulsión

F_c = Fuerza de corte

Relación entre el espesor de la lámina y las dimensiones de la sección transversal del punzón.

Las dimensiones de la sección transversal del punzón dependen tanto de los materiales de la lámina y del punzón, como de la forma del punzón y del espesor de la pieza a cortar. Tratándose de un punzón cilíndrico de diámetro (d [mm]), material de acero templado y de chapa de acero suave de espesor (e [mm]) es posible emplear la relación.

$$e = 1.2(d) \dots\dots\dots \text{Ecuación (5)}$$

Pudiendo ser mayor la relación si el material que hay que cortar es más blando.

1.4 Doblado de láminas.

El doblado es una de las operaciones de conformado más utilizadas. Aumenta el momento de inercia de las piezas y como consecuencia proporciona rigidez a estas. Como se explicó anteriormente, las fibras exteriores del material se someten a tracción mientras que las fibras interiores están sometidas a compresión, como se muestra en la figura 1.10. La longitud de doblado se vuelve más pequeña en la parte posterior debido al efecto de Poisson^{xxxii}. La parte interior, por el contrario, ahora es más grande en comparación con el principio.

El doblado se lleva a cabo con la ayuda de una gran variedad de punzones y dados.

^{xxxii} *Efecto de Poisson: Este efecto consiste en el estrechamiento de sección en una probeta de material elástico lineal e isotrópico cuando es sometido a tensión. Presenta un adelgazamiento en las direcciones perpendiculares al estiramiento.*

Los doblados con mayor uso son:

Doblado en V: Se practica con la ayuda de un dado con forma de V, como se muestra en la figura 1.33. La lámina se dobla entre el punzón y el dado, los ángulos pueden ser desde agudos hasta obtusos. Este tipo de doblado se usa, en la mayoría de las ocasiones, para producciones pequeñas o corridas cortas y la prensa en la que se trabaja es de cortina^{xxxiii}. Los dados en V son relativamente simples y de bajo costo.

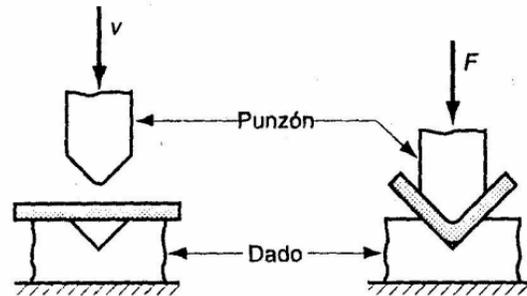


Figura 1.33 Doblado en V (antes y después)^{xxxiv}.

Doblado de bordes: se practica con la ayuda de un dado deslizante, como se muestra en la figura 1.34. En este tipo de doblado se usa una carga voladiza sobre la lámina u hoja metálica. Una placa de presión aplica una fuerza de sujeción (F_h) para mantener a la hoja contra el dado. El punzón obliga a la lámina a pasar por la parte volada para doblarle sobre el dado. Este tipo de doblado está limitado para ángulos de 90 [°] o menores, sin embargo, con un diseño más complejo se pueden elaborar dados deslizantes para ángulos mayores a 90 [°].

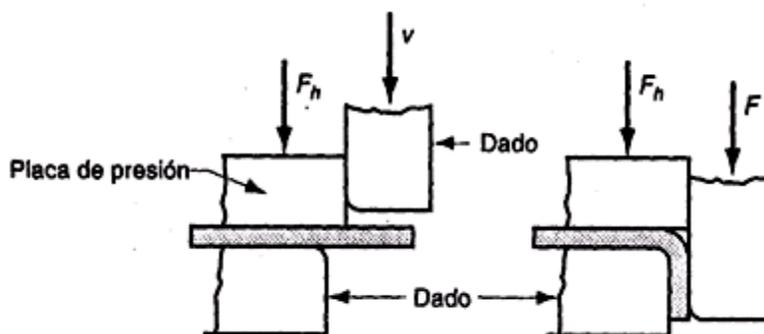


Figura 1.34 Doblado de bordes (antes y después)^{xxxv}.

^{xxxiii} Prensa de cortina: Una prensa de cortina es una prensa usada para doblar, formar o perforar metal.

^{xxxiv} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

^{xxxv} Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna*. México: Prentice Hall, 1997

Existen una serie de recomendaciones para trabajar con un proceso de doblado controlado y son las siguientes:

- Planear minuciosamente el primer y último proceso.
- Un montaje sencillo del herramental al igual que el desmontaje.
- Considerar una dimensión crítica de referencia sin forzar la pieza en el proceso de doblado.
- De ser posible omitir alguna de las operaciones de cargar o descargar la pieza.

Un factor muy importante que se presenta en el material por el efecto de las fuerzas de compresión y de expansión cuando es sometido a doblado es una “recuperación elástica” conocida como “spring back” y se presenta por que el material tiende a recuperar su forma original.

Por medio de la ecuación 6 que involucra los radios R_i y R_f , mostrados en la figura 1.35 se puede calcular la recuperación del material y es la siguiente:

$$\frac{R_i}{R_f} = 4 \left(\frac{R_i Y}{ET} \right)^3 - 3 \left(\frac{R_i Y}{ET} \right) + 1 \dots\dots\dots Ecuación (6)$$

Donde T= espesor de la hoja

E= módulo elástico

R_i = radio inicial

R_f = radio final

Y= esfuerzo de fluencia del material.

Existen algunas medidas para contrarrestar la recuperación elástica, dichas medidas son:

- Se coloca una parte que sale en el extremo del punzón.
- Se agrega un diente en forma de V en el proceso anterior al doblado.
- Sobredoblando la pieza en compensación por el rebote.
- Acuñar el área doblada.
- Doblado con estiramiento.

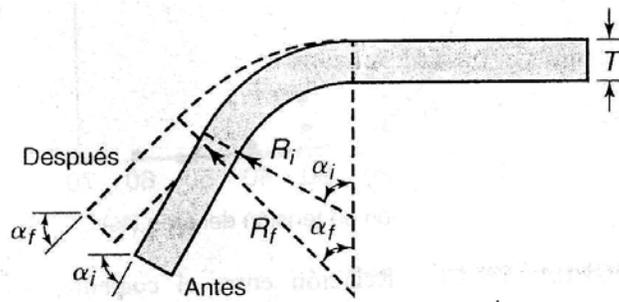


Figura 1.35. Recuperación elástica en el doblado^{xxxvi}.

Cabe mencionar que las medidas que se toman para contrarrestar la recuperación elástica proporcionan un control de la tensión causada por el proceso de doblado.

Un factor que no puede despreciarse es la dirección de las inclusiones elongadas o tirantes producidas por el proceso de laminado, este hecho puede provocar grietas como las que se muestran en la figura 1.36. Sí las inclusiones elongadas coinciden en dirección con el doblado pueden aparecer grietas mientras que sí son perpendiculares al doblado el agrietamiento no aparece.



Figura 1.36 Relación de las inclusiones elongadas (tirantes) y la dirección de laminado^{xxxvii}.

El seleccionar adecuadamente la dirección de doblado, permite conseguir ángulos de doblado más cerrados sin que se presente la falla, o fractura del material en la zona de doblado, como la que se muestra en la figura 1.37.

^{xxxvi} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

^{xxxvii} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

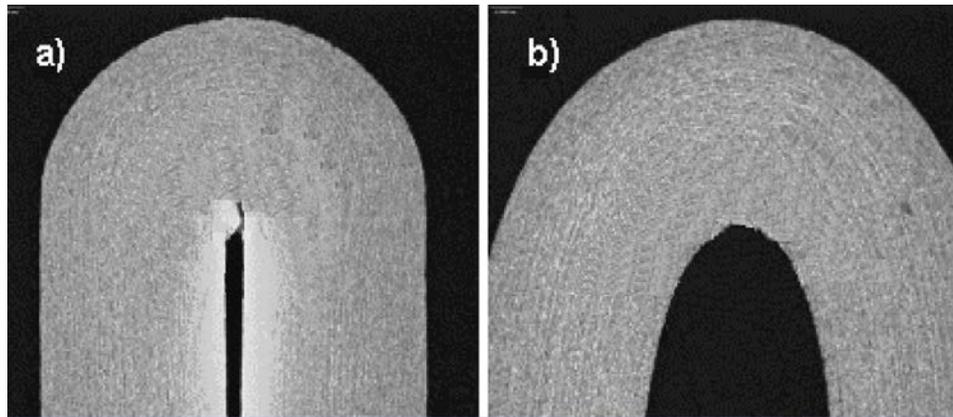


Figura 1.37 a) Zona de doblado con falla y b) Zona de doblado sin falla respectivamente.^{xxviii}

Herramientales para el doblado de láminas.

Herramental para doblez en V:

Sí no es estable la precisión del doblez en V, se presenta fácilmente pandeo por el doblado, el formado de ángulos rectos es relativamente sencillo y, finalmente, si el material no está apoyado en los hombros de la matriz se presenta un deslizamiento, el cual impide el doblado. Es muy importante tener presente la dimensión del ancho del hombro pues de no hacerlo se pueden presentar variaciones en el conformado. En la figura 1.38 se muestra el herramental usado para el doblez en V.

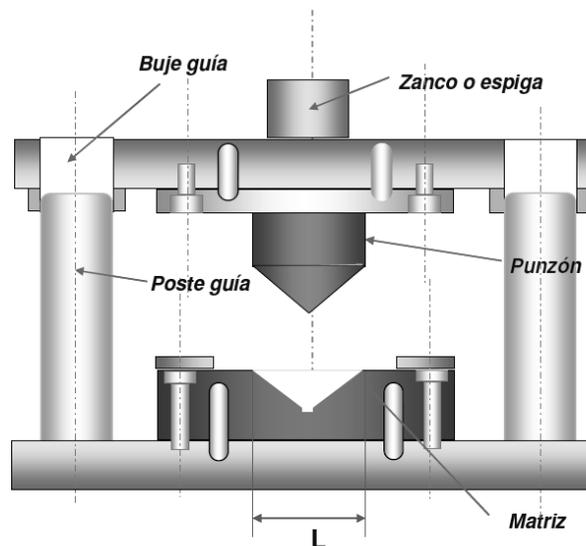


Figura 1.38 Herramental para doblez en V^{xxix}.

^{xxviii} Apuntes de procesos de conformado de materiales. M. C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador.

^{xxix} Rubio Rodríguez Saul: Estructura básica del herramental de doblado. CDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, 2008.

Herramental para doblado en L.

Este tipo de doblado presenta una configuración fácil, existe cierta dificultad para controlar la recuperación elástica y la longitud del doblado requiere de un respaldo para el punzón de doblado. Las siguientes imágenes muestran las variantes en el tipo de doblado en L del herramental utilizado. En las figuras 1.39 y 1.40 se muestra el herramental empleado para llevar a cabo el doblado en L con punzón y leva respectivamente.

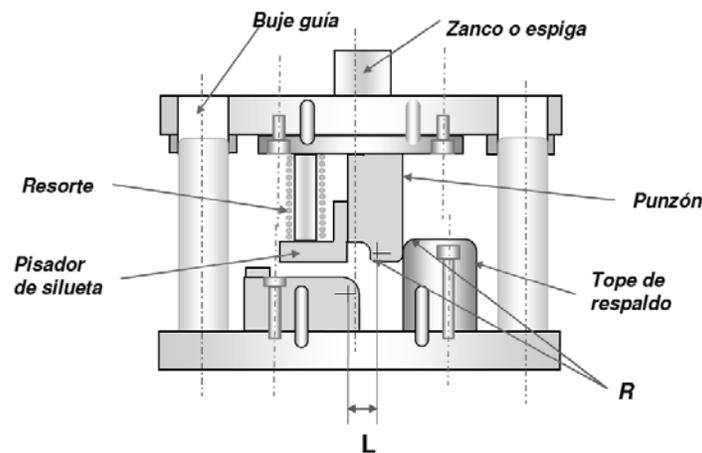


Figura 1.39 Herramental para doblado en L^{xi}.

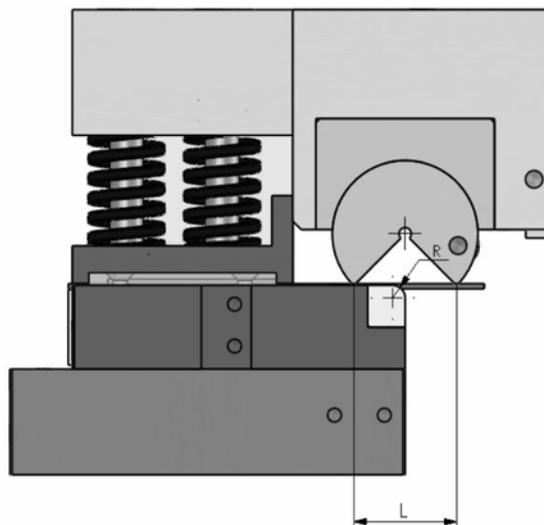


Figura 1.40 Herramental para doblado en L con leva^{xii}.

^{xi} Rubio Rodriguez Saul: Estructura básica del herramental de doblado. CDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, 2008.

^{xii} Rubio Rodriguez Saul: Estructura básica del herramental de doblado. CDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, 2008.

Herramental para doblado en U.

Este tipo de doblado presenta dimensiones precisas en diferentes zonas al igual que en la posición del doblado. Es posible realizar diversos procesos de doblado simultáneamente, sin embargo, la tensión por el doblado es elevada. Si la fuerza del cojín es débil, la planicidad de las piezas se vuelve inestable y, si por el contrario, la fuerza del cojín es alta, el ángulo recto del doblado se abre con facilidad. La figura 1.41 muestra el herramental para doblado en U.

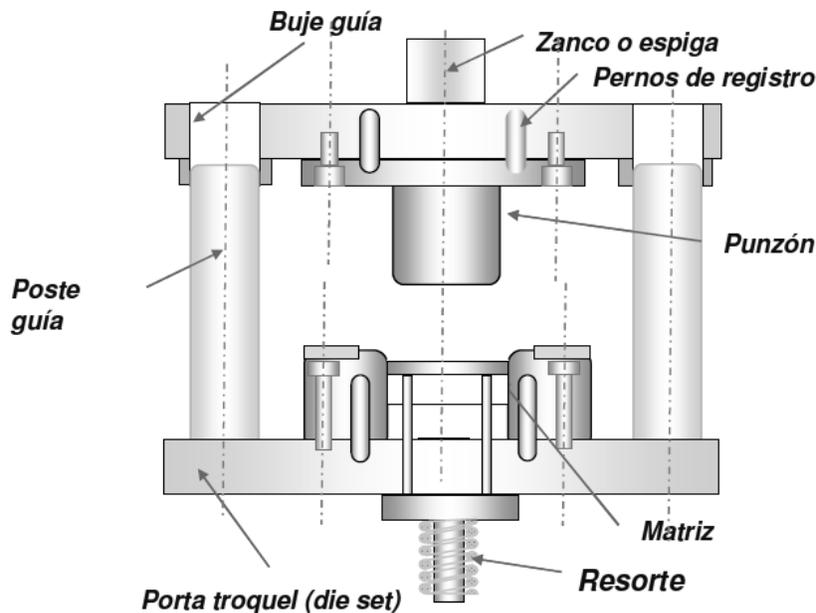


Figura 1.41 Herramental para doblado en U^{xlii}.

Holgura de doblado.

La holgura de doblado, también se conoce como la tolerancia de doblado (L_b) y que se muestra en la figura 1.42, es la longitud del eje neutro en el doblado y sirve para determinar la longitud de lámina en bruto de una pieza que se desea doblar.

La posición del eje neutro depende del radio y ángulo de doblado.

La holgura de doblado se puede calcular mediante siguiente ecuación:

$$L_b = \alpha (R + kT) \dots \dots \dots (7)$$

^{xlii} Rubio Rodriguez Saul: Estructura básica del herramental de doblado. CDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, 2008.

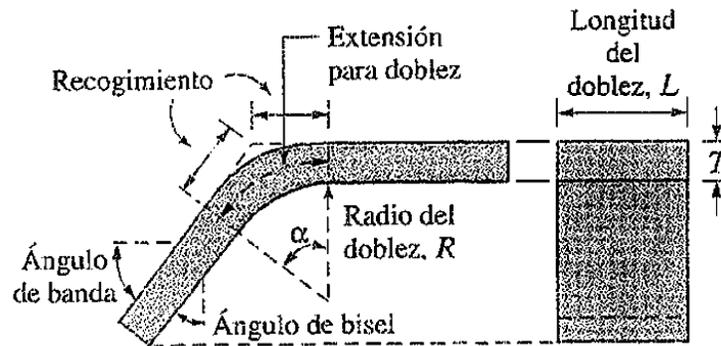


Figura 1.42 Variables del doblado^{xliii}.

Donde α =Ángulo de doblado (en radianes).

T =Espesor de la hoja.

R =Radio de doblado.

k =Constante (En la práctica el valor de k varía de 0.33 para $R < 2T$ y 0.5 para $R > 2T$).

Para el caso ideal, el eje neutro se localiza en el centro del espesor de la lámina, $k=0.5$, por lo tanto tenemos que:

$$L_b = \alpha \left[R + \left(\frac{T}{2} \right) \right] \dots\dots\dots (8)$$

Radio mínimo de doblado (R).

Es aquel en donde se presenta por primera vez una grieta en las fibras exteriores de la hoja metálica. La ecuación 9 representa la deformación en las fibras exteriores e interiores de una lámina.

$$e = \frac{1}{\left(\frac{2R}{T} \right) + 1} \dots\dots\dots (9)$$

Cuando la relación $\frac{R}{T}$ disminuye, la deformación por tensión de las fibras exteriores aumenta y aparecen grietas en la lámina, como las mostradas en la figura 1.36. La mayoría de las veces, el radio de doblado se expresa en términos del espesor ($2T$, $3T$, etc.).

El radio mínimo de doblado se calcula de la relación entre la reducción de tensión del área de la lámina y la capacidad de doblado, como se muestra en la ecuación 10.

^{xliii} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

$$R = T \left(\frac{50}{r} - 1 \right) \dots\dots\dots (10)$$

Donde: r=reducción de tensión del área de la lámina.

En la literatura podemos encontrar, valores para el radio mínimo de doblado en función del material, en la siguiente tabla se resumen algunos valores típicos para diversos materiales.

Radio mínimo de doblado a temperatura ambiente de diversos materiales.		
Material	Condición	
	Blando	Duro
Titanio	0.7T	3T
Aleaciones de titanio	2.6T	4T
Aceros		
Inoxidable austenítico	0.5T	6T
Bajo carbono	0.5T	4T
Magnesio	5T	13T
Latón (con bajo plomo)	0	2T
Cobre berilio	0	4T
Aleaciones de aluminio	0	6T
		<i>T es el espesor</i>

Tabla número 4. Radio mínimo de doblado^{xliv}.

La capacidad de doblado se puede aumentar si se profundiza la reducción de tracción del área del metal por medio de calor o un ambiente de alta presión. Las condiciones de la orilla de la lámina es otro factor que afecta la capacidad de doblado pues una orilla rugosa presenta puntos de concentración de esfuerzos. Es por esto que al aumentar la rugosidad de la orilla se disminuye la capacidad de doblado.

La cantidad, forma y dureza de las inclusiones que se encuentran en la lámina son un factor importante en el agrietamiento y el trabajo en frío que sufren las orillas a la hora del cizallado. Las inclusiones con forma alargada son más dañinas que las que presentan una forma globular.

Para mejorar la resistencia al agrietamiento de las piezas se puede recurrir a otros métodos como el rasurado o recocido de las orillas trabajadas en frío, esto con la finalidad de mejorar su ductilidad.

^{xliv} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

1.5 Fuerza de doblado.

La fuerza de doblado se puede estimar suponiendo que la hoja metálica es una viga rectangular. Con esta suposición la fuerza de doblado se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$P = \frac{kYLT^2}{W} \dots\dots\dots (11)$$

Donde W = abertura de la matriz.

L = longitud de doblado.

T = espesor de la hoja metálica.

Y = esfuerzo de fluencia del material.

k = factor para estimar el estirado.

k puede tomar el valor de 0.3 para una matriz deslizante, 0.7 para una matriz en U y 1.3 para una matriz en V.

Si consideramos una matriz en V, tenemos que:

$$P = \frac{(UTS)LT^2}{W} \dots\dots\dots (12)$$

Donde UTS=es la resistencia ultima a la tracción.

La ecuación 12 puede aplicarse en situaciones donde el radio de la punta del punzón y el espesor de lámina son pequeños en comparación con la abertura de la matriz.

La fuerza de doblado es función del avance del punzón. Se incrementa abruptamente cuando el punzón se acerca lo más posible al fondo de su carrera (cuando la pieza toca el fondo de la matriz) sin embargo en el doblado al aire, como se muestra en la figura 1.43, la fuerza no vuelve a incrementarse debido a que no se presenta resistencia alguna en el movimiento libre.

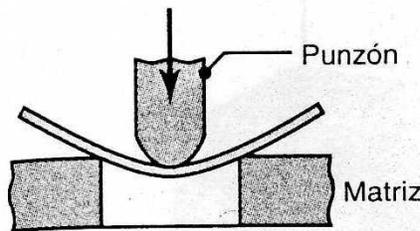


Figura 1.43 Doblado al aire^{xlv}.

^{xlv} Kalpakjian Serope: Manufactura, ingeniería y tecnología. México: Pearson, 2002

Operaciones de doblado.

Conformado en prensas plegadoras y de cortina. Como se muestra en la figura 1.44, se utilizan matrices largas en prensas mecánicas o hidráulicas, los movimientos de estas solo son hacia arriba y hacia abajo, los materiales que las conforman pueden variar desde madera hasta carburos según lo que se desee doblar.

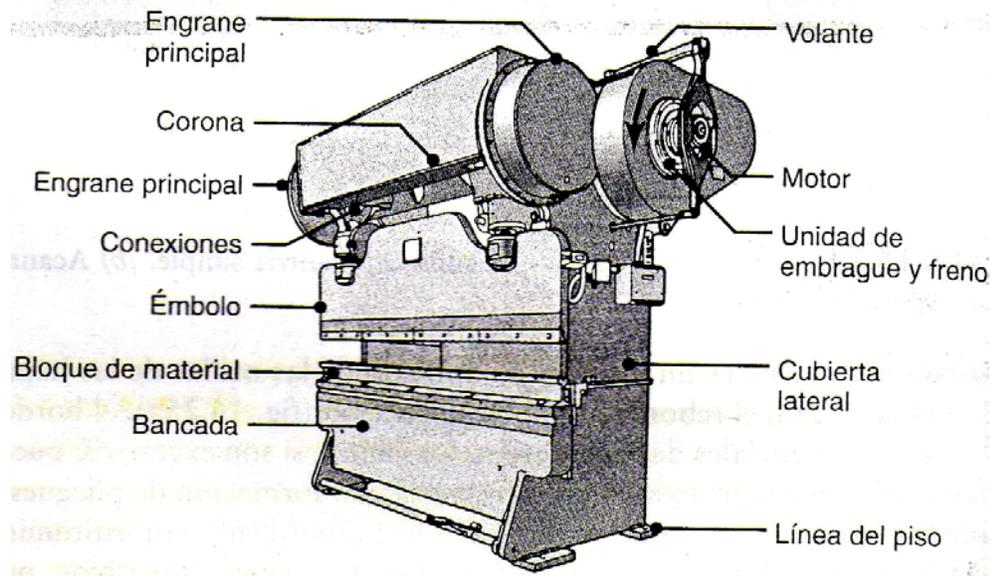


Figura 1.44 Diagrama de una prensa de cortina^{xlvi}.

Doblado en máquinas de cuatro correderas. Como se muestra en la figura 1.45, este tipo de doblado es para piezas cortas, los movimientos de las matrices son laterales y se sincronizan con el movimiento vertical para obtener la forma de la pieza.

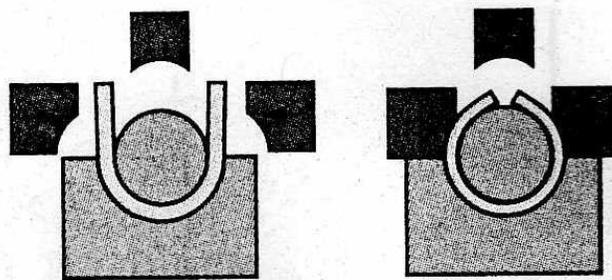


Figura 1.45 Doblado en máquina de cuatro correderas^{xlvii}.

^{xlvi} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

^{xlvii} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

Doblado con rodillos. Como se muestra en la figura 1.46, se utiliza un juego de rodillos para doblar a la lámina. Se obtiene una gran variedad de curvaturas ajustando la distancia entre rodillos.

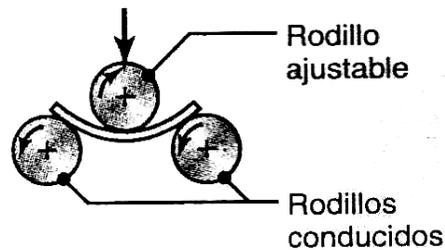


Figura 1.46 Doblado con rodillos^{xlviii}.

Acanalado. Como se muestra en la figura 1.47, la periferia de la lámina se dobla en la cavidad de la matriz. El canal formado brinda rigidez y aumenta el momento de inercia de esa sección. La imagen de este tipo de doblado mejora y suprime cualquier orilla afilada que pudiera representar peligro.

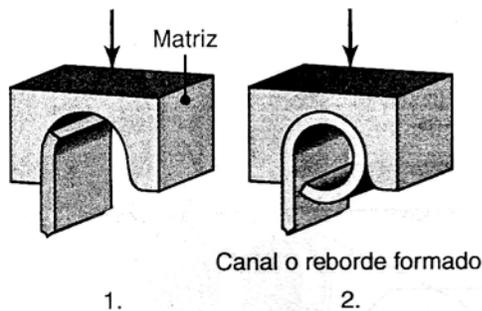


Figura 1.47 Acanalado con matriz simple^{xlix}.

Rebordeado. Como se muestra en la figura 1.48, las orillas de la lámina se doblan comúnmente a 90 [°].

Existen 2 tipos de rebordeados y son:

1. Rebordeado por contracción: Donde el borde es sometido a esfuerzos circunferenciales de compresión (si dichos esfuerzos son excesivos provocan arrugamiento).
2. Rebordeado por estiramiento. Donde el borde es sometido a esfuerzos de tensión (si dichos esfuerzos son excesivos provocan agrietamiento).

^{xlviii} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

^{xlix} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

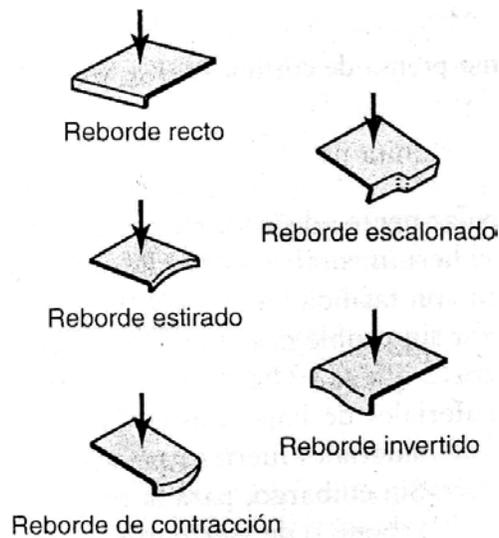


Figura 1.48 Rebordeado en lámina plana¹.

Situaciones a considerar en el proceso de doblado.

En el proceso de doblado existen cierto tipo de situaciones indeseables para las piezas de trabajo y son:

- ✓ El arrugado o plegado del material.
- ✓ Incapacidad para formar el doblez.
- ✓ Fractura del material.

En la figura 1.49 se puede comparar las situaciones adecuadas y las indeseables para las piezas de trabajo.

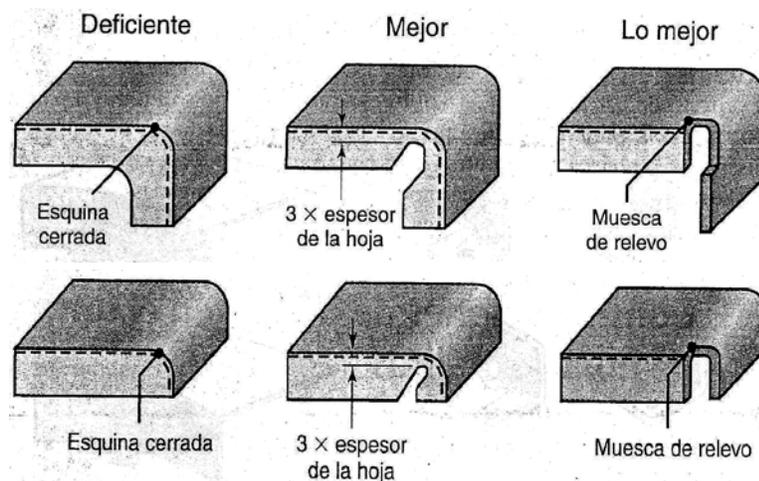


Figura 1.49 Formas de controlar el desgarre y pandeo de un borde en láminas con ángulo rectoⁱⁱ.

¹ Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

ⁱⁱ Fuente: Society of Manufacturing Engineers.

La compresión en los bordes puede ocasionar pandeo. Esto puede evitarse creando una muesca de alivio cortada para limitar los esfuerzos de doblado o alguna modificación para el diseño, como la que se muestra en la figura 1.50.

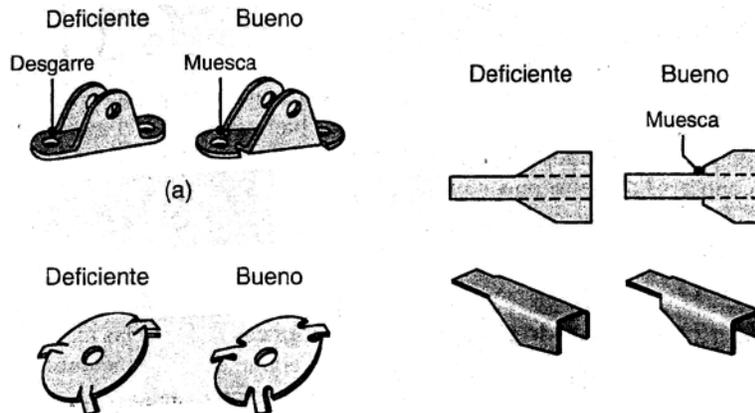


Figura 1.50 Muecas en operaciones de doblado^{lii}.

En el radio de doblado se presentan esfuerzos elevados por lo que es necesario suprimir las concentraciones de estos. Al doblar bordes deben evitarse muescas y pestañas pues reducen la formabilidad. Si las pestañas son necesarias, los radios deben ser grandes para disminuir la concentración de esfuerzos, como se muestra en la figura 1.51.

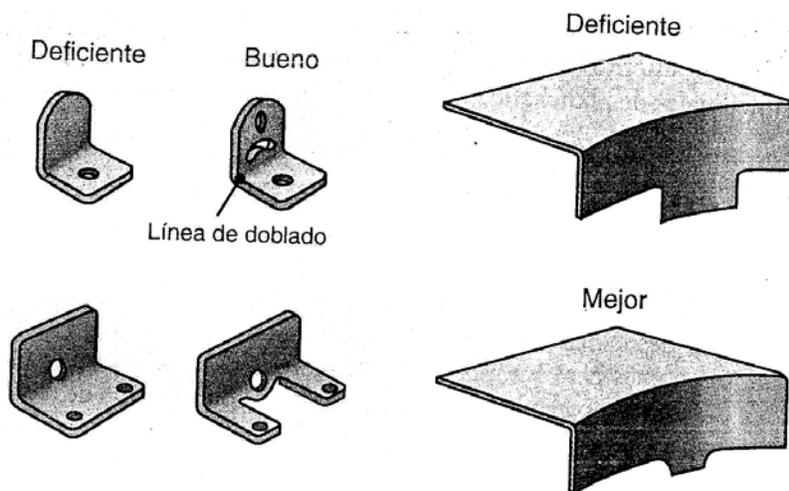


Figura 1.51 Concentraciones de esfuerzos cerca de dobleces^{liii}.

Al utilizar el doblado y muescas es preferible orientar dichas muescas de forma correcta con respecto a la dirección de los granos. También en la holgura de un doblez no deben existir rebabas pues estas son frágiles y causan concentraciones de esfuerzos que propagan las grietas en el resto de la hoja metálica.

^{lii} Fuente: Society of Manufacturing Engineers.

^{liii} Fuente: Society of Manufacturing Engineers.

1.6 Formabilidad de láminas.

Para entender los fenómenos que se presentan en los procesos de conformado de hojas metálicas o láminas es necesario hacer un análisis y definición de las características generales de los procesos de conformado, así como de las propiedades de las hojas metálicas. Dichas características se detallan en las siguientes tablas.

Procesos de conformado de hojas metálicas.

Proceso de conformado.	Características.
Embutido.	Partes de poca o mucha profundidad con formas relativamente simples, altas capacidades de producción, costos elevados de herramental y equipo.
Por explosión.	Láminas grandes con formas relativamente simples, bajos costos de herramental pero con costos elevados de mano de obra, producción de cantidades pequeñas, tiempos largos de ciclo.
Por impulso magnético.	Operaciones de conformado de poca profundidad, abombado y repujado en hojas de resistencia relativamente baja, requiere herramental especial.
Martillado.	Contornos de poca profundidad en hojas grandes, flexibilidad de operación, costos de equipo generalmente elevados, el proceso también se utiliza para enderezar partes conformadas.
Laminado.	Partes largas con secciones transversales constantes simples o complejas, buen acabado superficial, altas capacidades de producción, costos elevados de herramental.
Con hule.	Embutido y repujado de formas simples o relativamente complejas, superficie de la hoja protegida mediante membranas de hule, flexibilidad de operación, bajos costos de herramental.
Rechazado.	Partes asimétricas pequeñas o grandes, buen acabado superficial, bajos costos de herramental, sin embargo, los costos de mano de obra pueden ser elevados a menos que se automatice la operación.
Estampado.	Incluye una amplia variedad de operaciones, como punzonado, troquelado, repujado, doblado, rebordeado y acuñado; las formas simples o complejas se forman a altas capacidades de producción; los costos del herramental y del equipo pueden ser elevados, sin embargo, la mano de obra es bajo.
Estiramiento.	Partes grandes con contornos poco profundos, producción en cantidades bajas, costos elevados de mano de obra, los costos del herramental y del equipo aumentan con el tamaño de la pieza.
Superplástico.	Formas complejas, detalles finos y tolerancias dimensionales cerradas, tiempos largos de conformado, las partes no son adecuadas para uso en alta temperatura.

Tabla número 5^{liv}.

^{liv} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

Características importantes de los metales en las operaciones de conformado de hojas metálicas.

Característica.	Importancia
Elongación.	Determina la capacidad de la hoja metálica para estirarse sin formar cuellos y sin romperse; son deseables un exponente de endurecimiento por deformación (n) y un exponente de sensibilidad a la velocidad de deformación (m) elevados.
Elongación del punto de fluencia.	Las depresiones parecidas a flamas (también llamadas bandas de Lüder ^{lv} o deformaciones por estirado) que comúnmente se observan en la superficie de la hoja, se pueden eliminar mediante laminado de revenido, pero debe darse forma a la hoja dentro de cierto tiempo después del laminado.
Anisotropía (planar).	Exhibe comportamiento diferente en diferentes direcciones planares; ocurre en las hojas laminadas en frío debido a la orientación preferida o al hilo metálico ^{lvi} ; causa ondulación en el embutido profundo; se puede reducir o eliminar mediante recocido pero su resistencia es menor.
Anisotropía (normal).	Determina el comportamiento de adelgazamiento de las hojas metálicas durante el estirado, importante en el embutido profundo.
Tamaño de grano.	Determina la rugosidad de la superficie en las hojas metálicas estiradas, cuanto más grueso es el grano, más rugosa será la apariencia lo que también afecta la resistencia del material. Una recomendación para trabajar con láminas es contar con un tamaño de grano de 7 ASTM ^{lvii} .
Esfuerzos residuales.	Originados comúnmente por la deformación no uniforme durante el conformado, provoca una distorsión parcial cuando se corta, puede producir el agrietamiento por esfuerzo-corrosión los que se reducen o eliminan mediante la liberación de esfuerzos.
Recuperación plástica.	Debido a la restitución elástica de las hojas deformadas plásticamente después de la carga, provoca distorsión de la pieza y pérdida de precisión dimensional, se puede controlar mediante técnicas como el sobre doblado y el apoyo del punzón.
Arrugado.	Causado por los esfuerzos de compresión en el plano de la hoja, puede ser objetable, dependiendo de su extensión, puede ser útil para impartir rigidez a las partes al incrementar su modulo de sección, se puede controlar mediante un diseño apropiado del herramental y de la matriz.
Calidad de las orillas cizalladas.	Depende del proceso utilizado; las orillas pueden ser rugosas, no a escuadra, y contener grietas, esfuerzos residuales y una capa endurecida por trabajo, que son todos dañinos para la formabilidad de la hoja; la calidad de las orillas se puede mejorar mediante troquelado fino, reduciendo la holgura, rasurando y con mejoras en el diseño del herramental y de la matriz y con lubricación.
Condición superficial de hoja.	Depende de la práctica de laminado de la hoja; es importante en el conformado de las hojas y puede causar desgarramiento y una calidad superficial deficiente.

^{lv} Marcas de deformación por extensión.

^{lvi} Hilo metálico: Alineación de los huecos, inclusiones e impurezas a través del espesor de la lámina

^{lvii} American Society for Testing and Materials. Los materiales de tamaño de grano ASTM comprendidos entre el 7 y 9 suelen usarse cuando se busca un buen proceso de conformado.

<p>Resistencia al mellado de láminas^{lviii}:</p>	<p>Las melladuras son causadas por fuerzas dinámicas de objetos en movimiento que golpean a la lámina. Por esto mismo, el esfuerzo de fluencia a altas velocidades de deformación es el parámetro de la resistencia con más significado. Las fuerzas estáticas difunden el área mellada, mientras que las fuerzas dinámicas causan melladuras localizadas. La resistencia al mellado aumenta al incrementarse el espesor de la lámina, su esfuerzo de fluencia y disminuye al aumentar su módulo elástico y la rigidez.</p>
---	---

Tabla número 6^{lix}.

Pruebas de formabilidad para láminas.

La formabilidad de láminas es la capacidad de la hoja metálica para sufrir modificaciones en su geometría sin que esta falle. Dependiendo, en gran parte, de su geometría pueden presentarse dos modos de deformación que son el estirado y embutido. Las diferencias entre ambos son importantes y existen algunos parámetros para determinar la formabilidad y son mencionados a continuación:

Pruebas de Copa.

En esta prueba la lámina se sujeta entre dos matrices planas, circulares, y se fuerza una bola de acero sobre la lámina hasta que aparece una grieta en la lámina estirada. La penetración a la que se presenta la falla muestra la medida de la formabilidad de la lámina, como se muestra en la figura 1.52.

Sin embargo no son condiciones exactas de las operaciones de formado real por lo que los resultados no son confiables, particularmente en partes complejas.

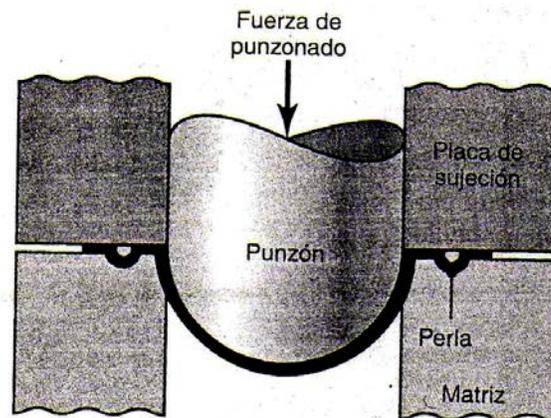


Figura 1.52 Prueba Erichsen (formado de depresión)^{lx}.

^{lviii} Mellado de láminas: Rotura o grieta pequeña causada en el borde de un objeto, especialmente en el filo de una herramienta.

^{lix} Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología*. México: Pearson, 2002

^{lx} Fuente: Inland Steel company

Desarrollando un estiramiento desigual para crear una simulación de operaciones reales de formado, como se muestra en la figura 1.53, se nota que las muestras planas se cortan con anchos variables y posteriormente se someten a prueba. Una muestra angosta se aproxima al estado de estiramiento uniaxial.

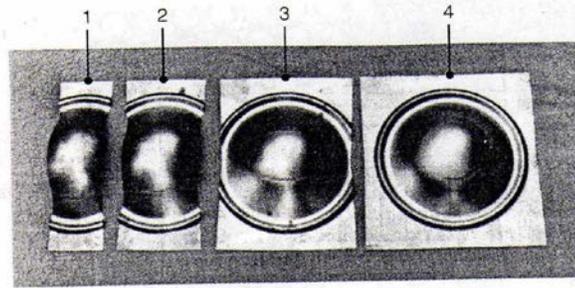


Figura 1.53 Prueba de abombado en láminas de diferentes anchos^{lxi}.

Después de realizar varios ensayos en una lámina en particular y con distintos grosores, se elabora un diagrama de límites de conformado (DLC) mostrando las fronteras entre las zonas seguras y las de falla, como se muestra en la figura 1.55.

Para elaborar el DLC se necesitan las deformaciones ingenieriles menor y mayor. Esto se logra midiendo la deformación en las circunferencias originales.

Observando la figura 1.54 se nota que la circunferencia se ha deformado y se ha convertido en una elipse, la cual, muestra un eje mayor que representa la magnitud y dirección de mayor estiramiento. La deformación mayor es positiva por el efecto de estiramiento mientras que la deformación menor es la magnitud de estiramiento o contracción en dirección transversal. Dicha deformación menor puede ser negativa o positiva.

Comparando áreas de las circunferencias originales y de las deformadas se puede determinar si el espesor cambió durante la deformación. Cuando se presenta deformación plástica, el volumen se mantiene constante. Si el área de las circunferencias deformadas es mayor que las circunferencias originales se sabe que la hoja metálica es más delgada.

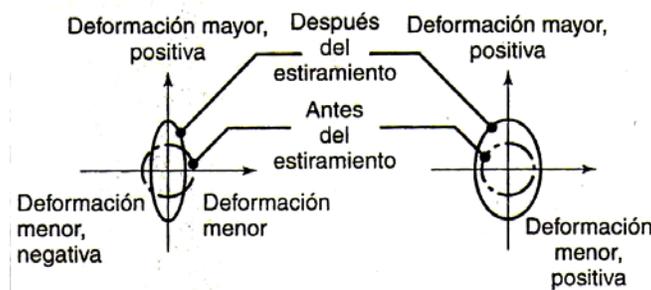


Figura 1.54 Deformaciones en patrones de rejillas circulares^{lxii}.

^{lxi} Fuente: Inland Steel company

^{lxii} Fuente: S. S. Hecker y A. K. Ghosh.

Una vez obtenidos los datos en cada punto de la figura 1.54 y elaborada la gráfica de la figura 1.55, se analiza. Si la curva es más elevada, significa que la formabilidad del material es mejor.

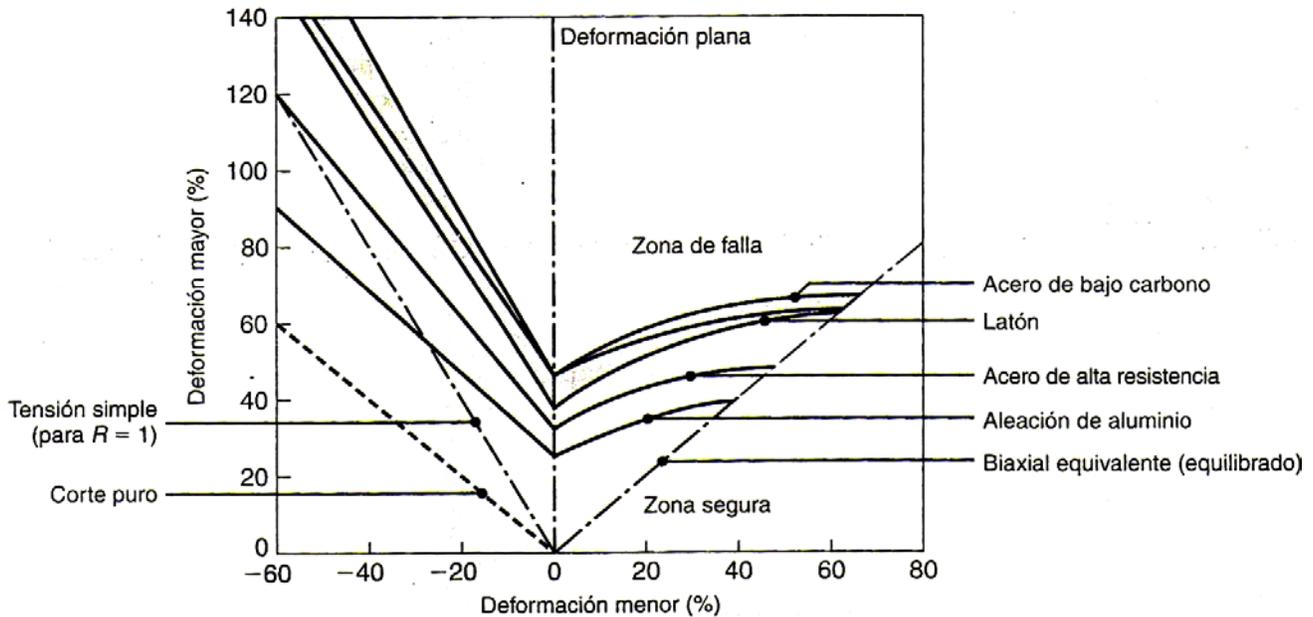


Figura 1.55 Diagrama de límites de conformado para diversas láminas^{lxiii}.

Es preferible que la deformación menor sea negativa (que la contracción ocurra en la dirección menor).

En la figura 1.55 se muestra que la elevación de las curvas es el efecto del espesor de las hojas analizadas. Por ejemplo: si la hoja es más gruesa, la curva es más elevada y esto, a su vez, nos dirá que la hoja es más formable. En la realidad, una hoja más gruesa probablemente no se doble tan fácilmente alrededor de pequeños radios sin agrietarse. Otro factor que puede alterar los resultados en los ensayos es la lubricación en la interfaz entre la hoja metálica y el punzón. Si hay una adecuada lubricación en dicha interfaz, la deformación en la hoja metálica es uniforme sobre el punzón.

Si el material presenta muescas ralladuras, depresiones o imperfecciones; la formabilidad se reduce e incluso se puede dar el caso de un desgarramiento prematuro y por ende la falla.

^{lxiii} Fuente: S. S. Hecker y A. K. Ghosh.

1.7 Corridas cortas de producción.

Históricamente se ha fabricado herramental que está enfocado en alcanzar grandes cantidades de piezas producidas. Entre las décadas de 1950 y 1960 varios diseñadores y constructores comenzaron entrenamientos formales mediante prácticas de aprendizaje para producir dados usados en el proceso de troquelado. Posteriormente instruyeron a novatos en su maestría. Con dichas prácticas de aprendizaje, los conocimientos de los iniciadores pasaron a otra generación que no le dio continuidad a estos conocimientos y con el tiempo se fueron perdiendo.

Para el caso de un troquel la arquitectura contempla un aspecto robusto y resistente a los golpes que surgen en la operación de prensas estampadoras. Dicha arquitectura es un gran método de construcción de los diseños de matrices que deben soportar producciones de hasta 1, 000,000 de piezas empleando materiales que soportan, de manera excepcional, el desgaste. Este esquema funcionó de manera perfecta hasta el momento en que entraron al mercado las firmas asiáticas.

Estas firmas lograron hacer un herramental adecuado al tipo de producción, es decir si un herramental se necesita para una producción de 5,000 piezas, es diseñado y construido para esa cantidad de piezas, con lo que se logra una disminución en el costo del material, horas de maquinado y el diseño resulta ser menos robusto, complejo y costoso.

Se considera a un proceso productivo de corto plazo, como de corrida corta, cuando por lo menos uno de los factores de producción no varía sin importar el tamaño de la producción para la cual está diseñado.

El factor que se ha designado como principal criterio para definir si cumple con esta denominación es el precio por pieza, este debe ser constante sin importar el volumen por parte. Sí no se diseña herramental para altos volúmenes se reducen los costos y esto representa el argumento principal del uso de corridas cortas de producción.

Una forma sencilla de entender todo esto es con un ejemplo:

Una fábrica de celdas solares, elaboradas con acero inoxidable de 0.025 [mm] de espesor, recibe un pedido de bajo volumen en determinada época cuando usaba cizallas para cortar papel. Posteriormente la demanda se elevó por lo que la fábrica sustituyó las cizallas de papel por un herramental de estampado de accionamiento manual de un solo golpe. Nuevamente la demanda se elevó por lo que el herramental de estampado tenía que ser sustituido para cubrir la demanda. Se usó una herramienta de transferencia automatizada de alta velocidad.

Al comparar la herramienta de transferencia automatizada con la cizalla de papel del inicio nos encontramos con una gran diferencia en los precios de dichas herramientas, sin embargo el precio de la pieza permaneció igual en cada uno de los diferentes métodos. Al simplificar el proceso de manufactura se obtiene una forma de reducir el costo de la pieza.

Otra de las mejoras que se pueden aplicar en las corridas cortas es conocer desde el principio si el herramental trabajara con altas fuerzas o materiales que provoquen desgaste excesivo o que deben cubrirse miles de ciclos contra millones de ciclos, etc.

Se pueden utilizar materiales menos costosos que duren una determinada corrida de producción.

En muchas ocasiones una parte de las corridas de producción de bajos volúmenes se puede sustituir por otro tipo de procesos por lo que no se deben descartar; para de esta forma obtener productos de manera más rápida y más barata.

Una recomendación que hacen los expertos en diseño de dados es igualar la vida útil de producción con la arquitectura del dado y el material que se emplea, simplificando a si su proceso de producción y diseño, reduciendo el número de componentes.

Para la elaboración del troquel, que el presente trabajo tiene como objetivo, se considera un diseño que no implique la adquisición de componentes complejos, así como también la apropiada selección de materiales que cumplan con la demanda física del trabajo pero que a su vez no encarezcan el mismo proyecto. Es por esto que el proyecto cumple con la denominación de troquel de corridas cortas.

En el siguiente capítulo se describen a detalle los elementos básicos que conforman un troquel y se habla del proceso de manufactura que usa dicha herramienta (el troquelado).

Debido a que el presente trabajo no contempla en sus alcances un análisis de todos los procesos que hoy en día existen para la manufactura de materia prima; únicamente se enfoca en describir de forma breve aquellos que se encuentran directamente relacionados con el conformado de hojas metálicas (materia prima del troquelado), es decir los procesos de corte y doblado que se pueden llevar a cabo con el uso de troqueles; tales como lo son: el punzonado, troquelado y cizallado.

Capítulo

2

Elementos básicos de un troquel.

- 2.1 Elementos básicos que conforman un troquel y proceso de troquelado.
- 2.2 Prensas: Tipos y clasificaciones.
- 2.3 Operaciones de conformado por prensado de lámina.

2.1 Elementos básicos que conforman un troquel y proceso de troquelado.

Como ya se menciona, el troquelado es un proceso mecánico de producción industrial utilizado para trabajar en frío lámina metálica y elaborar piezas por medio de una herramienta llamada troquel conformada por un punzón y una matriz (macho y hembra respectivamente). Por medio de una prensa, el troquel presiona sobre el material, venciendo el límite elástico de dicho material y actuando como fuerza para transformarlo, ya sea para cortar, doblar o conformar una pieza previamente diseñada. En pocas ocasiones se trabaja con láminas o placas cuyo espesor es muy grande (50.8 [mm]), para este tipo de maquinado el material debe calentarse previamente.

La base superior del troquel, donde se encuentra el punzón, se coloca firmemente en el ariete (martillo o carnero) de la prensa. Por otro lado en la mesa de trabajo se sujeta la base inferior con la placa matriz. Entre el punzón y la matriz se encuentra el material. El punzón penetra a la matriz impulsado por la potencia que le brinda la prensa y con un golpe contundente sobre la lámina se produce el corte, la deformación o transformación de la lámina.

El objetivo más importante del troquelado es producir con buena calidad y en grandes cantidades, dependiendo de la geometría del producto deseado. En la mayoría de las ocasiones el troquelado es asociado con un proceso mecánico simple constituido con escasa tecnología y complejidad. Sin embargo se conforma con un grupo de técnicas llenas de virtuosismo y maestría.

Los matriceros o ajustadores tienen un gran prestigio en la industria metalúrgica por sus habilidades, y su labor minuciosa. El proceso está conformado por diversas etapas que comienzan con el diseño de la secuencia de trabajo hasta la configuración, construcción y ajuste del propio troquel, en todas las etapas requieren de precisión y perfección.

Troquelar es un proceso de gran importancia, industrialmente hablando, dirigido a la productividad, con la encomienda de elaborar productos eficientes, de calidad, resistentes y económicos. Su objetivo es aprovechar al máximo el material para obtener la mayor cantidad de piezas, en el menor tiempo y costo.

Para construir un troquel se debe tomar en cuenta cuatro aspectos importantes:

- ✓ El trabajo que se quiere realizar.
- ✓ Las características bien definidas de la prensa.
- ✓ El material que se quiere troquelar.
- ✓ La cantidad de piezas que se quieren producir.

Clasificación de los troqueles de acuerdo al funcionamiento, número de pasos y complejidad de la herramienta.

- ✓ **Simple:** Los troqueles simples también son conocidos como troqueles de un paso o de una estación, esto se debe a que realizan una sola operación por cada golpe que genera la prensa.

Su productividad es baja y en muchas ocasiones se requiere del uso de otros troqueles para considerar una pieza terminada.

- ✓ **Compuestos:** Los troqueles compuestos también son conocidos como troqueles de dos a tres pasos o de dos a tres estaciones, esto se debe a que se aprovecha la fuerza que ejerce la prensa para obtener dos o tres operaciones por cada golpe. Por tal motivo se agiliza el proceso, disminuye el tiempo de maquinado y el aprovechamiento se optimiza.

- ✓ **Progresivos:** Los troqueles progresivos también son conocidos como troqueles de múltiples pasos o de múltiples estaciones, esto se debe a que superan los 4 pasos y su complejidad es elevada.

Para modificar la lámina, estos troqueles requieren de una secuencia de corte establecida por el diseñador del troquel. Gracias a esta secuencia se pueden obtener varias piezas terminadas.

En los troqueles progresivos los punzones trabajan sucesivamente sobre un punto del material conforme este avanza por el troquel.

El mantenimiento y operación de este tipo de troqueles es complejo, se necesita de capacitación para obtener eficiencia y precisión en la herramienta.

Actualmente se utilizan alimentadores automáticos para asegurar una secuencia en el proceso de troquelado y la seguridad de los operadores, debido a que estos trabajan de forma manual auxiliados por topes y cuchillas de avance en diferentes puntos de la o las guías.

El tipo de troquel más usado es el de corte, el cual, sirve para desprender parte del material de la lámina mediante el cizallado con un(os) punzón(es) y matriz(es). Por otra parte, el punzonado, usado como un paso en el troquelado, produce perforaciones en la lámina.

En el caso del doblado, cuando se utiliza en el troquelado, la herramienta se usa para aplicar fuerza sobre la pieza para flexionar y crear pliegues simples o complejos.

El troquel de embutición se utiliza para elaborar formas cóncavas. Su objetivo es conseguir, por medio de la presión ocasionada por la prensa, deformaciones plásticas en el material de acuerdo a la forma del molde (matriz).

En el troquel de conformado se juntan procesos en donde el punzón y la matriz elaboran formas especiales en la lámina. Se presentan procesos como:

- Bordonar o acanalar: Consiste en practicar depresiones de forma acanalada. Una acanaladura sirve para proporcionar rigidez a una pieza.
- Arrolar: Consiste en doblar un extremo de la lámina en forma de rizo o anillo. La mayoría de las ocasiones se utiliza para elementos giratorios y bisagras.
- Estampado: Consiste en aplicar grandes fuerzas a la pieza, por impacto, para conformar o atravesar chapa, haciendo que un troquel conforme el metal o produzca un agujero en la chapa interpuesta.

El eje principal de trabajo, en el caso del troquelado, es la construcción de la herramienta. Es por ello que se requiere experiencia y capacidad del matricero. La matricería es un trabajo en equipo, laborioso y requiere de gran esmero. Los materiales candidatos a formar parte de un troquel necesitan ser de buena calidad y requieren dureza para superar la resistencia de la lámina.

Elementos básicos que conforman un troquel.

Componentes de un troquel:

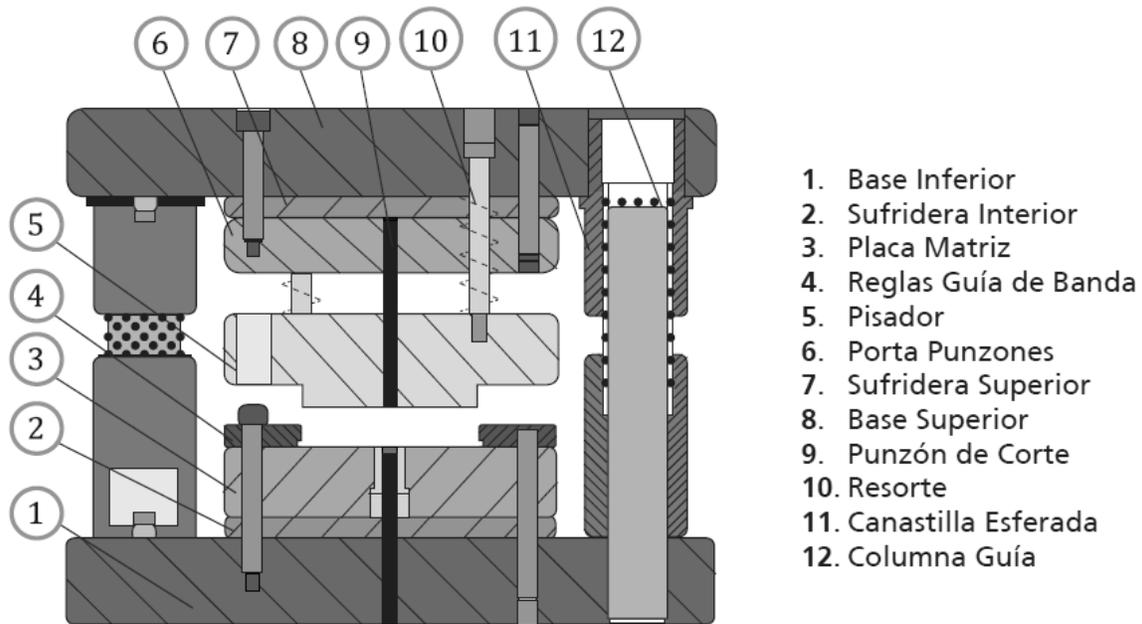


Figura 2.1 Partes esenciales de un troquel^{lxiv}.

Los componentes de un troquel suelen ser los mismos en esencia, ya sea para troqueles simples, compuestos y progresivos. Los componentes por lo general son:

^{lxiv} <http://metalactual.com/revista/12/procesostroquelado.pdf>

- Placa superior (móvil): Es en donde se sostiene el punzón del troquel que a su vez está sujeta al martillo o ariete de la prensa. En todo momento del proceso se inmoviliza y mantiene fija al martillo. Dicha base conduce el movimiento de la máquina para que el punzón haga su trabajo en conjunto con la matriz y transformen a la lámina.

Los elementos que conforman a la placa superior son:

- ✓ Una placa porta punzones.
 - ✓ El o los punzones de corte, doblar, estampar, embutir, etc. según sea el caso.
 - ✓ Sufridera superior.
 - ✓ Bujes guía.
 - ✓ Placa pisadora.
 - ✓ Resortes.
- Placa inferior (fija): Es la parte en la cual se montan los componentes que conforman a la matriz. La matriz se fija fuertemente a la bancada de la prensa durante el proceso.

Esta placa, junto con sus componentes, es el apoyo que “recibirá” toda la fuerza proporcionada por la prensa. También se pueden alojar las columnas guía sobre dicha base, las cuales tienen la función de referenciar el centrado entre ambas placas, superior e inferior.

Los elementos que conforman a la placa inferior son:

- ✓ Placa porta matriz.
- ✓ Segmentos de cortar, doblar, estampar, embutir, etc. según sea el caso.
- ✓ Reglas y columnas guía.
- ✓ Sufridera inferior.
- ✓ Topes de avance.
- ✓ Pernos.

Para ambas placas, tanto superior como inferior, se utilizan placas de hierro maleable o hierro de fundición del tipo A-36. También se suele utilizar placas de acero al carbono de mediana resistencia como el acero SAE 1045 para cubrir el requisito de corridas cortas de producción.

Estos materiales reciben un tratamiento térmico (templado^{lxv} y revenido^{lxvi}) y presentan una dureza superficial entre los 55 y los 88 Rockwell C (HRc).

Sufrideras: las sufrideras son placas, superior e inferior, de choque y son estas quienes absorben los golpes, en su superficie, de los elementos en el troquel.

Los golpes se producen cuando el punzón transforma a la lámina con la ayuda de la matriz.

Una vez que el punzón impacta sobre la superficie de la lámina, la resistencia que opone esta se transmite a la superficie de las sufrideras sobre las que se apoyan las placas porta punzón y porta matriz.

Los materiales utilizados para su elaboración se someten al templado y revenido para, de esta forma, mantener su tenacidad y cohesión.

Existen dos tipos de aceros que se utilizan comúnmente como referencia y son tanto el acero SAE 1045 o de mayor dureza como el AISI O1 o O6.

- Reglas guía: Este tipo de componentes se utilizan en las matrices progresivas y su función es guiar, tanto de forma transversal como longitudinal, la lámina en su recorrido por la matriz.

Los tratamientos térmicos más utilizados para las reglas guía son: el nitrurado, templado y revenido que tienen la finalidad de evitar el desgaste prematuro y, de esta forma, dificulten el deslizamiento de la banda.

- Porta punzones: Este componente tiene la finalidad de alojar y fijar, en su interior, el o los punzones del troquel. Estos punzones pueden ser de cualquier tipo o tamaño siempre y cuando cumplan con el requisito de estar anclados y guiados en la placa para evitar que se muevan o desprendan.

La placa porta punzones es mecanizada por electroerosión; posteriormente se rectifica y es templada.

Los aceros que más se utilizan para este componente, dependiendo de la exigencia del troquel, son: SAE 1045 para trabajos cuya exigencia es baja o media.

Acero AISI O1, O2, A2, D2, D3 y D6 para una producción alta.

Todos estos aceros cumplen con tres propiedades importantes que son la resistencia al desgaste, dureza y tenacidad.

- Porta matriz: Este componente también es conocido como cajera. Su finalidad es alojar y posicionar, dentro de ella, los elementos de pequeñas dimensiones que tiene la propia matriz. De esta forma los elementos quedan ajustados dentro de la cajera.

^{lxv} *Templado: Consiste en enfriar de manera controlada a la mayoría de las variantes de aceros aleados previamente calentados a temperaturas de entre 750 °C y 1.300 °C.*

^{lxvi} *Revenido: Consiste en mantener las piezas a temperaturas ≤ 650 °C durante un tiempo determinado. Gracias a esto se consigue reducir la fragilidad y ajustar la pieza a diferentes requisitos mecánicos, dependiendo del tiempo de mantenimiento a temperatura (liberación de esfuerzos residuales).*

El material adecuado, dependiendo la cantidad de piezas a fabricar, es el hierro A-36 o acero SAE 1045.

Para grandes producciones se necesita de materiales con una dureza mayor y resistencia al desgaste. Un acero que cumple con estas propiedades es el acero AISI D2 puesto que cuando es sometido a templado y revenido alcanza una dureza de 62-64 HRc.

- Placa pisadora: Este elemento tiene como objetivo presionar a la lámina, durante el descenso del troquel, inmovilizándola antes de que el o los punzones la toquen y mientras dura el proceso de troquelado.

Cuando la lámina es cortada, la placa pisadora sujeta a la pieza mientras los punzones se van retirando de la lámina evitando que estos se lleven a la pieza arrastrándola hacia arriba con el riesgo de que se presente la rotura.

- Punzones: Tienen por objetivo transformar a la lámina (cortar, doblar, embutir, acuñar, etc.) a fin de obtener piezas con las medidas y calidad requeridas.

En la matricería el diseño y mecanizado de punzones es parte fundamental puesto que se requiere de perfección en estas dos etapas.

Posteriormente el hecho de que estén bien sujetos, cumplan con las dimensiones del diseño, el acabado ideal y un tratamiento térmico de endurecido, es muy importante para su buen desempeño.

Para la elección del material, del que son elaborados los punzones, depende de la función de los mismos.

Para los punzones de corte, se eligen materiales con buena resistencia al desgaste y buena conservación del filo.

Para los punzones de doblado, se eligen aceros con contenido de níquel, materiales con elevada resistencia al impacto, gran penetración y una dureza superior a los 65 HRc.

- Sistemas de guiado: Este sistema encargado de dirigir a las dos partes más importantes del troquel (base superior e inferior) con la finalidad de garantizar la concentricidad entre ambas.

Consiste en dos o cuatro columnas montadas, muchas veces, en la base inferior apoyadas con bujes quienes se encargan de posicionar y centrar las dos partes del troquel.

Existen dos tipos de sistema de guiado que son:

- ✓ Por rozamiento: Es el más usado y debe ser lubricado constantemente para no forzarlo.
- ✓ Por rodamiento o canastilla esferada: Las columnas son acompañadas por una guía lineal de bolas (cilindros con esferas en la superficie). Presenta excelentes ventajas ya que el movimiento del sistema es muy ligero, los desgastes por rozamiento son escasos y su lubricación es poca al igual que su mantenimiento.

- Pilotos centradores: Estos elementos sirven para centrar al troquel con la lámina y se presente un correcto desplazamiento entre los pasos de la banda.

Si el desplazamiento fuera errático se podría perder los puntos de referencia en común, lo que ocasionaría defectos en las piezas troqueladas.

Generalmente los pilotos centradores van montados en la placa porta punzones y ajustan en barrenos de la lámina que previamente se realizan para centrarla antes de que los punzones entren en acción.

- Diversos componentes: un troquel puede estar formado de hasta 200 partes, muchas de ellas se van descartando según el diseño, los principales componentes se muestran en la figura 2.1. Entre los elementos mencionados se encuentran:

- ✓ Bujes.
- ✓ Tornillos de fijación.
- ✓ Sujetadores.
- ✓ Tornillos de apriete.
- ✓ Pernos de transporte.
- ✓ Sistemas de amarre.
- ✓ Bridas de sujeción.

El ajuste de un troquel es una labor minuciosa, requiere de gran desarrollo puesto que son herramientas compuestas y únicos. Para que las empresas, que producen en serie, elijan de manera adecuada una matriz, se deben considerar y analizar varios factores previamente para seguir un orden de prioridades que concreten un diseño y construcción adecuados.

Desde un punto de vista más general, los troqueles deben resistirse al desgaste y la compresión. Por lo mismo deben estar constituidos por aceros aleados con un tratamiento térmico.

A pesar de los requisitos para seleccionar los materiales que conforman al troquel, existen otro tipo de factores que deben tomarse en cuenta para obtener un troquel eficiente. Como la calidad superficial.

El estado de la superficie de las piezas troqueladas depende, en gran parte, de la calidad superficial de la herramienta. Esto demanda de las caras frontales del punzón y la matriz un buen mecanizado y sin rugosidades. Para dicha calidad superficial, la herramienta se puede rectificar e incluso abrillantar.

Si no se toma en cuenta este factor, las desigualdades de la herramienta se presentan en las piezas troqueladas.

Las rayas ocasionan un agrietamiento prematuro de la capacidad de conformación de la herramienta. Se forman pequeñas grietas en la superficie de la matriz que con el uso la hacen inutilizable.

Los ajustadores elaboran planos de cada parte del troquel para que en un futuro cuando se presente desgaste de las mismas se reemplacen. Generalmente los troqueles se garantizan para una determinada cantidad de piezas troqueladas, sin embargo, al usar correctamente el troquel e imponer un riguroso mantenimiento periódico, esta cantidad puede ser superada. Cada matriz cuenta con especificaciones para lubricación y zonas de mantenimiento al igual que los tiempos.

Otro aspecto que debe tomarse en cuenta para una adecuada operación del troquel es el uso de un calibre de lámina perfecto para el que fue diseñado el troquel.

De no respetar el calibre de trabajo, la herramienta se puede desgastar prematuramente e incluso romper.

Finalmente los troqueles de corte se deben rectificar periódicamente respetando las tolerancias para el afilado para evitar la disminución de su vida útil.

Actualmente las grandes compañías cuentan con departamentos encargados de la fabricación de matrices. El negocio de troquelado se apoya sobre la subcontratación. Muchas empresas solicitan la construcción de sus troqueles.

La tendencia de la matricería es la convergencia tecnológica.

El avance en el software, neumático, mecánico y automatización se deben aplicar al proceso para un constante avance tecnológico.

2.2 Prensas: Tipos y clasificaciones.

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.

Prensas mecánicas. Las prensas mecánicas, como la que se muestra en la figura 2.2, 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.

Las prensas mecánicas de doble efecto son, por lo general, usadas para trabajos de estirados profundos y embuticiones, simplificando el diseño de matrices compuestas debido a los dos dispositivos móviles que esta tiene.

Prensas hidráulicas. Las prensas hidráulicas, como la que se muestra en la figura 2.3, 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.

Actualmente existen prensas hidráulicas de alta velocidad capaces de proporcionar más de 2000 golpes por minuto y son utilizadas para operaciones de corte a alta velocidad.



Figura 2.2 Prensa mecánica^{lxvii}.



Figura 2.3 Prensa hidráulica^{lxviii}.

^{lxvii} <http://www.maquinariahernando.com/Imagenes/Productos/fotos%20maq%20varias%201599.jpg>

^{lxviii} http://www.lamrito.com/fotos_web/PRENSA%20HIDRAULICA%20EMBUTICION%20150T.JPG

El cuadro sinóptico de la figura 2.4 resume una de las posibles clasificaciones que se pueden presentar en las prensas.

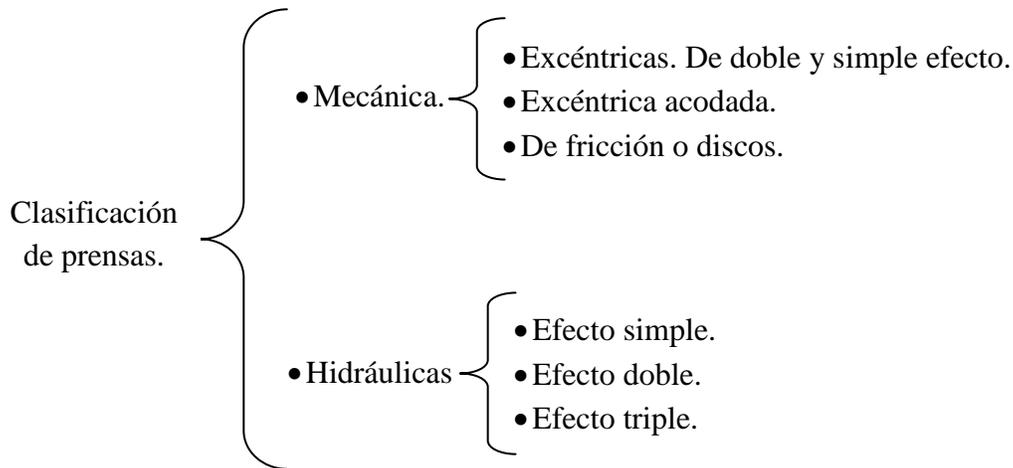


Figura 2.4 Clasificación de prensas.

Existe una gran variedad de tipos de prensas a continuación se mencionan algunas variantes que han tenido el desarrollo de las mismas, cabe mencionar que estas no son de las más empleadas en la industria debido a que su uso se limita a algunas actividades.

- Prensas inclinadas:

Como su nombre lo indica, la configuración de este tipo de prensas auxilia a la descarga de piezas y recortes. Generalmente son ajustables desde la vertical hasta un ángulo muy pronunciado.

Generalmente su aplicación es para la producción de piezas pequeñas que implican punzonado, doblado, recorte y operaciones similares.

- Prensas de escote:

También se les conoce como prensas de estructura en C, esto se debe a que la estructura puede disponer de una posición abierta e inclinable y, a su vez, esta configuración permite la simplificación de alimentar con la tira y la sujeción de los dados. Proporcionan suficiente espacio en torno a las matrices lo que puede ayudar a obtener piezas muy largas y anchas. Con este tipo de prensas se trabajan muy bien las operaciones comunes del estampado.

- Prensas de arco:

Este tipo de prensas se caracterizan por que la parte inferior de la estructura es ancha para permitir el trabajo con láminas de área grande, mientras que la parte superior es estrecha. Su diseño no permite el trabajo pesado, sin embargo, se les emplea para recortar, doblar y ajustar piezas grandes. Otra aplicación de este tipo de prensas muy común es la elaboración de utensilios de cocina.

- Prensas de lados rectos o de dos montantes:

Este tipo de prensas están diseñadas para mayor capacidad. Esto evita que alguna deformación modifique el alineamiento entre el punzón y la matriz. Su diseño básico es el utilizado para la mayoría de las prensas mecánicas o hidráulicas. Cuentan con las siguientes características: Soportes muy pesados, amortiguadores hidráulicos o de resorte que pueden ser colocados debajo del dado, varillas tirantes y armazones laterales que mantienen a las prensas de este tipo sólidamente unidas.

Las operaciones que pueden llevarse a cabo con dichas prensas son: conformado de material de calibre grueso, forjado en prensa, acuñado y embutido profundo.

- Prensas de yunque:

Este tipo de prensas generalmente cuentan con una barra cilíndrica gruesa en lugar de la mesa usual. Se emplean, principalmente, en objetos cilíndricos que requieren de un engargolado, bridas en los cantos, punzonado, remachado y repujado.

- Prensas de unión articulada:

Este tipo de prensas soportan grandes cargas concentradas que se presentan durante las operaciones como el acuñado, calibrar a medida y estampado profundo.

Son muy útiles para el ajuste de medidas, cabeceado en frío, estampado y enderezado de piezas grandes. Tienen el inconveniente de que su corrida es corta por lo que algunas operaciones no pueden llevarse a cabo con este tipo de prensas.

- Prensas plegadoras:

Este tipo de prensas se pueden adaptar para procesar láminas de metal grandes y con poco espesor. Generalmente se emplean para corrugar, engargolar, recortar, repujar y para punzonado múltiple.

Su capacidad de presión se determina por la longitud del material que puede manejar, el espesor del metal y el radio de doblez. El radio mínimo de doblado está limitado por el espesor del material.

Normalmente están equipadas con un mecanismo motriz de tipo excéntrico y sus corridas son cortas.

- Prensas de torre:

Este tipo de prensas cuentan con dos torres (superior e inferior) que alojan matrices y punzones de distintas medidas. Se usan especialmente en la producción de piezas que tienen diseños de varios agujeros con aberturas de diversos tamaños.

- Prensas de transferencia:

Este tipo de prensas tienen la capacidad de realizar simultáneamente operaciones consecutivas, el material es alimentado por medio de rodillos. Durante la operación, el material es transportado de una estación a otra por medio de un mecanismo sincronizado con el movimiento de la corredera. Cada punzón con su matriz representan una unidad separada.

2.3 Operaciones de conformado por prensado de lámina.

Existen muchas clasificaciones para los distintos procesos de manufactura, las clasificaciones se hacen en base al punto de vista desde el cual se estudian los procesos, en la figura 2.5 se muestra una clasificación de las operaciones de conformado por prensado que se realiza en lámina.

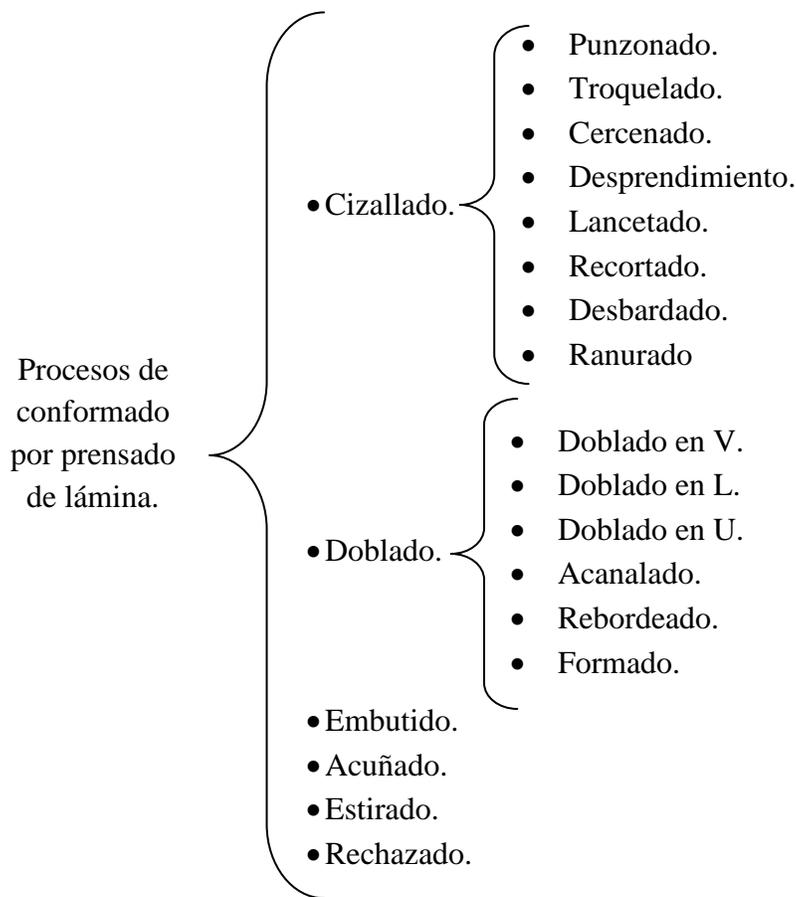


Figura 2.5 Clasificación de los procesos de manufactura por prensado de lámina.

A continuación se definen brevemente los procesos mencionados en la figura 2.5 omitiendo los procesos de los cuales ya hemos hablado.

Tipos de trabajo que se realizan en las prensas:

Las operaciones que se explican a continuación se pueden llevar a cabo ya sea en la tira del material o como piezas separadas conocidas como recortes. Entre las operaciones más comunes realizadas en prensas se encuentran:

- Cercenado: Consiste en cortar la figura de trabajo a través de la tira para, posteriormente separarles. Durante la operación no hay remoción de material y el corte se puede efectuar de cualquier forma.
- Desprendimiento: Consiste en remover desperdicio, como se muestra en la figura 2.6. Esta operación se utiliza cuando el recorte presenta un material de desecho entre cada pieza troquelada.

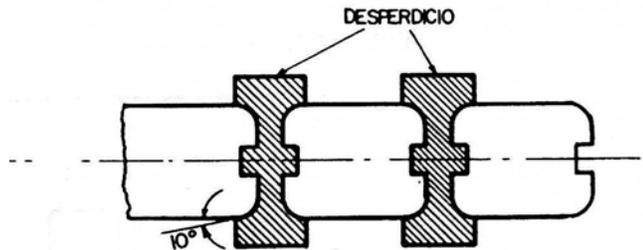


Figura 2.6 Desprendimiento^{lxix}.

- Formado: Consiste en doblar una o más cejas en la pieza o brindarle una forma superficial, ya sea antes o después de recortar la pieza de la tira, como se muestra en la figura 2.7.

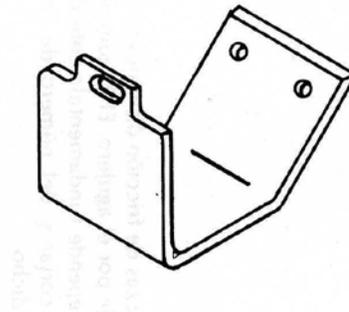


Figura 2.7 Formado^{lxx}.

^{lxix} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: *Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.*

^{lxx} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: *Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.*

- Lanceteado: Consiste en perforar parcialmente una sección de la lámina para, posteriormente, practicarle un doblé. El material no es removido como se puede observar en la figura 2.8. Esta operación se utiliza comúnmente para liberar la sección de la pieza para su doblé o plegado posterior.

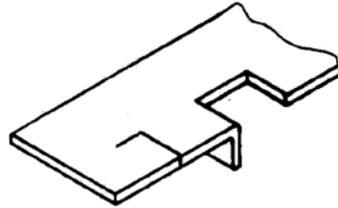


Figura 2.8 Lanceteado^{lxxi}.

- Recortado: Consiste en cortar el contorno de la figura con una carrera sencilla de la prensa. La tira de desperdicio que resulta se le llama esqueleto y es el mostrado en la figura 2.9.

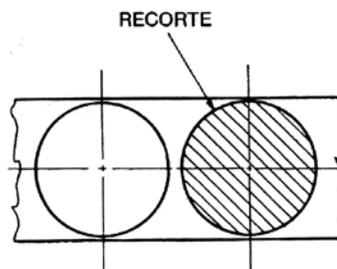


Figura 2.9 Recortado^{lxxii}.

- Ranurado: Consiste en cortes incompletos en una lámina. Su finalidad es cortar o formar cierta parte de la figura de trabajo para que el recorte de dicha figura se pueda realizar de una forma fácil, como se muestra en la figura 2.10.

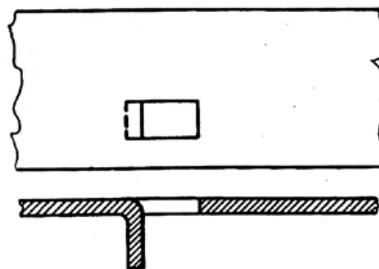


Figura 2.10 Ranurado^{lxxiii}.

^{lxxi} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

^{lxxii} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

^{lxxiii} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

Las operaciones que siguen solo se llevan a cabo en piezas separadas (previamente punzonadas o troqueladas). Las piezas pueden ser alimentadas de forma automática o manual.

- Acuñaado: Consiste en una operación de compresión para imprimir la figura determinada con relieves. Para este tipo de operación se usa un dado cerrado, como el que se muestra en la figura 2.11. Ejemplos de los objetos que se obtienen por medio del acuñado son las monedas y vajillas.

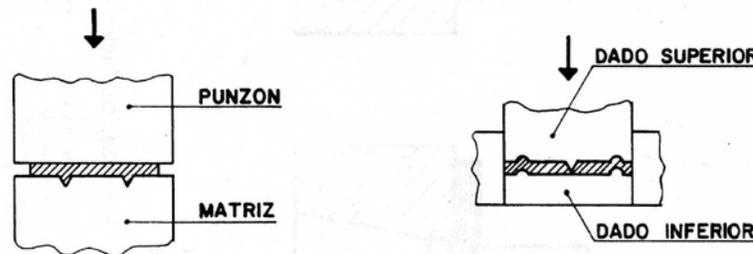


Figura 2.11 Acuñaado^{lxxiv}.

- Estirado: Consiste en delinear el recorte en varias formas con cavidades como se muestra en la figura 2.12.

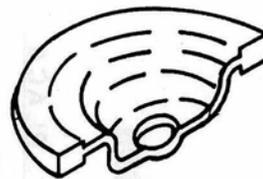


Figura 2.12 Estirado^{lxxv}.

- Desbarbado: Consiste en suprimir los excesos de metal en las aristas de una pieza. Es una operación de acabado o de ajuste de dimensiones, en la cual el material retirado es poco. Se puede llevar a cabo en un dado sencillo, como el que se muestra en la figura 2.13. Cuando se trata con piezas grandes se puede hacer uso de un dado Brehn para recortar alrededor de los cuatro lados.

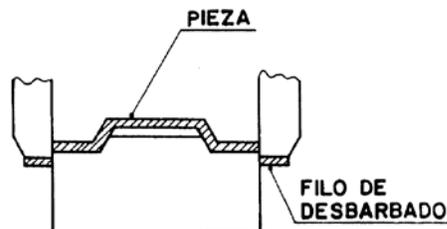


Figura 2.13 Desbarbado^{lxxvi}.

^{lxxiv} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

^{lxxv} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

^{lxxvi} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

- Grabado: Este tipo de operación es similar al acuñado pues emplea la misma serie de dimensionado y prensa una pieza para darle su forma más exacta.
- Rasurado: Consiste en alisar los filos rugosos y suprimir rebabas causadas por la operación de corte. Se remueven unas pocas milésimas de milímetro del contorno de la pieza por medio de los dados.

Una vez que conocemos los componentes básicos de un troquel, su forma de operación y el herramental que requiere; en el siguiente capítulo se abordan diversos criterios que se toman en cuenta para la manufactura de una matriz robusta con sus respectivos punzones para obtener, particularmente hablando, la tarjeta destapador.

El hecho de conocer las diversas operaciones por prensado nos brinda un amplio panorama de procesos para obtener acabados finales en las piezas a producir.

Capítulo

3

Diseño del troquel para corridas cortas.

- 3.1 Recomendaciones para el diseño de un troquel.
- 3.2 Diseño de la tira del material a troquelar.
- 3.3 Cálculo de la fuerza para el corte.
- 3.4 Diseño de la matriz.
- 3.5 Diseño de punzones.
- 3.6 Tope del material.
- 3.7 Selección de piezas normalizadas.
- 3.8 Materiales empleados.

A lo largo de este capítulo se muestra el proceso de diseño y los diferentes criterios que son empleados para el desarrollo del troquel, tomando como base las recomendaciones obtenidas de la literatura. Se diseña la tira del material a troquelar, se calcula la fuerza requerida para realizar el corte, se diseña la matriz y los punzones, se seleccionan las piezas normalizadas y finalmente se estudia el material a emplear.

3.1 Recomendaciones para el diseño de un troquel.

Las siguientes recomendaciones son algunos de los criterios tomados en cuenta para el diseño de un troquel.

- **Uso del material:** La geometría de las piezas debe estar enfocada en alcanzar el máximo aprovechamiento del material, evitando en la medida posible, su desperdicio. El óptimo acomodo de la geometría, dentro de la tira de material, requiere de una extensa comunicación del diseñador.
- **Perforaciones:** Es de suma importancia tener en cuenta que las perforaciones realizadas por el punzonado no deberán ser menores al espesor del material, ya que este proceso sólo se realiza mediante el punzonado fino, y si se llevan a cabo con un herramental convencional de troquelado se presenta una fractura constante en los punzones.
- **Espaciamiento entre piezas:** El espaciamiento entre cada una de las perforaciones debe tener un mínimo de dos veces el espesor del material; aún cuando se prefiere tres veces este espesor, con la finalidad de no ver comprometida la resistencia del troquel, la distancia mínima que se recomienda entre el borde del material y el del punzonado es de 1.5 a 2 veces el espesor del material.
- **Aristas afiladas:** Las aristas a escuadra ya sean internas o externas deben tratar de evitarse, debido a que las aristas externas tienden a romper de forma prematura los punzones o bien la matriz, originando defectos como grandes rebabas o bordes ásperos. Así mismo las aristas interiores a escuadra en los troqueles son concentradoras de esfuerzos que pueden provocar la falla durante el tratamiento térmico o durante la operación del troquel. Es recomendable dejar un radio mínimo de 1.5 veces el espesor del material y nunca menor de 0.8 [mm].
- **Material en tira:** Es común encontrar que las piezas troqueladas son obtenidas a partir de materia prima en forma de tiras, este tipo de arreglos se hace con la finalidad de reducir el espacio que se requiere para el área de troquelado y disminuir el desperdicio que resulta de la operación del troquel. Esta consideración es importante, ya que, resulta en un ahorro en la construcción de la matriz así como un menor desperdicio de materia prima. La única limitante en este tipo de arreglos es que únicamente es aplicable cuando la pieza puede tener dos lados paralelos y no se requiere una tolerancia muy precisa en el ancho de las piezas.

Cuando se diseña una pieza que requiera el uso de una herramienta cizalladora o cortadora con material en tira, deben evitarse recortes afilados.

En la figura 3.1 se muestra la pieza que se quiere troquelar y para la cual se desarrolla en lo siguiente el troquel.



Figura 3.1 Pieza a cortar.

3.2 Diseño de la tira del material a troquelar.

Los factores que determinan las dimensiones de la matriz y la ubicación de las aberturas en ella, son la forma y dimensiones de la pieza que se pretende cortar. Es común encontrarlas de forma irregular, y si se pretende llevar a cabo el corte del material situando la pieza, ya sea de forma longitudinal o transversal tomando como referencia el centro de la matriz, en la mayoría de los casos nos acarrea un mayor espacio para el área de corte y con esto un aumento en el desperdicio de material. Para estos casos es conveniente estudiar la ubicación y secuencia más adecuada que deberá tener cada uno de los punzones que conforman el troquel.

Para la pieza, que anteriormente citamos, se requiere únicamente una tira de material, por lo que a continuación presentamos los cálculos necesarios para el desarrollo de la misma; tomando en cuenta las restricciones que nos marcan los parámetros de diseño descritos en el tema anterior.

Ancho de la tarjeta $H = 54$ [mm]

Largo de la tarjeta $L = 86$ [mm]

Diámetro de punzón guía $D = 4.76$ [mm]

Distancia entre tarjetas $X = 2.66$ [mm]

Paso de la tira $C = L + X$

Ancho de la tira $W = H + 2D + 2B$

Datos de la pieza.

$$e = 1.24 \text{ [mm]}$$

$$B = 1.5645 * e = 1.5645 * 1.24 = 1.94 \text{ [mm]}$$

$$\text{Distancia mínima entre bordes de corte } B = 1.94 \text{ [mm]}$$

$$C = L + X = 86 + 2.66 = 88.66 \text{ [mm]}$$

$$W = H + 2D + 2B = 54 + 2(4.76) + 2(1.94) = 67.4 \text{ [mm]}$$

En la figura 3.2 se muestra la tira de material y la ubicación que tienen en ella las piezas troqueladas.

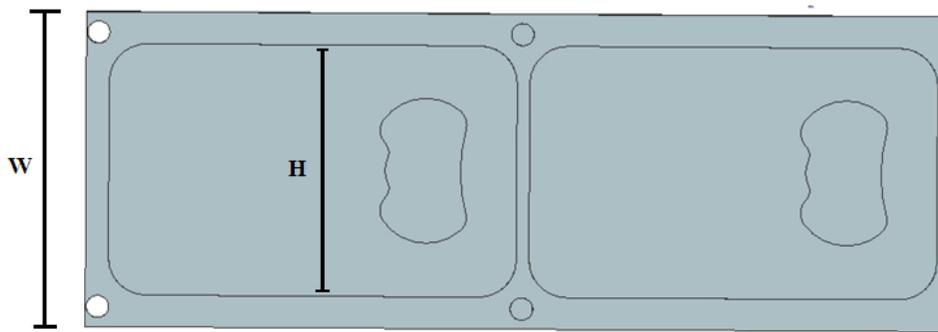


Figura 3.2 Tira de material.

3.3 Cálculo de la fuerza para el corte.

Para poder llevar a cabo el corte del material es de suma importancia tener presente la potencia mínima que debe tener la prensa que se va a utilizar, para esto se requiere calcular el tonelaje requerido para el corte de la pieza.

Este tonelaje es posible calcularlo con la siguiente fórmula:

$$T = e * P * r_R$$

En donde:

e = es espesor del material en mm

P = es el perímetro de corte.

r_R = es el coeficiente de resistencia al corte en $[\text{Kgf}/\text{mm}^2]$

Para el material que deseamos troquelar se presentan las siguientes propiedades:

Datos del material a troquelar.

Acero SAE 1018

Dureza 126 HB (71 HRb)

Esfuerzo de fluencia 370 [MPa]

Modulo de elasticidad 205 [GPa]

Ultimo esfuerzo a la cizalladura. $\sigma_R = 41-45$ [Kg/ mm²]

Calibre 18 $e = 1.24$ [mm]

Operaciones.

Perímetro de corte para la tarjeta

$$P = 86 * 2 \text{ [mm]} + 54 * 2 \text{ [mm]} = 280 \text{ [mm]}$$

Perímetro de corte para el destapador.

$$P = 40 \text{ [mm]} \text{ (dato extraído del dibujo CAD)}$$

$$\text{Tonelaje necesario para el corte de la tarjeta} = 280 \text{ [mm]} * 1.24 \text{ [mm]} * 44 \text{ [Kg/ mm}^2\text{]} = 15276.8 \text{ [Kg]} = 15.276 \text{ [Tons]}$$

$$\text{Tonelaje necesario para el punzonado del destapador} = 40 \text{ [mm]} * 1.24 \text{ [mm]} * 44 \text{ [Kg/ mm}^2\text{]} = 2182 \text{ [Kg]} = 2.182 \text{ [Tons]}$$

$$\text{Total} = 17459.2 \text{ [Kg]} = 17.459 \text{ [Tons]}$$

3.4 Diseño de la matriz.

Existen diferentes criterios para la selección del espesor del material con el que se debe construir la matriz de corte, algunos consideran como parámetro principal la longitud total de corte, mientras que otros se enfocan en el espesor del material a cortar.

Para la construcción de la matriz se considera que el criterio que contempla al espesor del material es el apropiado para el correcto funcionamiento del troquel. Por lo que, en base a la tabla 7, el espesor queda fijo en 27.5 [mm].

A Espesor del material a troquelar [mm].	B Espesor de la matriz [mm].	C Distancia mínima del barreno al borde exterior de la matriz [mm].
0 a 1.58	23.812	26.771
1.58 a 3.175	27.575	32.13
3.175 a 4.762	34.925	39.268
4.762 a 6.35	41.275	46.431
Mayor a 6.35	47.625	53.568

Tabla número 7. Distancias mínimas entre bordes de acuerdo al espesor del material a troquelar^{lxxvii}.

Es necesario contemplar las distancias mínimas entre el área de punzonado y el borde exterior de la matriz, por lo que, el valor de “c”, mostrado en la figura 3.3, debe tener el valor de 1.25 veces el espesor de la matriz.

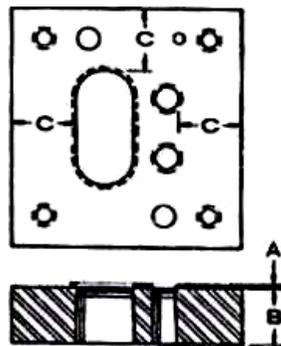


Figura 3.3 Distancia mínima del borde de corte al de la matriz^{lxxviii}.

^{lxxvii} Paquin J. R: Die design fundamentals New York: Industrial Press Inc., 1987

^{lxxviii} Paquin J. R: Die design fundamentals New York: Industrial Press Inc., 1987

Vida útil de la matriz. Debido a que en la matriz se presenta un continuo desgaste por los impactos del material, es necesario tener en cuenta la vida útil que tendrá la pieza, en base a esto, se determina el espesor que presenta la matriz hasta antes de iniciar el ángulo de salida de las piezas, este claro servirá en un futuro para hacer los afilados o rectificaciones que la matriz necesite en su vida útil; comúnmente esta distancia es de dos a tres veces el espesor del material cortado. Para el caso de la matriz propuesta este valor queda fijo en 3 [mm].

Ángulo de salida de la matriz. El ángulo de salida de la matriz, que se muestra en la figura 3.4, está basado en el tipo de material a cortar así como el espesor que presenta, por lo que el valor queda definido en $2[\circ]$.

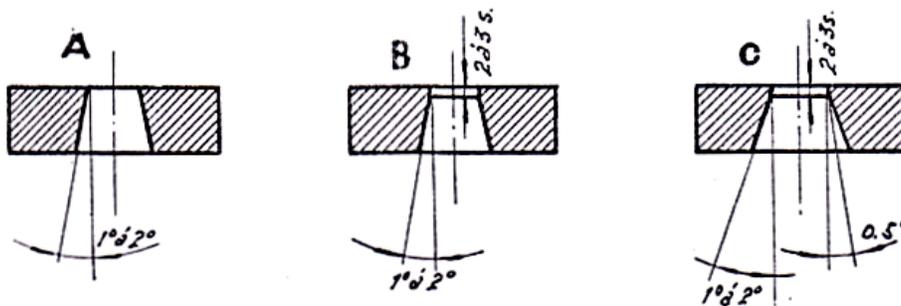


Figura 3.4 Ángulo de salida en una matriz^{lxxix}.

Ángulo de salida figura 3.4 A	Ángulo de salida figura 3.4 B	Ángulo de salida figura 3.4 C
A partir de la misma arista de corte. Se hace así frecuentemente en matrices destinadas al corte de metales blandos, como, por ejemplo, latón aluminio, alpaca, plomo etc.	Dejando una parte recta a partir de la arista de corte, con una profundidad de dos o tres veces el espesor del material cortado. Este sistema se aplica en matrices destinadas a cortar metales duros, por ejemplo, hierro, acero, etc. con perfiles muy exactos.	A partir de la arista de corte de la matriz, el contorno, en un espesor de dos a tres veces el espesor del material, es ligeramente cónico y, a partir del espesor indicado, la conicidad aumenta rápidamente en un número mayor de grados, se aplica a metales muy duros que no requieren precisión en su contorno.

Tabla número 8. Tipo de materiales usados en el ángulo de salida en una matriz^{lxxx}.

^{lxxix} López Navarro Tomás *Troquelado y estampación*. Barcelona: Gustavo Gili, S. A., 1964

^{lxxx} López Navarro Tomás *Troquelado y estampación*. Barcelona: Gustavo Gili, S. A., 1964

Cálculo del centro de presión.

Debido a que el funcionamiento de las herramientas de corte, en este caso el troquel, está basado en la transmisión de grandes fuerzas de la prensa a la herramienta, es necesario hacer el cálculo del centro de presión que tendrá la herramienta ya que así las fuerzas que transmite la prensa no generaran momentos de torsión. Los momentos de torsión acarrearán un gran desgaste en la guía de los punzones y los postes guía.

Por esta razón la espiga de sujeción empleada debe de estar ubicada en lo que se conoce como centro de presión. Su ubicación la encontramos mediante los centros de gravedad de los perímetros de los punzones.

$$X = \frac{P_1 X_1 + P_2 X_2}{\Sigma P} \dots\dots\dots \text{Ecuación (13)}$$

$$Y = \frac{P_1 Y_1 + P_2 Y_2}{\Sigma P} \dots\dots\dots \text{Ecuación (14)}$$

En donde

P₁= Perímetro de corte del punzón 1.

P₂= Perímetro de corte del punzón 2.

X= distancia del centro de gravedad al eje coordenado.

Y= distancia del centro de gravedad al eje coordenado.

Operaciones:

$$X = \frac{(266.26*77.3)+(86.83*198.20)}{266.26+86.83} = 106.74 [mm]$$

$$Y = \frac{(266.26*67.3)+(86.83*67.3)}{266.26+86.83} = 67.25 [mm]$$

Las coordenadas muestran el centro de presión de la matriz y la ubicación que tendrá la espiga de sujeción; usando esta ubicación aseguramos una distribución uniforme de las fuerzas sobre la matriz y disminuyendo el desgaste del resto de las piezas del herramental.

3.5 Diseño de punzones.

Para diseñar los punzones que se necesitan en este proyecto se requiere del entendimiento (de forma general) de cómo es que trabaja un troquel.

En la figura 3.5 se observa al punzón descendiendo y ejerciendo sobre la chapa (material a trabajar) una presión continua; a este esfuerzo se le opone la reacción del material hasta el momento en que el esfuerzo por compresión, originado por el punzón, supera a la resistencia del material dando como resultado una separación del material, el cual, se obtiene por el lado opuesto al ataque del punzón, como se muestra en la figura 3.6

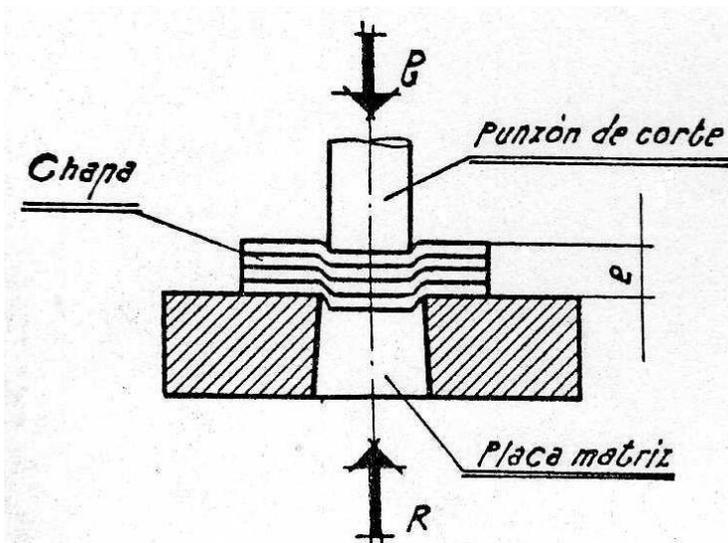


Figura 3.5 en carrera de descenso^{lxxvi}.

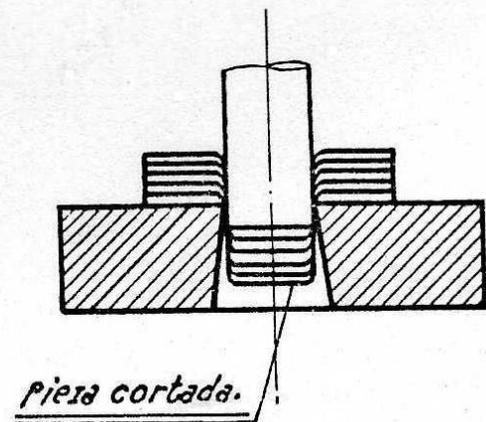


Figura 3.6 Proceso de corte^{lxxvii}.

Antes de cortar el material, este sufre una deformación elástica, ya que las fibras tienden a estirarse progresivamente, conforme el punzón va aumentando su acción; sin embargo al rebasar el límite de elasticidad las fibras son seccionadas y se produce el desprendimiento. Cuando la pieza está libre experimenta una rápida recuperación elástica y queda atrapada muy enérgicamente por sus bordes al agujero de la matriz, donde se encuentra encerrada hasta que el corte de una segunda pieza la obliga a salir.

Los punzones tienen la figura total de la pieza que se desea obtener.

Deben trabajar completamente perpendiculares contra la matriz, para lo cual en la placa porta punzones tienen una holgura muy pequeña que les permite adaptarse bien a la guía confiando a ella su perpendicularidad, y gracias a ello, el troquel trabaja en buenas condiciones. Si, por el contrario, se encuentran sujetos rígidamente a la placa porta punzones, una flexión lateral por falta de alineación provocaría su rotura. Si la placa guía de los punzones tiene una holgura errónea y estos no se adaptan

^{lxxvi} López Navarro Tomás Troquelado y estampación. Barcelona: Gustavo Gili, S. A., 1964

^{lxxvii} López Navarro Tomás Troquelado y estampación. Barcelona: Gustavo Gili, S. A., 1964

bien a la figura, son dominados al golpear el material desviándose de su perpendicularidad y poniendo en peligro a la matriz y a las aristas del punzón ya que pueden descantonarse. Como consecuencia de la pérdida de filo en los punzones, las piezas pueden ser defectuosas, con rebabas y esto, a su vez, reduce la vida útil de la matriz que tiene que ser rectificadas constantemente.

El diseño del punzón debe estar basado en la configuración de la pieza deseada evitando las partes débiles que lo pongan en peligro y robustecerlo con partes llenas. Los punzones generalmente se construyen con acero de elevada resistencia al desgaste e indeformables al temple. Son tratados térmicamente.

Un aspecto que se debe tomar en cuenta para el diseño del punzón es la holgura entre la matriz y el punzón. La precisión de la herramienta depende de la exactitud con que se construye esta. Para geometrías sencillas se pueden utilizar micrómetros, comparadores y catetómetros (microscopios medidores) por mencionar algunos; mientras que para geometrías más complejas existen dispositivos como proyectores ópticos de rayos paralelos.

Con el apoyo de estos dispositivos se puede regular la holgura que debe existir entre la matriz y el punzón hasta el orden de centésimas, para el trabajo de precisión.

Una holgura adecuada proporciona una reducción de la presión requerida para el corte y afecta notablemente la uniformidad de las fracturas en el material.

En el punto crítico de las holguras se presenta el máximo rendimiento, dando piezas de bordes limpios con un esfuerzo razonable; fuera de este punto crítico, la presión requerida aumenta notablemente y el corte es defectuoso.

Para el acero dúctil se recomienda un valor de juego entre el punzón y la matriz de $0.1x e$ (*espesor*) ya que con este valor se obtendrían cortes limpios y precisos.

$$\text{Holgura} = 0.1 \times 1.24 \text{ [mm]} = 0.124 \text{ [mm]}$$

Como el contorno exterior de la pieza debe ser exacto, la holgura es reducida del punzón, dejando la matriz con dimensiones exactas.

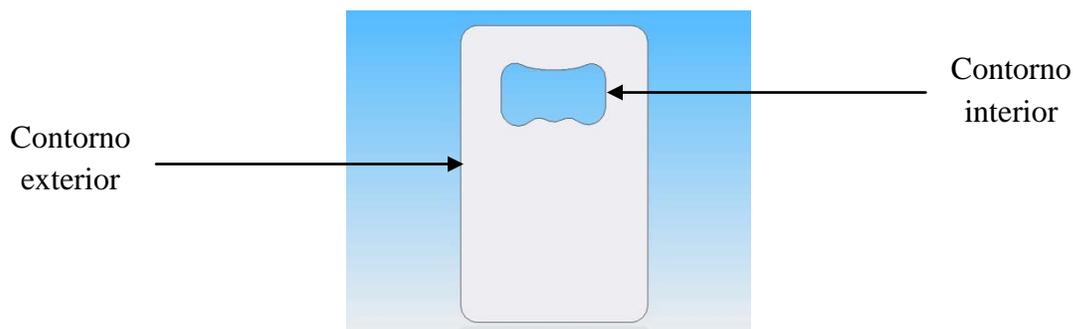


Figura 3.7 Primer boceto de la tarjeta destapador.

La holgura que se sugiere entre el punzón y la matriz se debe a que se puede reducir la presión requerida para el corte con esta medida. La determinación de dicha holgura depende de factores como el espesor, la clase y calidad del material.

La investigación para el diseño del troquel nos presenta dos sugerencias para llevar a cabo la producción del destapador y son las siguientes:

1. El corte del material, que forma la tarjeta destapador (contorno exterior de la figura 3.7) debe ser exacto. La matriz se construye de modo que las dimensiones definitivas correspondan exactamente a las de las piezas finales.
2. El contorno de la geometría del destapador (contorno interior de la figura 3.7) debe ser exacto, es por esto que el punzón debe tener exactamente las dimensiones de la pieza final.

El punzón inicia la compresión e inmediatamente después se presenta el corte.

Sí el descenso del punzón cesa antes de expulsar de forma definitiva a la pieza, ésta puede quedar adherida al contorno del material seccionado formando una estructura única.

La pieza que nos retiene la placa porta punzones a los mismos punzones se conoce como sufridera. Esta va sujeta a la espiga y es quien recibe la fuerza de compresión durante el punzonado. La sufridera presenta una deformación, por compresión de los punzones sobre ésta, debido a que los demás esfuerzos quedan eliminados al estar apoyada sobre la base del carro de la prensa, formando una estructura rígida.

La placa porta punzones es una pieza fundamental para la precisión del herramental. Los punzones, tanto de la tarjeta como del destapador, son distribuidos estratégicamente sobre la superficie de dicha placa. Es indispensable que coincida con gran exactitud con la guía de punzones y la placa matriz. La manera de fijar los punzones depende de diversos factores que son los siguientes:

- Dimensiones del punzón.
- Forma del punzón.
- Tipo de matriz.
- Modo de elaboración.
- Espesor de la placa y clase del material.
- Cantidad de piezas a cortar.

Analizando concretamente los 3 principales sistemas de fijación de los punzones que se muestran en la figura 3.8 se hace una selección y el inciso C muestra el sistema de fijación más adecuado a nuestras necesidades.

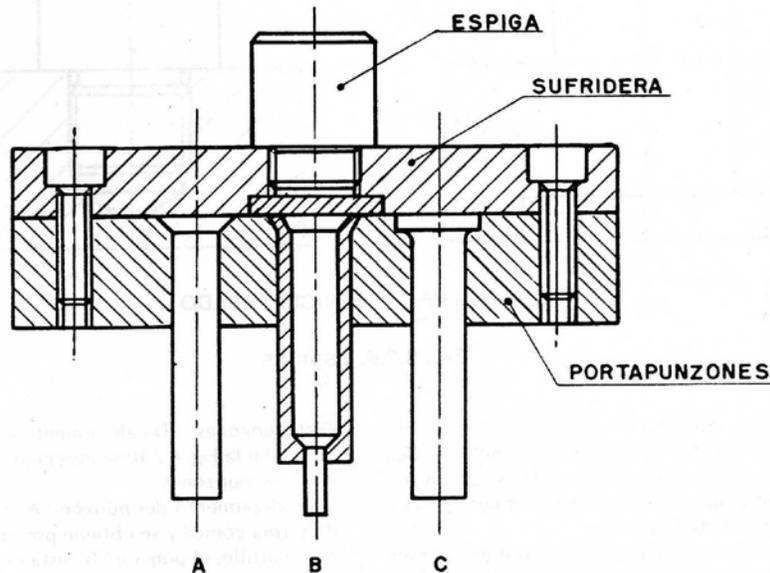


Figura 3.8 Sistemas de fijación de punzones^{lxxxiii}.

Un encastre de forma cilíndrica nos proporciona una verticalidad adecuada para nuestro herramental y con una sufridera que no permite el movimiento de estas piezas se asegura su funcionamiento. En caso de que se requiera cambiar algún punzón solo basta con retirar la sufridera para extraer la pieza averiada.

Longitud máxima del punzón.

Esta longitud es importante para evitar un impacto directo de los punzones en contra del porta troquel. Se logra sumando las longitudes verticales de la sufridera, porta punzones, reglas guía y matriz; restando, a su vez, el grosor del material trabajado.

$$L_{mp} = 10 \text{ [mm]encastre portapunzones} + 12.7 \text{ [mm]placa guía} + 32 \text{ [mm]matriz}$$

$$L_{mp} = 54.7 \text{ [mm]}$$

Este valor contempla una carrera a través de toda la matriz llegando incluso a la contra placa. Debido a que en el caso del funcionamiento de este troquel no es necesario que la carrera del punzón llegue a este punto la longitud del punzón la definimos de la siguiente forma.

$$L_p = 10 \text{ [mm]encastre portapunzones} + 12.7 \text{ [mm]placa guía} + 3 \text{ [mm]vida util de matriz}$$

$$L_p = 25.7 \text{ [mm]}$$

^{lxxxiii} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

3.6 Tope del material.

Es necesario que el diseño del tope del material sea acorde a las necesidades de desgaste y demanda del troquel, evitando un uso innecesario de espacio y recursos de material.

Se propone el uso de un tope por perno móvil, el cual, es de fácil implementación ya que sus componentes se pueden encontrar de forma estandarizada en catálogos; otro de los factores que se considera es su bajo costo. Este tipo de tope, mostrado en la figura 3.9, es recomendado para matrices de geometrías sencillas y velocidades de producción bajas.

El arreglo del tope está constituido por: dos punzones estandarizados, dos pernos tope y dos resortes.

Los punzones tendrán la función de punzonar la tira de material a la entrada de la matriz, y posteriormente los pernos tope al ser activados por los resortes entraran en la cavidad, anteriormente hecha, frenando el desplazamiento de la tira de material; con lo cual se garantiza la correcta ubicación para su punzonado.

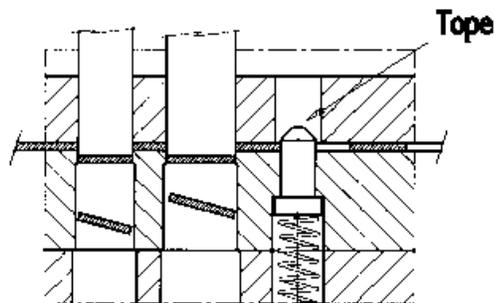


Figura 3.9 Tope de perno móvil^{lxxxiv}.

^{lxxxiv} Paquin J. R.: *Die design fundamentals* New York: Industrial Press Inc., 1987

3.7 Selección de piezas normalizadas.

Espiga. Es el enlace entre la prensa y la herramienta. En la figura 3.10 se muestran algunos de los tipos que existen. Su forma se elige cilíndrica con una mecha roscada adaptada a la matriz. La superficie del cilindro presenta una faceta tallada que asegura su sólida fijación a la prensa mostrada en la figura 3.10b.

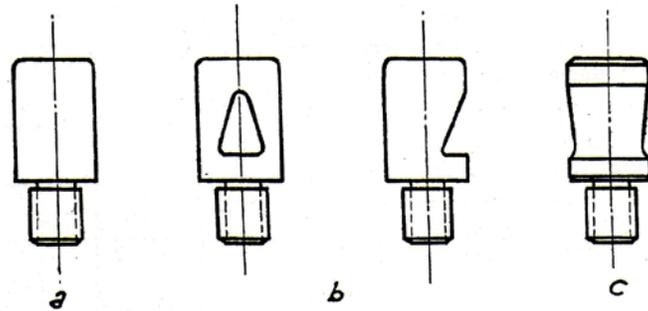
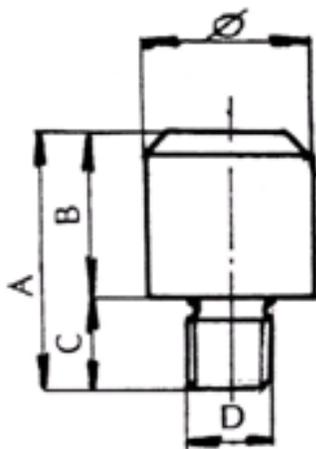


Figura 3.10 Principales formas de espigas^{lxxxv}.

Con base en la figura 3.11 se obtienen las dimensiones para la espiga pues varía en función de la potencia en toneladas desarrollada por la prensa.



ESPIGAS NORMALIZADAS*							
Datos	Capacidad de la prensa en toneladas métricas						
	4	8	10	20	30	40	60
Φ	20	30	30	35	40	40	45
D	13	14	14	16	19	19	22
A	10	57	57	67	75	75	95
B	40	45	45	50	60	60	70
C	30	12	12	17	15	15	15
*Todas las dimensiones en mm.							

Figura 3.11 Espigas normalizadas^{lxxxvi}.

^{lxxxv} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

^{lxxxvi} Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: Ingeniería de Manufactura México: C.E.C.S.A., 1984.

Porta troqueles, postes guía y casquillos.

Los porta troqueles, llamados también armazones o bases de columnas, es el conjunto mecánico que está formado por placas de acero rectificadas y guiadas por columnas. Son empleadas como soporte y guía de las partes móviles del troquel, a su vez también absorben y corrigen posibles errores de alineación

El porta troquel, mostrado en la figura 3.12a), está constituido por dos placas que sirven como base para la parte fija y la parte móvil del troquel. La placa inferior consta de dos orificios donde se encuentran alojados los postes guías. La placa superior lleva insertados unos casquillos de acero que ajustan en cada una de las guías.

La selección del porta troquel se da por la definición del área útil. El área útil es el espacio en el porta troquel que será utilizado para el alojamiento de la matriz, calculada a partir de las dimensiones del producto que será troquelado, sus consideraciones técnicas y área de expulsión.

En base a las dimensiones finales de la matriz (242.1 [mm] X 122.6 [mm]) se ha seleccionado del catalogo del proveedor MDL de México S.A de C.V el porta troqueles con número de catálogo D70.286.230 cuya área de trabajo es de 286 [mm] X 230 [mm] y se adapta a nuestras necesidades de trabajo.

De igual forma se selecciona del catalogo los postes guía y los casquillos, mostrados en la figura 3.12b), estos son: P10.032.160 (postes) y B11.032.050 (casquillos) que se adaptan a el recorrido de los punzones.

La decisión de trabajar con un porta troquel normalizado se tomo debido a que en su fabricación se garantiza la calidad de materiales y su correcta fabricación.

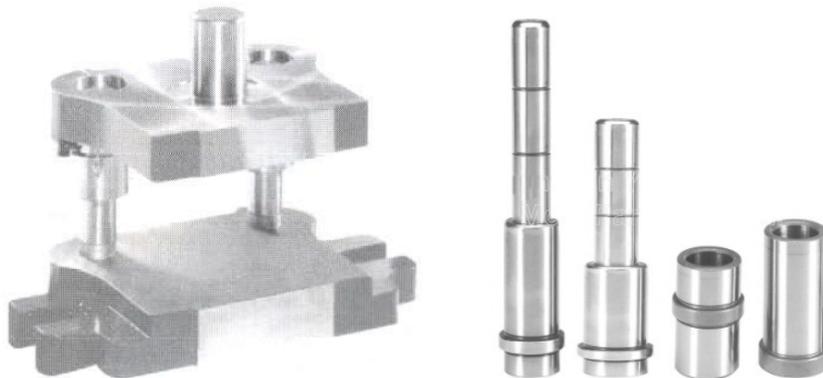


Figura 3.12 a) Porta troquel de dos postes^{lxxxvii}. b) postes guía y casquillos^{lxxxviii}.

^{lxxxvii} Catálogo CPACSA

^{lxxxviii} Catálogo CPACSA

Las dimensiones finales que tiene éste porta troquel se muestran en el plano correspondiente (revisar en anexos).

Selección y ubicación de los elementos de sujeción.

La selección y ubicación de estas piezas son de suma importancia, debido a que son los eslabones más débiles del herramental, si estos no son seleccionados de la forma correcta puede ser la causa de la falla del herramental completo.

Para la sujeción que tendrán las placas entre si se ha definido un arreglo como el que se muestra en la figura 3.13 a) debido a que las dimensiones que presenta la matriz son tamaño medio y las presiones no representan un peligro de fractura para la matriz.

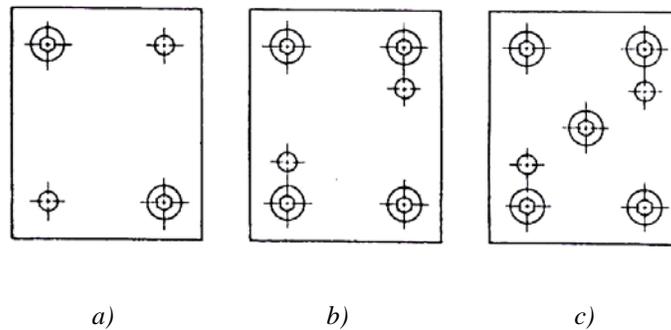
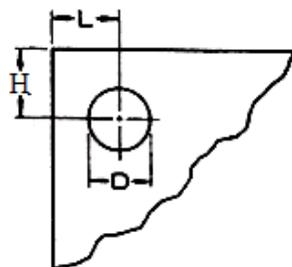


Figura 3.13 Arreglos para la sujeción de placas de troquel^{lxxxix}.

La ubicación que tiene cada uno de los tornillos y postes en cada una de las placas que componen el troquel es definida en base al criterio que se muestra en la figura 3.14 donde se muestra la distancia mínima que debe de existir entre la ubicación del tornillo y las orillas del troquel. Se define esta ubicación para evitar una posible fractura en alguna de las aristas del troquel.



HERRAMIENTAS DE ACERO.
$L = 1\frac{1}{2}D$
$H = 1\frac{1}{8}D$

Figura 3.14 Distancia mínima entre los barrenos y las aristas de la placa^{xc}.

La tornillería empleada para la sujeción de los elementos que conforman el troquel cumplen con la norma DIN-6912 de grado 8 (la norma de esta pieza se encuentra en la sección de anexos).

^{lxxxix} Paquin J. R: Die design fundamentals New York: Industrial Press Inc., 1987

^{xc} Paquin J. R: Die design fundamentals New York: Industrial Press Inc., 1987

3.8 Materiales empleados.

La mayoría de los avances tecnológicos logrados en la sociedad, se han apoyado en el desarrollo de materiales de ingeniería y proceso de fabricación. Una adecuada selección de materiales y procesos nos garantiza el correcto funcionamiento de los componentes.

En el caso de la selección de materiales, de los cuales está diseñado el troquel, hubo la necesidad de hacer la búsqueda del acero apropiado para su diseño, cuyas propiedades mecánicas fueran las ideales para el desarrollo del trabajo y cuyo costo sea menor.

En esta sección sólo se describe el criterio de selección de materiales a emplear en la matriz y punzones, debido principalmente a que algunos de los componentes de los cuales está constituido el troquel ya se encuentran en el mercado de forma normalizada.

En la tabla 8 se muestra una comparación entre el acero AISI D2 normalmente empleado en la fabricación de matrices y punzones; y el acero AISI 4140 que es empleado.

Debido a que la vida útil del troquel se ha definido para corridas cortas el acero AISI 4140 con un tratamiento térmico de temple y revenido, resulta ser el material apropiado para el desarrollo de matriz y punzones. La selección de este material se debe a que la producción es corta, no es necesario llegar al estándar que dictan materiales ya tradicionalmente empleados para este trabajo.

El acero AISI 4140 es comúnmente empleado para la fabricación de herramientas de trabajo en frío, una de las grandes ventajas que presenta es su templabilidad ya que el temple que se realiza en este material es profundo y le permite alcanzar durezas similares al acero AISI D2 sin tratamiento térmico, pasando al aspecto económico el costo que tiene este material es de tan solo el 33% del costo que tiene el acero AISI D2 por kilogramo.

La ficha técnica de los materiales empleados se puede observar en los anexos de la tesis.

Acero	Dureza. [HB]	Esfuerzo ultimo [MPa].	Esfuerzo de fluencia [MPa].	Modulo de elasticidad. [Gpa].	Precio por kilogramo. (en dólares)
SAE 1018	126	440	370	205	
SAE 1045	179	585	515	200	
AISI 4140	262	883	710	205	2.42
AISI D2	240	1489	1385	207	7.17

Tabla número 9. Materiales^{xcii}.

En la tabla 9 se hace un resumen de los materiales empleados para la construcción del troquel.

PIEZA	MATERIAL
Matriz	ACERO AISI 4140
Punzones	ACERO AISI 4140
Porta punzones	ACERO SAE 1045
Guía de punzones	ACERO SAE 1045
Sufridera	ACERO SAE 1045
Contra placa	ACERO SAE 1045

Tabla número 10. Materiales usados en el diseño del troquel.

Como se mencionó al inicio de este capítulo existen diferentes criterios y consideraciones para el diseño de un troquel es por eso que solo nos limitamos a mencionar los que se emplearon para la concepción de este. En los siguientes capítulos se retoman estos criterios y se fijan las dimensiones finales que presentara cada uno de los componentes de los cuales está constituido el troquel.

^{xcii} WWW.MATWEB.COM

Capítulo

4

DISEÑO DE LOS ELEMENTOS QUE CONFORMAN UN TROQUEL EN NX7 (SOFTWARE DE MODELADO EN 3D).

- 4.1 Definición de CAD CAM.
- 4.2 Tira de material.
- 4.3 Matriz.
- 4.4 Punzones.
- 4.5 Placa porta punzones.
- 4.6 Guía de punzones.
- 4.7 Simulación de maquinado en NX7.
- 4.8 Parámetros de velocidad, avance y profundidad de corte.

Como se abordó en el capítulo anterior existen numerosas teorías, criterios y recomendaciones para el diseño de los elementos que conforman un troquel; en el presente capítulo se retoman las teorías expuestas y se canalizan al diseño del herramental para el troquel de geometrías simples y corridas cortas.

El diseño del troquel se lleva a cabo con ayuda del programa de diseño NX7 (Unigraphics); para lograr dicho objetivo se emplean los módulos de: dibujo en 3D, animación y manufactura.

Cabe mencionar que en el ensamble del troquel se incluye la totalidad de los elementos que lo conforman, mientras que para la sección de manufactura se limita a las partes del troquel que no se encuentran en el mercado de forma normalizada.

4.1 Definición de CAD CAM.

Hoy en día es común el uso de computadoras para el diseño, elaboración y fabricación de nuevos productos. Por medio de estas, es posible la concepción de prototipos y la producción de las piezas a fabricar con un desarrollo de menor tiempo y con una mayor precisión. En seguida se definen los principales módulos de los cuales están constituidos los programas de diseño.

El primero de ellos es el CAD (computer-aided design). Constan de módulos de dibujo en 2D o modeladores en 3D, donde el usuario puede dibujar y modelar características del producto final como pueden ser: dimensiones, materiales, colores, texturas, etc.

La gran mayoría de las paqueterías que están enfocadas al diseño; hoy en día, incluyen módulos de simulación de cargas dinámicas o estáticas, con lo que es posible modelar y evaluar el correcto funcionamiento de los productos diseñados.

Por otra parte los sistemas CAM (computer-aided manufacturing) son empleados para la ayuda en todas las fases del proceso de manufactura del producto, incluyendo la planificación del proceso, la producción y el mecanizado.

Debido a que el software de CAM genera el código de control numérico para una gran cantidad de máquinas herramienta, es común su empleo en el uso de tornos, fresas, cortadoras y soldadoras CNC. Las principales ventajas que tiene el uso de esta tecnología es la disminución de los errores derivados por el operador, una mayor durabilidad en las herramientas de corte y la disminución de la energía requerida para la transformación de las materias primas.

La ventaja de un sistema completo de CAD/CAM es que nos permite la transferencia de información desde la etapa de diseño hasta la etapa de planificación para la producción, sin la necesidad de hacer capturar de nuevo las acotaciones geométricas de la pieza ya que la información que es generada al dibujar la pieza durante el CAD es procesada por el CAM para poder operar las máquinas herramienta de producción y establecer los parámetros de maquinado.

Para el desarrollo de este proyecto se emplea el programa NX7. Mediante el cual generamos el total de piezas que conforman el troquel, así como también, los planos, el ensamble, animación, maquinado de las partes que tienen una mayor demanda mecánica y con ello un mayor desgaste; garantizando así su correcto funcionamiento.

A lo largo de este capítulo se muestra un resumen de las actividades de diseño que se tienen para la realización del troquel; prestando una mayor atención a las dimensiones que, en base a las teorías de diseño anteriormente descritas, toma cada una de las piezas que lo conforman.

4.2 Tira de material.

Es de suma importancia, para el desarrollo del troquel, que la tira de material este diseñada de tal forma que la ubicación de las piezas sobre ésta, sea la adecuada, para evitar el desperdicio de material, ya que de ser mayor el área de lo necesario, piezas como por ejemplo la matriz y placa porta punzones tendrán una mayor dimensión.

La tira de material que se diseña para este proyecto contempla tres pasos para obtener el destapador terminado; posterior a esto por cada golpe de la prensa se obtendrá uno más.

En la figura 4.1 se muestra la tira de material así como la ubicación que tendrá en ella los procesos de punzonado y troquelado.

Para su diseño contemplamos los parámetros vistos en el capítulo anterior, enseguida se presenta un resumen de las dimensiones más importantes.

Dimensiones finales de tira de material:

Espesor $e= 1.24$ [mm]

Ancho $h= 67.6$ [mm]

Longitud del paso $l= 182.0$ [mm]

Distancia mínima entre bordes de corte: La distancia mínima en la matriz se establece de 2.66 [mm]

Distancia mínima entre borde de la tira de material y borde de corte $c= 6.83$ [mm]

Material: Acero SAE 1018.

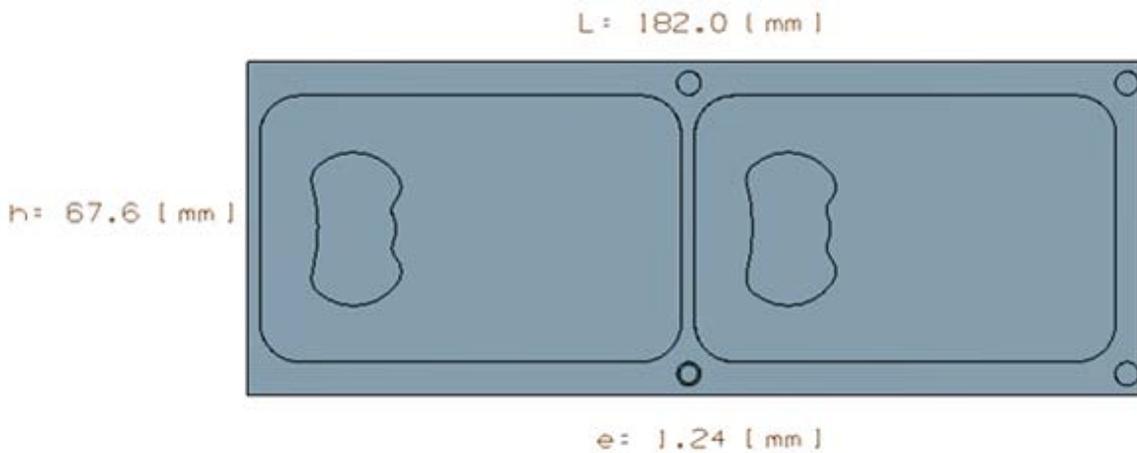


Figura 4.1 Tira de material

El plano a detalle de la pieza cortada podrá consultarse en la ruta de trabajo.

A continuación se muestran las etapas de corte que tendrá la tira de material hasta el momento de obtener el producto terminado.

Etapas de corte para la tira de material.

Etapas 1.

La tira de material entra al troquel para ser punzonada, como se muestra en la figura 4.2, las perforaciones que se realizan serán usadas para que, posteriormente, junto con el tope del material, fijen la distancia entre cada paso del proceso de troquelado.

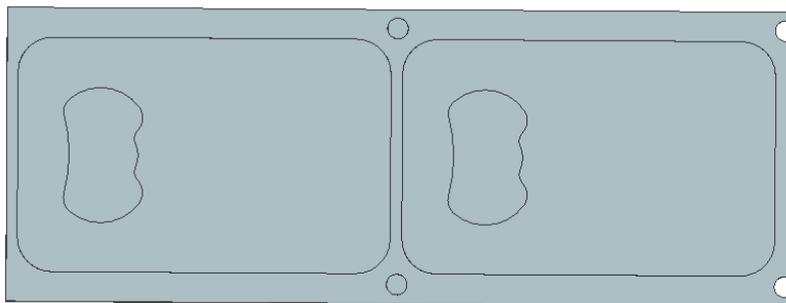


Figura 4.2 Etapa 1.

Etapa 2.

La tira de material se desplaza hasta encontrar el tope con un recorrido de 89.4 [mm] que fija el paso de la misma, una vez en este lugar es punzonada por segunda vez por los punzones guía y también por el punzón que genera la cavidad del destapador, como se muestra en la figura 4.3.

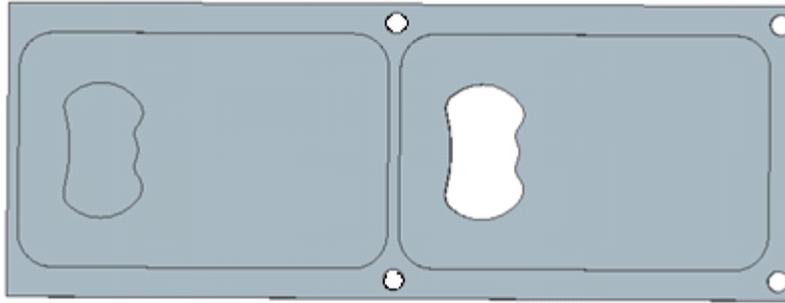


Figura 4.3 Etapa 2.

Etapa 3.

Se repite el punzonado para el tope, el destapador con esta etapa se obtiene el primer destapador terminado tal y como se muestra en la figura 4.4 a).

En la figura 4.4 b) se muestra la primera tarjeta destapador manufacturada por el troquel.

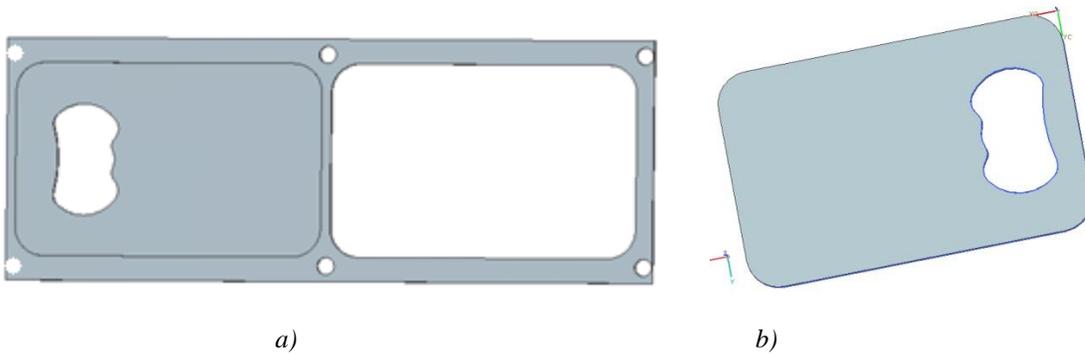


Figura 4.4 a) Etapa 3. Se perfora la placa para alojar tope del material, se perfora el primer destapador y la cavidad para el segundo b) Tarjeta destapador.

4.3 Matriz.

Para garantizar un buen acabado de las piezas finales, es necesario un buen diseño tanto de la matriz, mostrada en la figura 4.5 a), como de los punzones; es por ello que para la matriz son retomados algunos parámetros y en base a ellos, se definen las dimensiones que la acotan.

En seguida se definen las dimensiones de la placa que conforma la matriz; de los valores aquí mostrados el único que se extrajo de tablas es el espesor, ya que el de la longitud y el ancho es resultado de la ubicación de las piezas a cortar en la placa.

Dimensiones de matriz

$$e= 32 \text{ [mm]}$$

$$h= 122.6 \text{ [mm]}$$

$$l= 242.1 \text{ [mm]}$$

Para la ubicación de las piezas en la matriz, es necesario contemplar la distancia mínima que hay entre los bordes de corte y de estos con la orilla de la placa.

Distancia entre bordes de corte.

Por la naturaleza de la geometría deseada, la menor distancia que existe entre los bordes de corte es de 16.5 [mm], lo cual, es mayor a la recomendada de 2.5 [mm].

La distancia mínima entre borde de la matriz y borde de corte es $c= 28.41$ [mm] para el punzonado que hacen los punzones guía y de 33.31 [mm] para el troquelado de la tarjeta.

Angulo de salida del material: 2 [°], mostrado en la figura 4.5 b) (el plano a detalle se puede ver en las rutas de trabajo).

La vida útil de la matriz queda definida en 3[mm]

Material: Acero AISI 4140

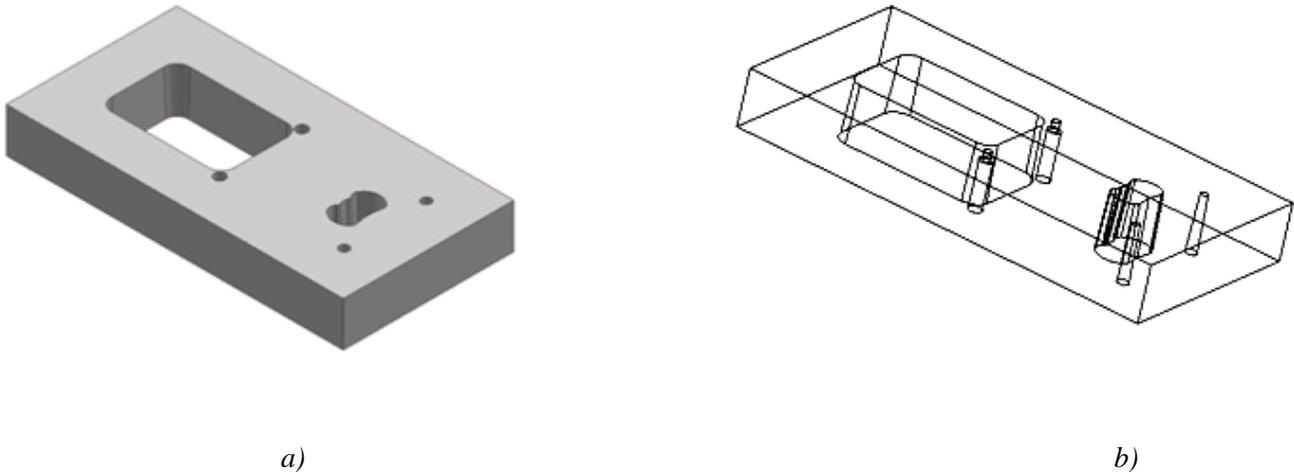


Figura 4.5 a) Matriz de corte b) Vista del ángulo de salida de la matriz

4.4 Punzones.

Una vez que quedan fijos los valores que tendrán la matriz y la ubicación de las cavidades de corte en ella, se lleva a cabo el diseño de los punzones. Para su desarrollo es necesario tener en cuenta factores como la holgura con la matriz, de qué forma se garantiza su verticalidad al momento del corte, la longitud del encastre y la longitud total del punzón.

Los factores, que anteriormente se mencionan, se definen en el capítulo 3. A continuación se citan las magnitudes:

Holgura entre punzón y matriz: en base a que el material a cortar es un acero SAE 1018, considerado como maleable, el juego que existe entre el punzón y la matriz queda establecido en 10% del espesor del material, de tal forma que entre la distancia que existe del borde de la matriz y las caras del punzón es de 0.124[mm].

La verticalidad de los punzones se garantiza con dos encastres para cada uno de estos, prisioneros a 10[mm] en la placa porta punzones, así como también se emplea una placa guía de punzones de 12.7 [mm] de espesor. En la figura 4.6 a) y b) se muestran los punzones con las partes que serán prisioneras en la placa porta punzones y la placa porta punzones se muestra en la figura 4.7.

La longitud que tienen los punzones está definida por la distancia que tendrá la carrera del punzón; esta magnitud deriva de la suma del espesor de la guía de punzones con respecto a la longitud del encastre y la vida útil de la matriz, quedando definida en 25.7 [mm].

Material: Acero AISI 4140

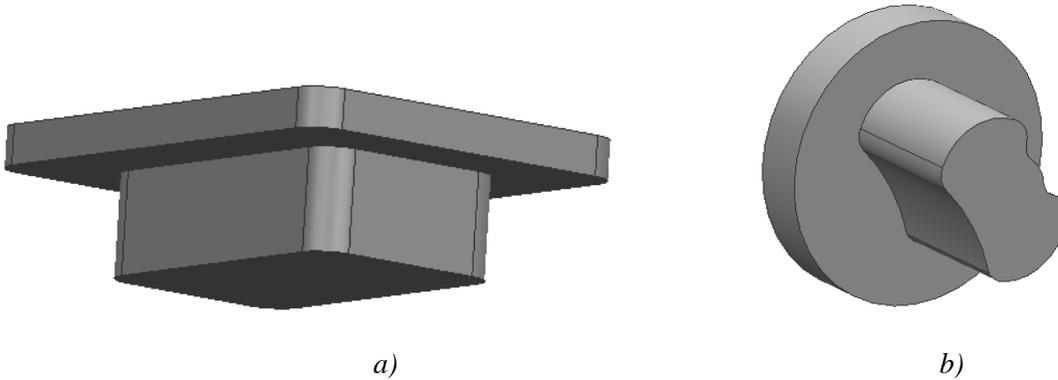


Figura 4.6 a) Punzón empleado para el troquelado de la tarjeta. B) Punzón empleado para el punzonado del destapador.

4.5 Placa porta punzones.

El diseño de la placa porta punzones, mostrada en la figura 4.7, está enfocado en dar a los punzones la sujeción y verticalidad necesaria para evitar tanto el pandeo como la posible ruptura de estos, dentro de las diferentes formas que existen para sujetar los punzones; la que más se adecua a nuestras necesidades es la de un encastre de sencillo de forma cilíndrica; debida al fácil maquinado así como también el soporte lateral que brinda a la base del punzón.

El encastre del punzón como anteriormente se menciona, es de 10 [mm], dejando el espesor de la placa fijo en 20 [mm], es necesario resaltar que los punzones entran en esta placa a presión por lo que se considera que exista una holgura mínima entre ellos.

Dimensiones de la placa porta punzones.

$$e = 20 \text{ [mm]}$$

$$h = 122.6 \text{ [mm]}$$

$$l = 242.1 \text{ [mm]}$$

Material: Acero SAE 1045

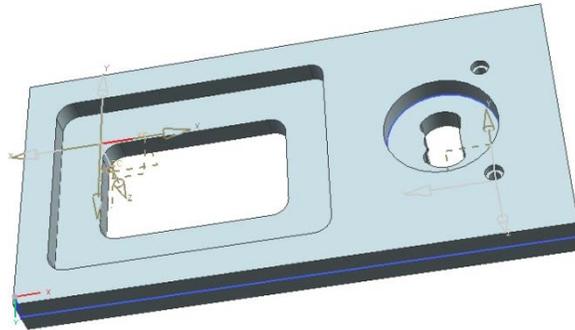


Figura 4.7 Placa porta punzones.

4.6 Guía de punzones.

La placa guía de punzones, mostrada en la figura 4.8 a) está formada por una placa de acero SAE 1045 con un espesor de 12.7 [mm]. Debe cumplir, para el caso de este troquel, con las siguientes funciones: mantener la verticalidad de los punzones al momento del corte, actuar como un botador de estos en caso que el remanente de material llegase a quedar adherido al punzón y ser la guía para la tira del material, como se muestra en la figura 4.8 b).

Para mantener la verticalidad de los punzones es necesario que la cavidad destinada a alojar a los punzones presente juego u holgura mínima con estos (necesaria para que los punzones se desplacen a través de esta placa); mientras que para dar la guía adecuada a la tira de material se realiza un corte a lo largo de la placa que resguarda, de forma precisa, la tira de material, evitando los movimientos laterales o verticales que llegase a sufrir la tira en el momento de la operación.

Dimensiones de la cavidad para la tira de material.

$$e = 2 \text{ [mm]}$$

$$h = 67.6 \text{ [mm]}$$

$$l = 242.1 \text{ [mm]}$$

Dimensiones de la guía de punzones.

$$e = 12.7 \text{ [mm]}$$

$$h = 122.6 \text{ [mm]}$$

$$l = 242.1 \text{ [mm]}$$

Material: Acero SAE 1045

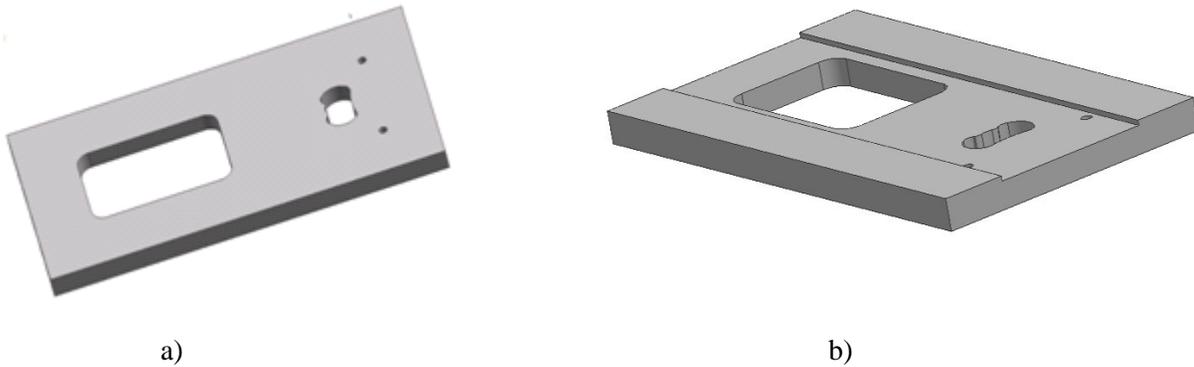


Figura 4.8 a) Placa guía de punzones. b) guía para la tira de material.

4.7 Simulación de maquinado en NX7.

El maquinado de las piezas que conforman el troquel consta de dos o tres etapas:

La primera es una aproximación a la geometría final que se realiza con un cortador vertical de carburo de tungsteno de 12.7 [mm] de diámetro.

La segunda consiste en el maquinado con un cortador vertical de carburo de tungsteno de 4.76 [mm] con el cual son alcanzadas las dimensiones finales que tiene cada una de las piezas.

La placa porta punzones, la guía de punzones y la matriz reciben un tercer paso con un cortador vertical de carburo de tungsteno de 3.175 [mm] con el cual se generan las cavidades del tope del material.

En el primer paso el cortador es empleado para facilitar y acelerar el proceso de maquinado; debido a su tamaño, realiza en menor tiempo el desbaste de las placas de acero dejando una tolerancia de 1 [mm] de las dimensiones finales. El segundo paso es realizado con el cortador de 4.76 [mm]; su finalidad es alcanzar la dimensiones especificadas en los planos de las piezas, así como también, dar el acabado final para cada una de ellas, las tolerancias que se manejan para este paso son del 0.020 [mm]

A continuación se muestra un compendio de figuras en las cuales se visualiza el aspecto físico (simulación) de cada una de las piezas al finalizar cada etapa de maquinado.

Matriz (figura 4.9).

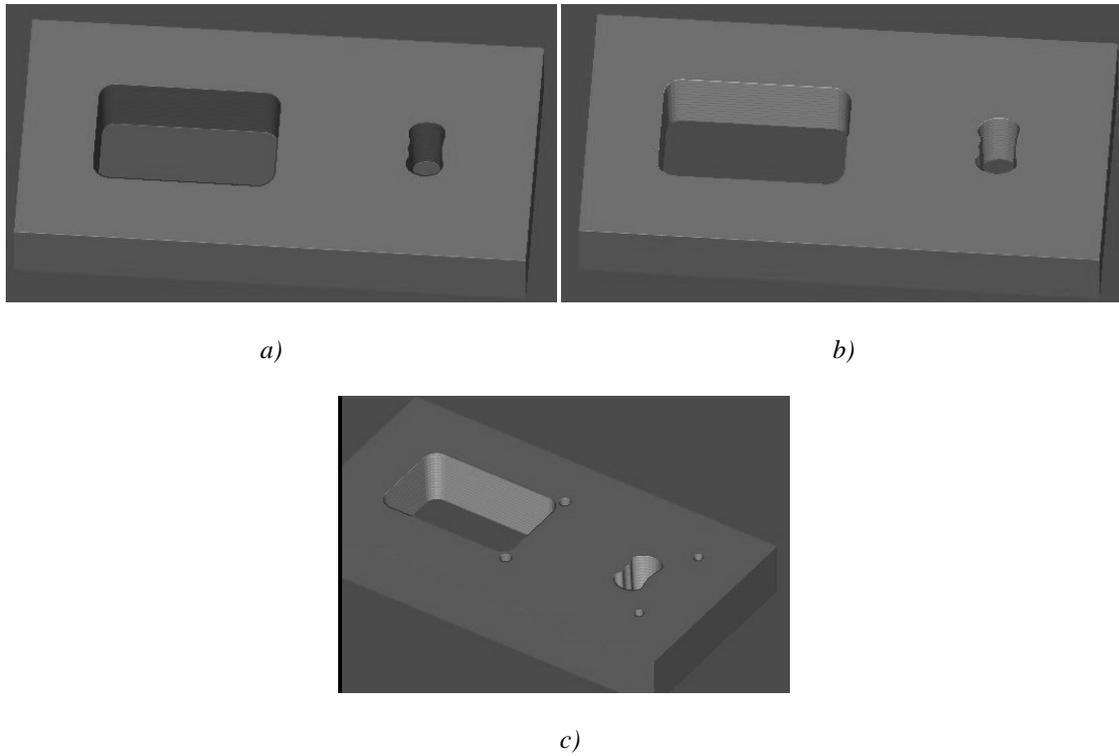


Figura 4.9 a) Matriz maquinada con cortador de 12.7 [mm]. b) Matriz maquinada con cortador de 4.76 [mm] c) Matriz maquinada con cortador de 3.175[mm]

Punzones (figura 4.10 y 4.11).

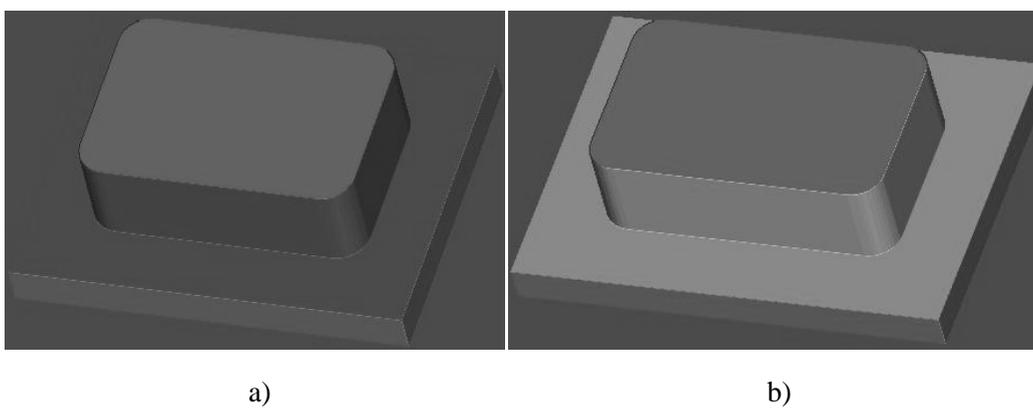


Figura 4.10 a) Punzón de tarjeta maquinado con cortador de 12.7 [mm]. b) Punzón de tarjeta maquinado con cortador de 4.76 [mm].

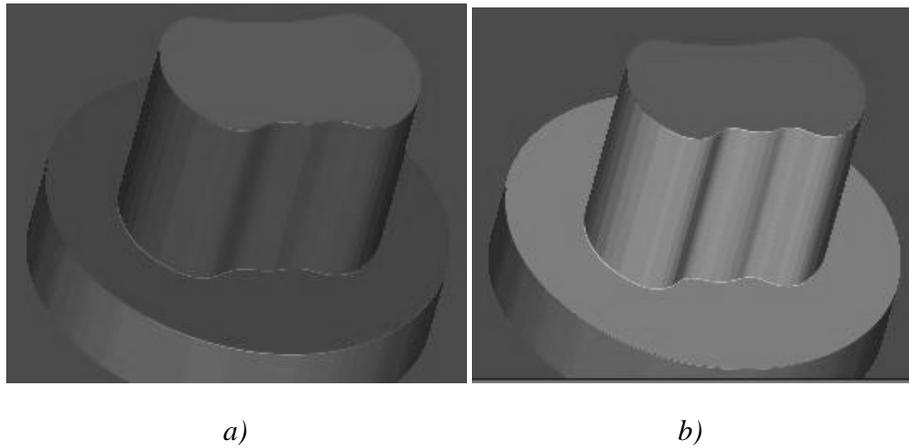


Figura 4.11 a) Punzón del destapador maquinado con cortador de 12.7 [mm]. b) Punzón del destapador maquinado con cortador de 4.76 [mm].

Placa porta punzones (figura 4.12).

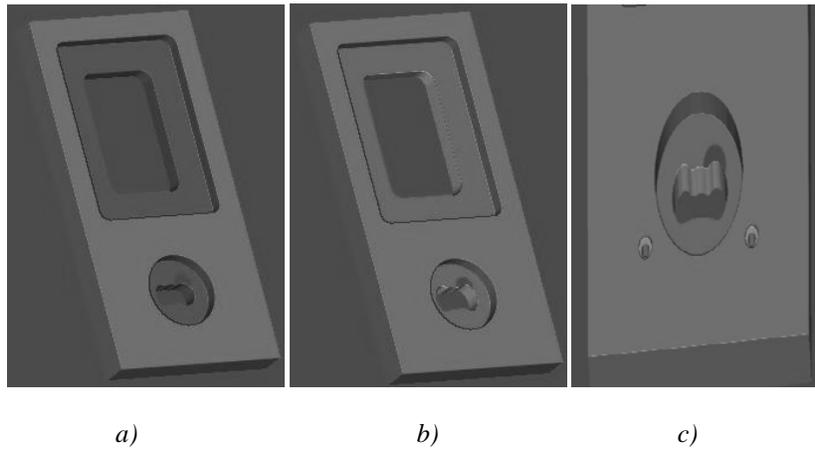


Figura 4.12 a) Placa porta punzones maquinada con cortador de 12.7 [mm]. b) Placa porta punzones maquinada con cortador de 4.76 [mm]. c) Placa porta punzones maquinada con cortador de 3.175[mm].

Guía de punzones (figura 4.13).

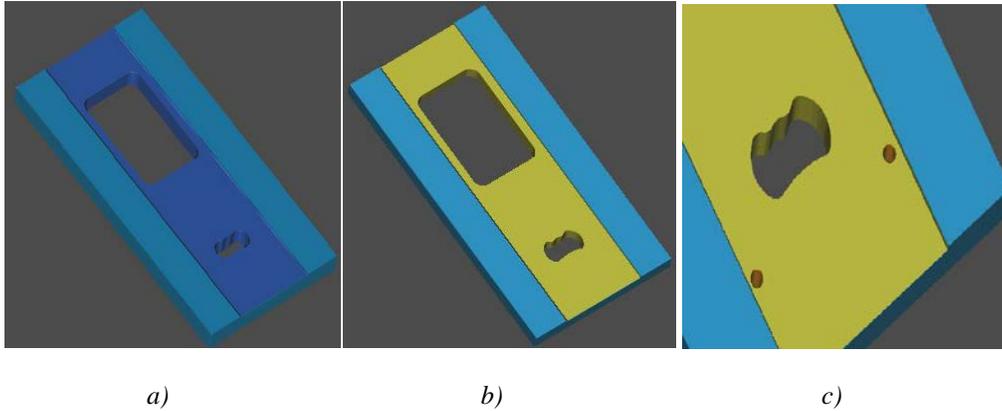


Figura 4.13 a) Placa guía de punzones maquinada con cortador de 12.7 [mm]. b) Placa guía de punzones maquinada con cortador de 4.76 [mm] c) Placa guía de punzones maquinada con cortador de 3.175[mm].

4.8 Parámetros de velocidad, avance y profundidad de corte.

Es de suma importancia, para un buen maquinado, tener en cuenta los factores que pueden alterar la eficiencia y acabado del proceso de maquinado de las piezas, es por ello que para la simulación de dicho proceso es necesario definir los parámetros que se ven involucrados en el momento del corte de los materiales.

Los principales factores a considerar son: la velocidad de corte, el avance y la profundidad del mismo ya que si alguno de estos valores no es el apropiado, se pueden encontrar fallas como: un exceso en el tiempo de maquinado, un cambio continuo de cortadores debido a una mala elección de velocidad o bien un mal acabado provocado por un corte muy profundo.

Los parámetros que se emplearon en el proceso de maquinado de las piezas están basados en las tablas 10, 11 y 12 en donde se hace mención a cada uno de estos parámetros en base al material cortado y el tipo de cortador a emplear.

En la tabla 10 se muestra la velocidad de corte [m/min] sugerida para fresas de acero de alta velocidad y las fresas de carburo. El valor que se extrae de la tabla y con el cual se obtiene el número de RPM es de 50[m/min] ya que resulta ser la media de las velocidades propuestas.

Velocidad de fresado		
	Fresa de acero de alta velocidad	Fresa de carburo
Material	[m/min]	[m/min]
Acero aleado	12-20	45-75
Aluminio	150-300	300-600
Bronce	20-35	60-120
Hierro fundido	15-25	40-60
Acero de maquinado libre	30-45	120-180
Acero para maquinaria	21-30	45-75
Acero inoxidable	10-25	30-90
Acero para herramienta	18-20	40-60

Tabla número 10 Velocidad de fresado^{xcii}.

En la tabla 11 se ubica el avance recomendado por diente de los cortadores de carburo. De esta tabla retomamos el valor sugerido para las fresas frontales, ya que estas son las que se emplean para el maquinado.

^{xcii} F. Krar Steve, F. Check Albert: *Tecnología de las maquinas herramientas México: Alfaomega, 2002.*

Avance por diente para diferentes tipos de cortador					
	Fresas de refrentar.	Fresas helicoidales.	Fresas de ranurar y de corte lateral.	Fresas frontales	Cortadores de formado de relieves
Material	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
Aluminio	0.5	0.40	0.3	0.25	0.15
Latón y bronce (medio)	0.3	0.25	0.18	0.15	0.1
Hierro fundido (medio)	0.4	0.33	0.25	0.2	0.13
Acero para maquinaria	0.4	0.33	0.23	0.2	0.13
Acero para herramienta (medio)	0.35	0.28	0.2	0.18	0.1
Acero inoxidable	0.25	0.2	0.15	0.13	0.08

Tabla número 11 Avance por diente para diferentes tipos de cortador^{xciii}.

El proceso de maquinado de las piezas del troquel se lleva a cabo en dos etapas. La primera consiste en emplear un cortador de 12.7 [mm] de diámetro para aproximar las piezas a 2 [mm] de sus dimensiones finales. En la segunda etapa se utiliza un cortador de 4.76 [mm] para llegar a las dimensiones finales y dar el acabado final a la pieza. La profundidad de corte para cada uno de los pasos se fija en 1 [mm] y 0.5 [mm] respectivamente.

^{xciii} F. Krar Steve, F. Check Albert: *Tecnología de las maquinas herramientas México: Alfaomega, 2002.*

En la tabla 12 se muestra un resumen de los parámetros de corte que se emplean para el maquinado de las piezas.

Parámetros de corte.				
Cortador de carburo. Diámetro [mm]	Velocidad de corte [m/min]	Avance por diente [mm]	Revoluciones por minuto.	Profundidad de corte. [mm]
12.7	50	0.18	1260	1
4.76	50	0.18	3360	1

Tabla número 12 Parámetros de corte^{xciv}.

En el siguiente capítulo se puede observar la ruta de trabajo que tiene cada una de las piezas a maquinar, cabe mencionar que en ella no se hace mención de todas las piezas debido a que algunas de ellas se adquieren de forma directa ya estandarizadas.

^{xciv} F. Krar Steve, F. Check Albert: *Tecnología de las maquinas herramientas México: Alfaomega, 2002.*

Capítulo

5

Rutas de trabajo.

Introducción.

Una etapa muy importante dentro del proceso de fabricación de cualquier producto, es la manufactura de los herramientas con los cuales se producirá la pieza deseada. Por ejemplo si se trata de un recipiente producido mediante inyección de plástico; es de vital importancia que la manufactura del molde de inyección, se realice cumpliendo todos los parámetros de diseño que el equipo encargado del desarrollo determine previamente.

¿De qué forma se logra transmitir, las ideas y especificaciones del diseño al área de manufactura? Se logra mediante una ruta de trabajo.

La ruta de trabajo, es un registro detallado de todos los pasos a seguir durante el proceso de manufactura; contiene información muy importante que el técnico debe saber para poder manufacturar la pieza adecuadamente, tales como: velocidades de corte, profundidad de corte, herramientas a utilizar (cortadores, brocas, etc.), la manera de posicionar y colocar la pieza en las maquinas herramienta, etc.

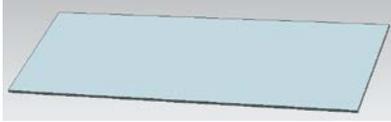
Es muy importante que el diseñador tenga noción de los procesos de manufactura, para que al momento de elaborar la ruta de trabajo, lo haga de la forma más clara posible, con la finalidad de que esta sea entendida e interpretada por cualquier técnico.

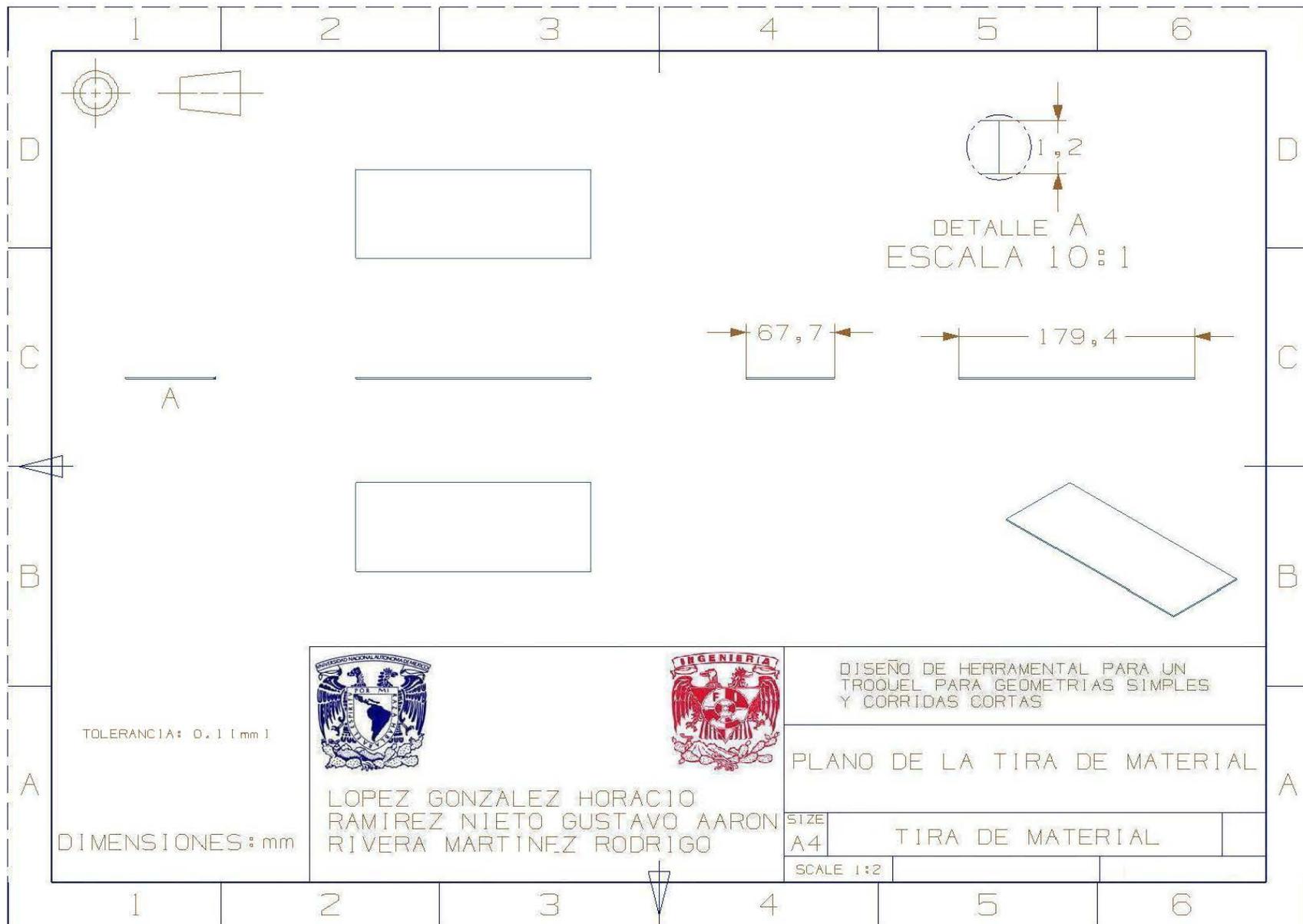
La ruta de trabajo nos garantiza que la pieza producida, sea idéntica a la idea original.

A continuación se presentan las rutas de trabajo de las piezas previamente descritas en el capítulo anterior.

Nombre de la pieza: Tira de material.

Material: Acero SAE 1018

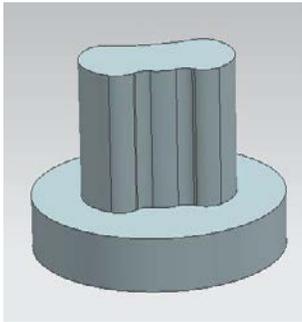
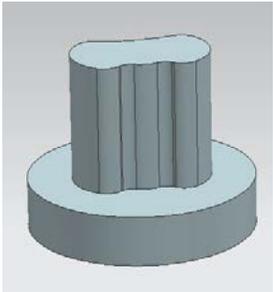
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
1	Corte de la tira del material con dimensiones 180 x 68 x 1.24 [mm]. Verificar dimensiones finales con el flexómetro.	Cizalla manual para corte de placas, láminas y chapas de acero. 	Cizalla manual modelo DO020 de 4 pies.	

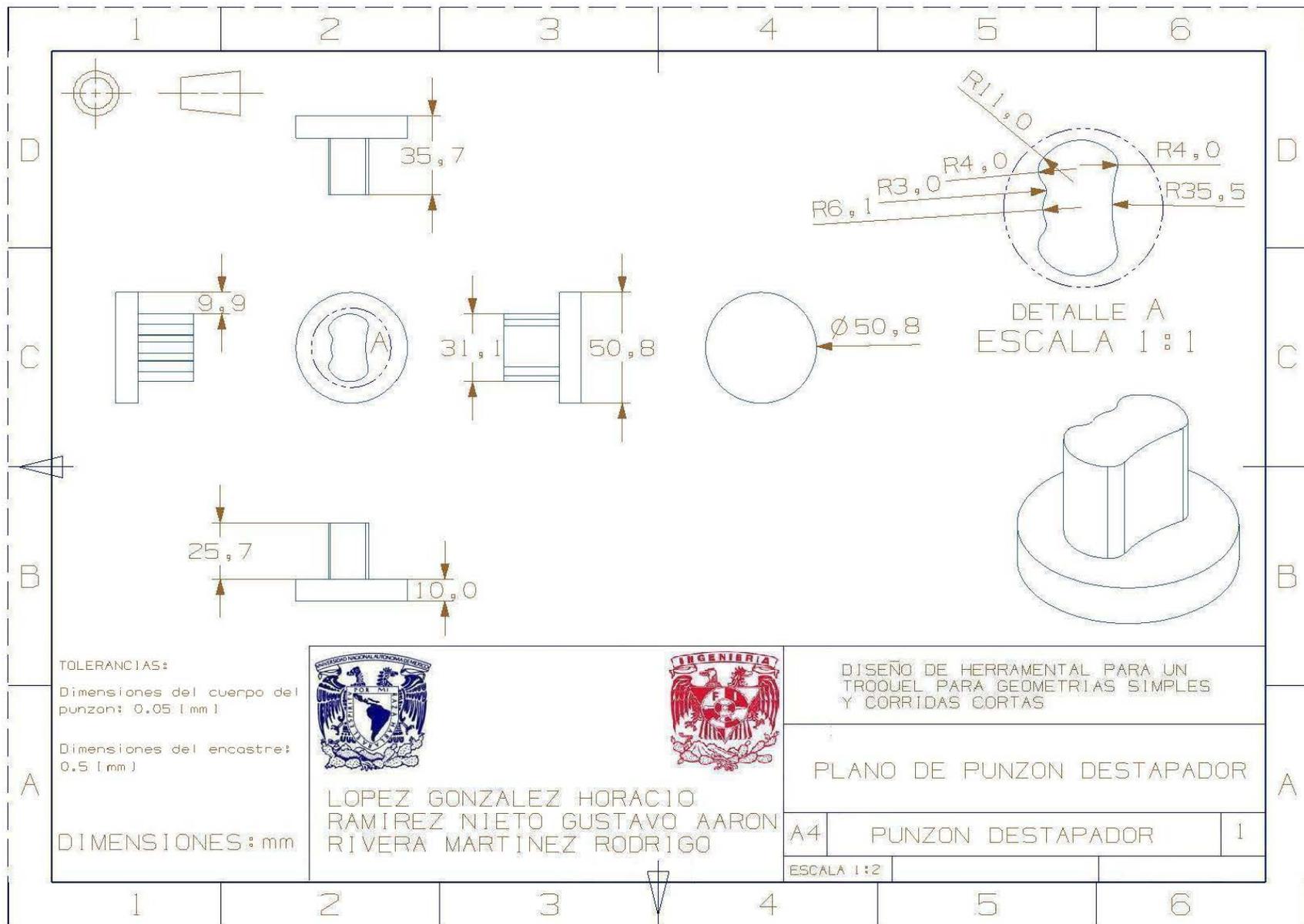


Nombre de la pieza: Punzón destapador.

Material: Redondo de acero AISI/SAE 4140 de 50.8 [mm] de diámetro por 35.7 [mm] de largo.

Nota: El material se adquiere pulido y rectificado a las medidas antes mencionadas.

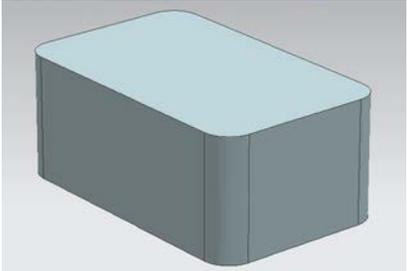
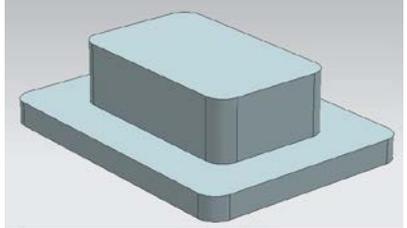
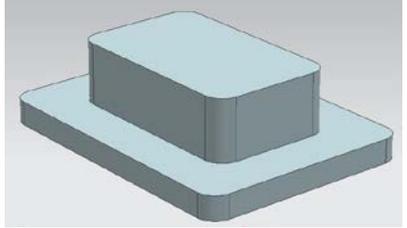
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen de la pieza
1	<p>Sujetar pieza con mandril de tres mordazas y clamps,</p> <p>Localizar el cero pieza con comparador de caratula.</p> <p>Realizar desbaste de aproximación.</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Mandril de tres mordazas, cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.</p>	
2	<p>Realizar fresado final.</p> <p>(Acabado final)</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Mandril de tres mordazas, cortador vertical de carburo de 4.7625 [mm]. No de catálogo 20-606-047</p>	

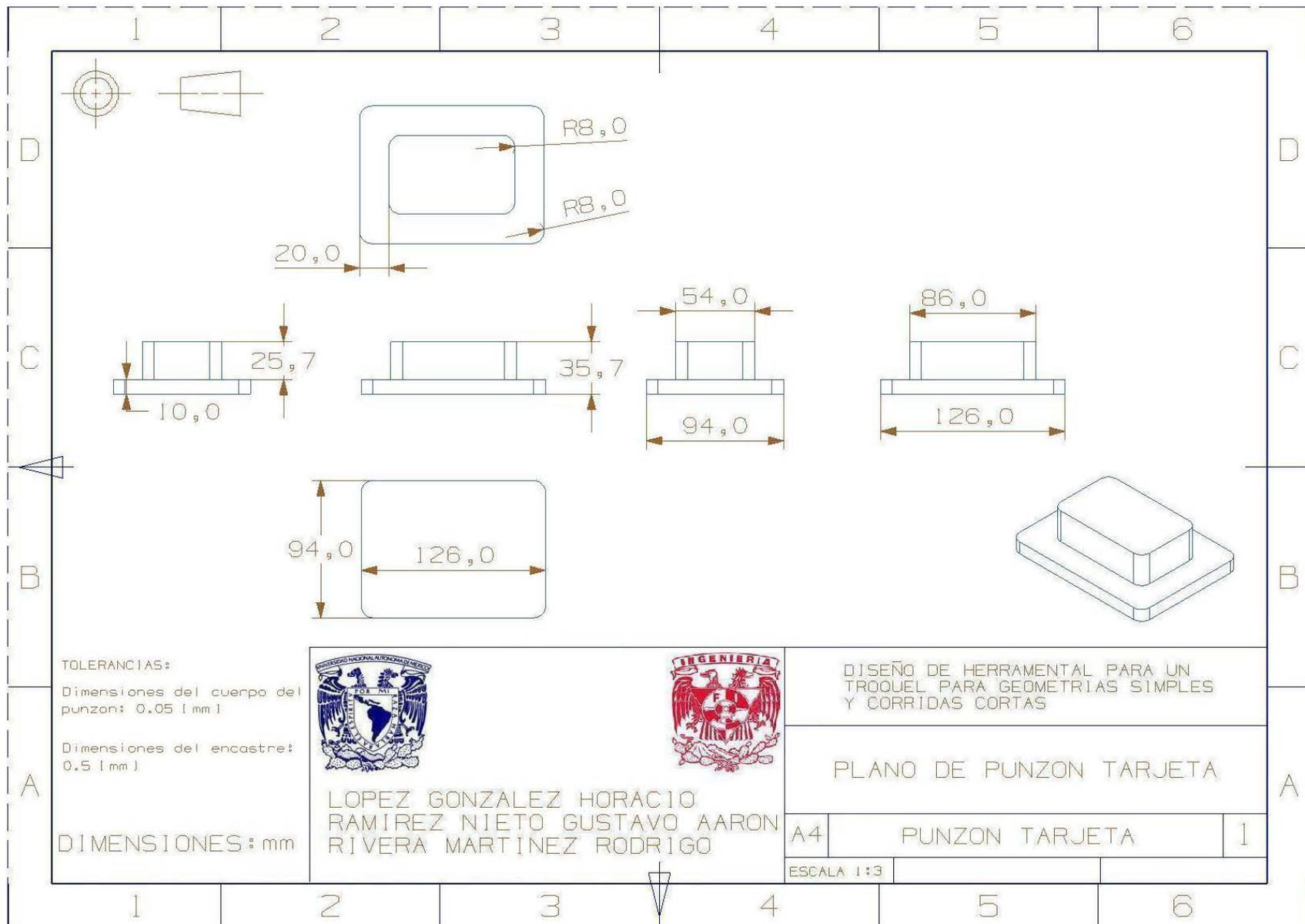


Nombre de la pieza: Punzón tarjeta.

Material: Bloque de acero AISI/SAE 4140 de 126 [mm] de largo por 94 [mm] de ancho y 35.7 [mm] de espesor.

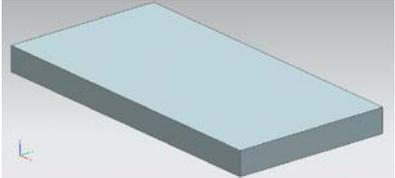
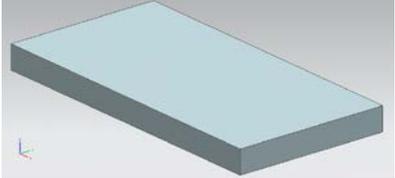
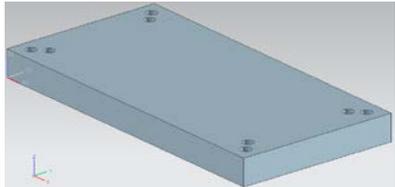
Nota: El material se adquiere pulido y rectificado a las medidas antes mencionadas.

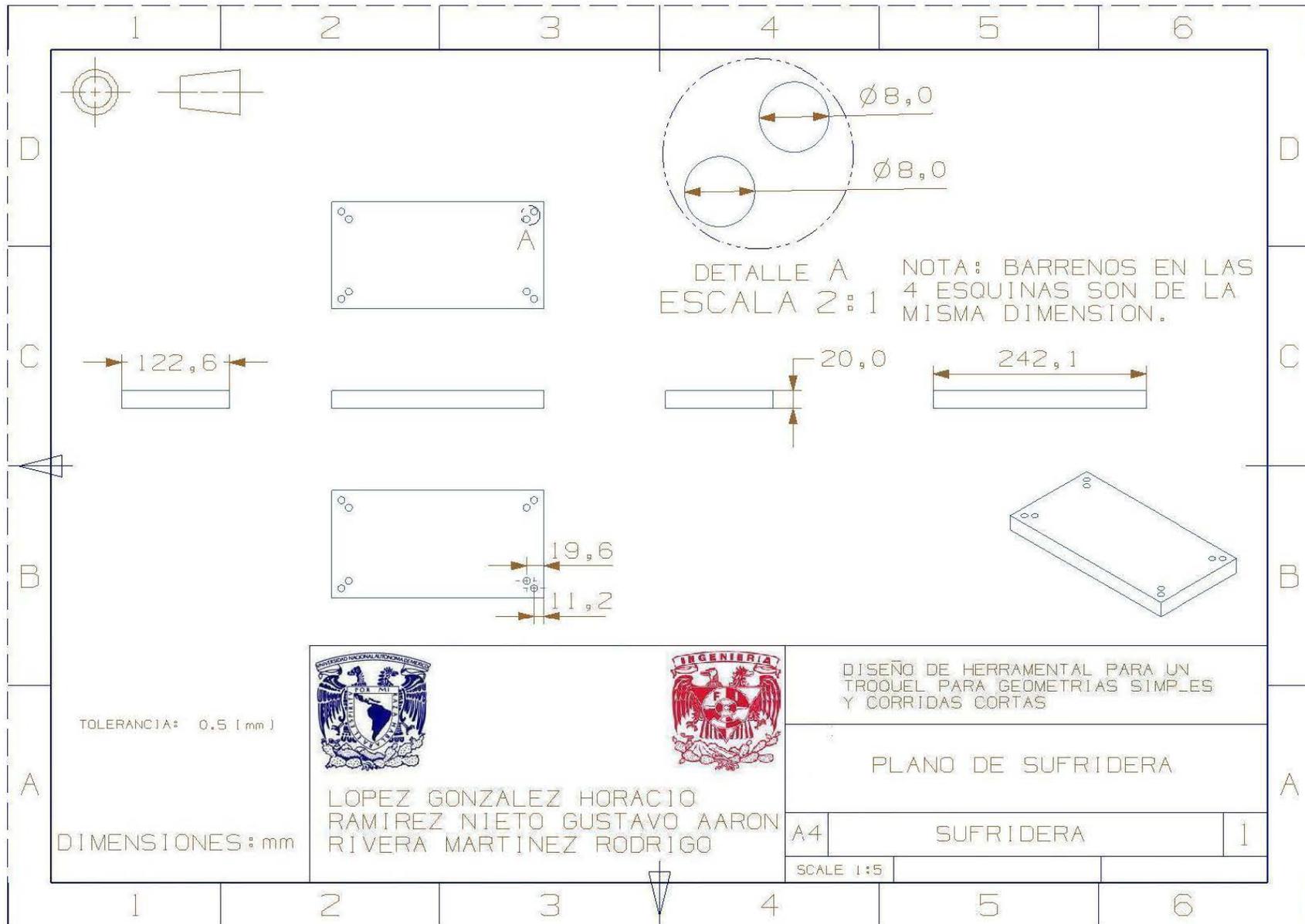
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
1	Sujetar pieza con clamps, Localizar el cero pieza con comparador de caratula. Realizar radios para el encastre.	Fresadora CNC 	Mandril de tres mordazas, cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
2	Realizar desbaste de aproximación	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
3	Realizar acabado final.	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.7625 [mm]. No de catálogo 20-606-047	



Nombre de la pieza: Sufridera.

Material: Placa de acero SAE 1045 de 235 [mm] de largo por 122.6 [mm] de ancho y un espesor de 20[mm] de largo.

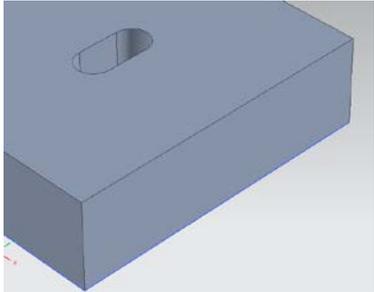
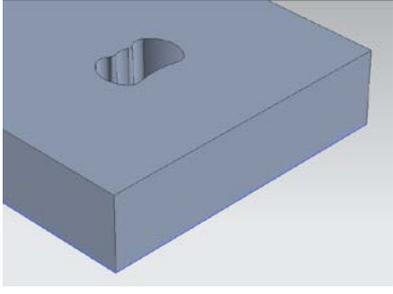
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
1	Corte de material rectángulo acero SAE 1045 dimensiones 244 x 124 x 22 [mm]	Sierra cinta horizontal. 	Sierra cinta para acero SAE 1045.	
2	Sujetar pieza con clamps y refrentar 1 [mm] las 6 caras	Fresadora CNC 	Mandril de tres mordazas, cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
3	Realizar Barrenos A, B, C, D, E, F, G, H (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.76 [mm]. No de catálogo 20-606-047	



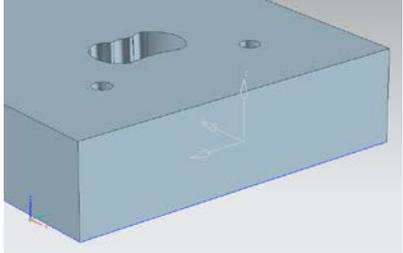
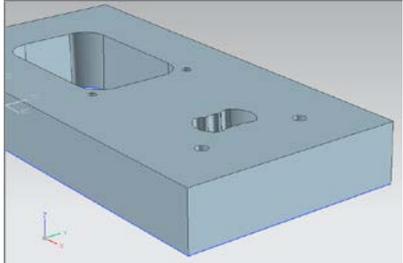
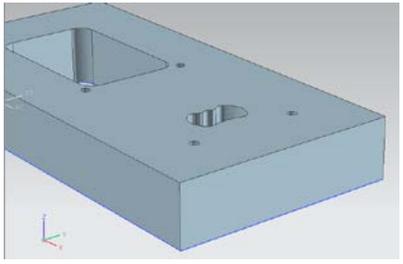
Nombre de la pieza: Matriz.

Material: Placa de acero AISI/SAE 4140 de 242.1 [mm] de largo por 122.6 [mm] y un espesor de 32 [mm]

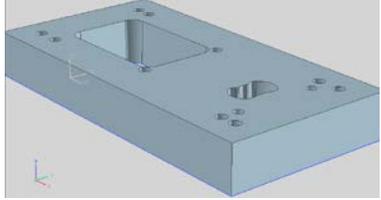
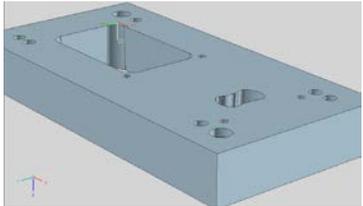
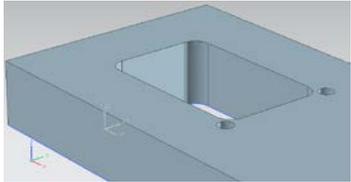
Nota: El material se adquiere pulido y rectificado a las medidas antes mencionadas.

Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
1	<p>Sujetar pieza con clamps.</p> <p>Fresar la ranura para generar la cavidad del destapador.</p> <p>Desbaste de aproximación</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.</p>	
2	<p>Fresar cavidad del destapador (acabado final).</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 4.7625 [mm]. No de catálogo 20-606-047</p>	

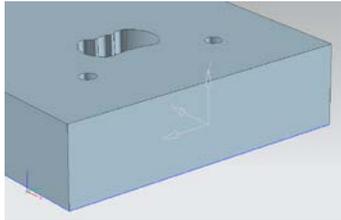
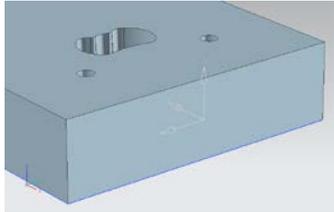
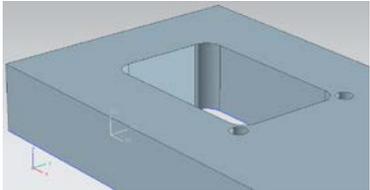
Nombre de la pieza: Matriz.

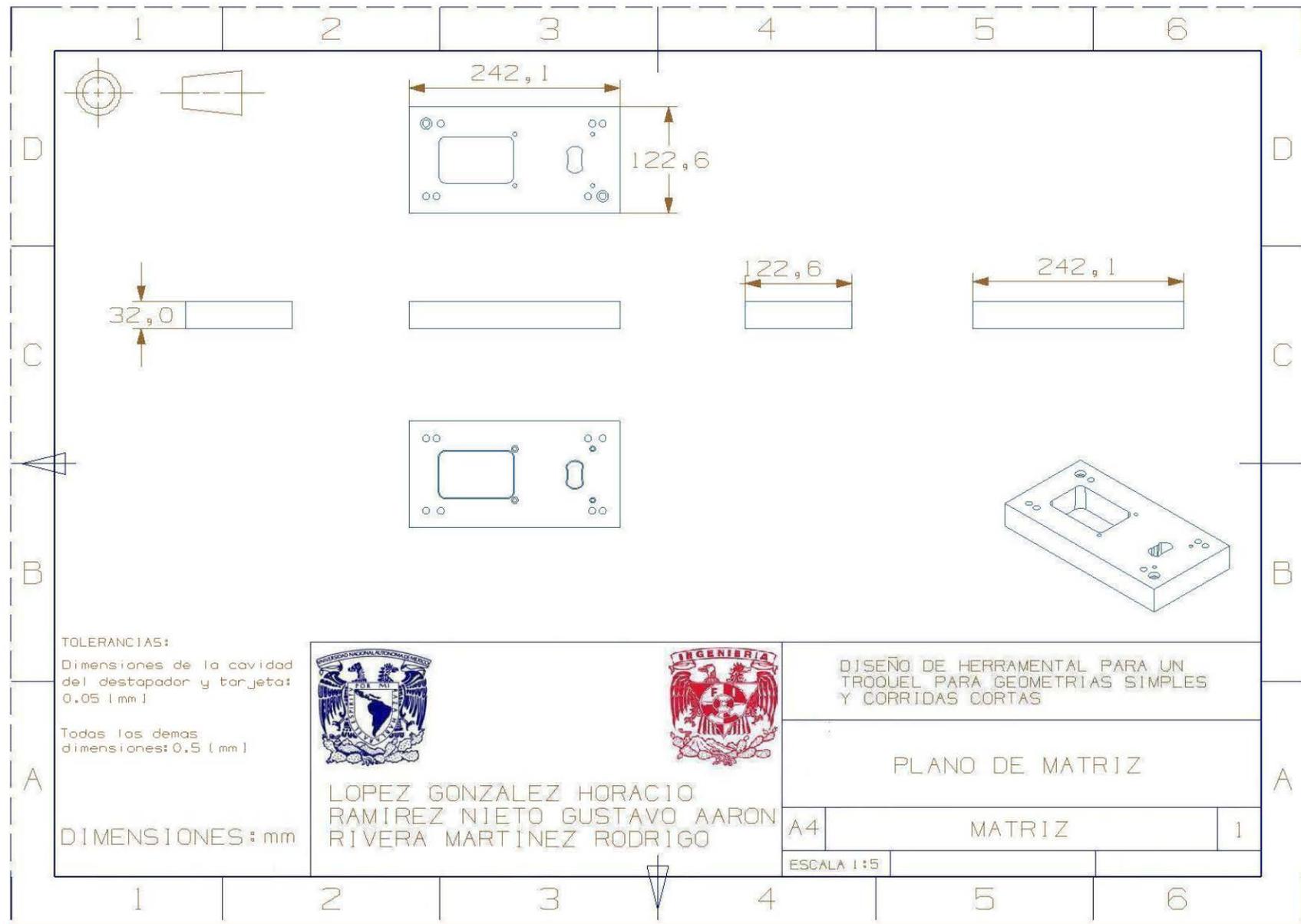
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
3	Realizar Barrenos A, B, C y D (acabado final).	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 4.76 [mm]. No de catálogo 20-606-047</p>	
4	<p>Fresar la cavidad de la tarjeta.</p> <p>Desbaste de aproximación</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 25.4 [mm]. No de catálogo 09-510-716.</p>	
5	<p>Fresar cavidad de la tarjeta (acabado final).</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.</p>	

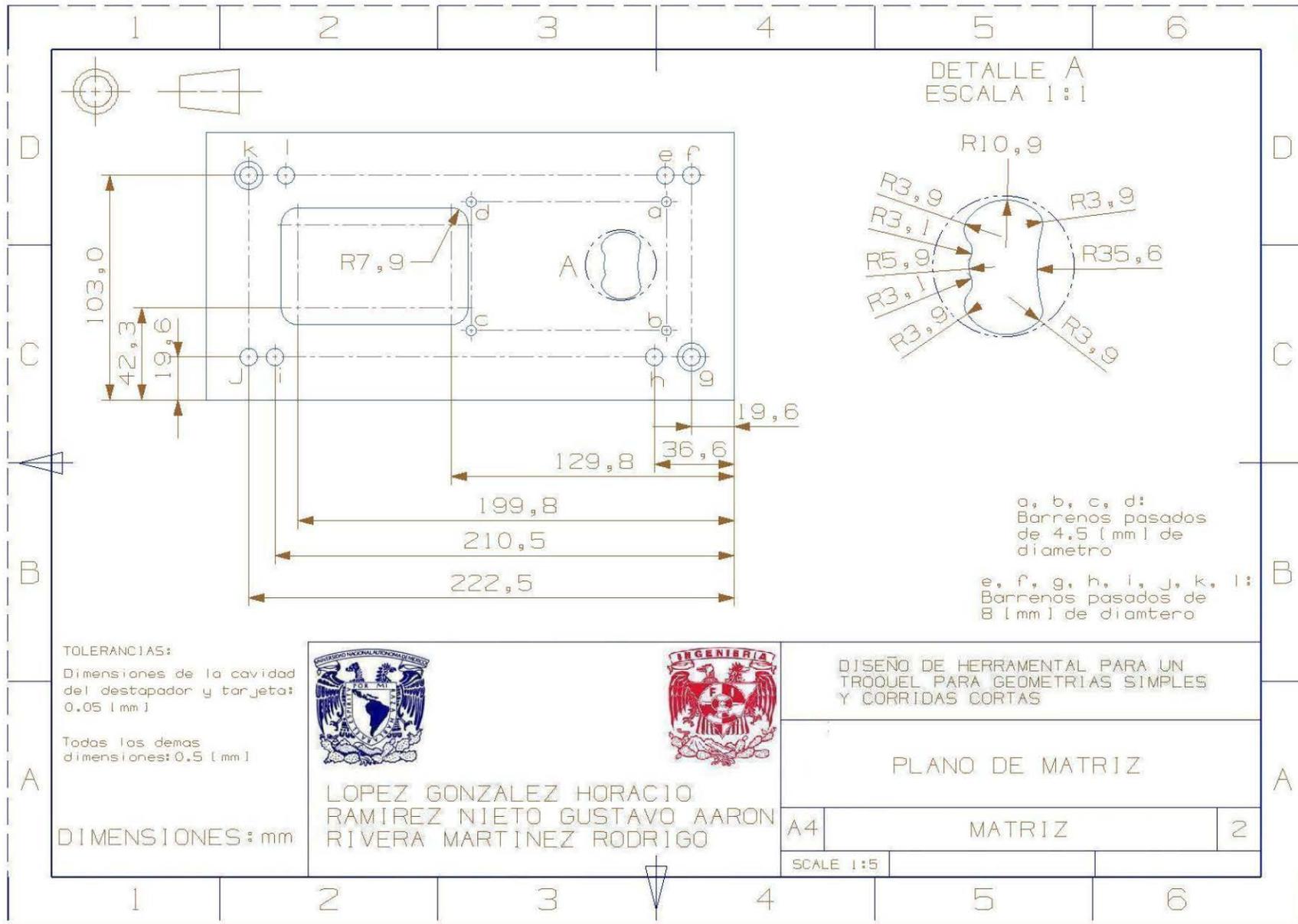
Nombre de la pieza: Matriz.

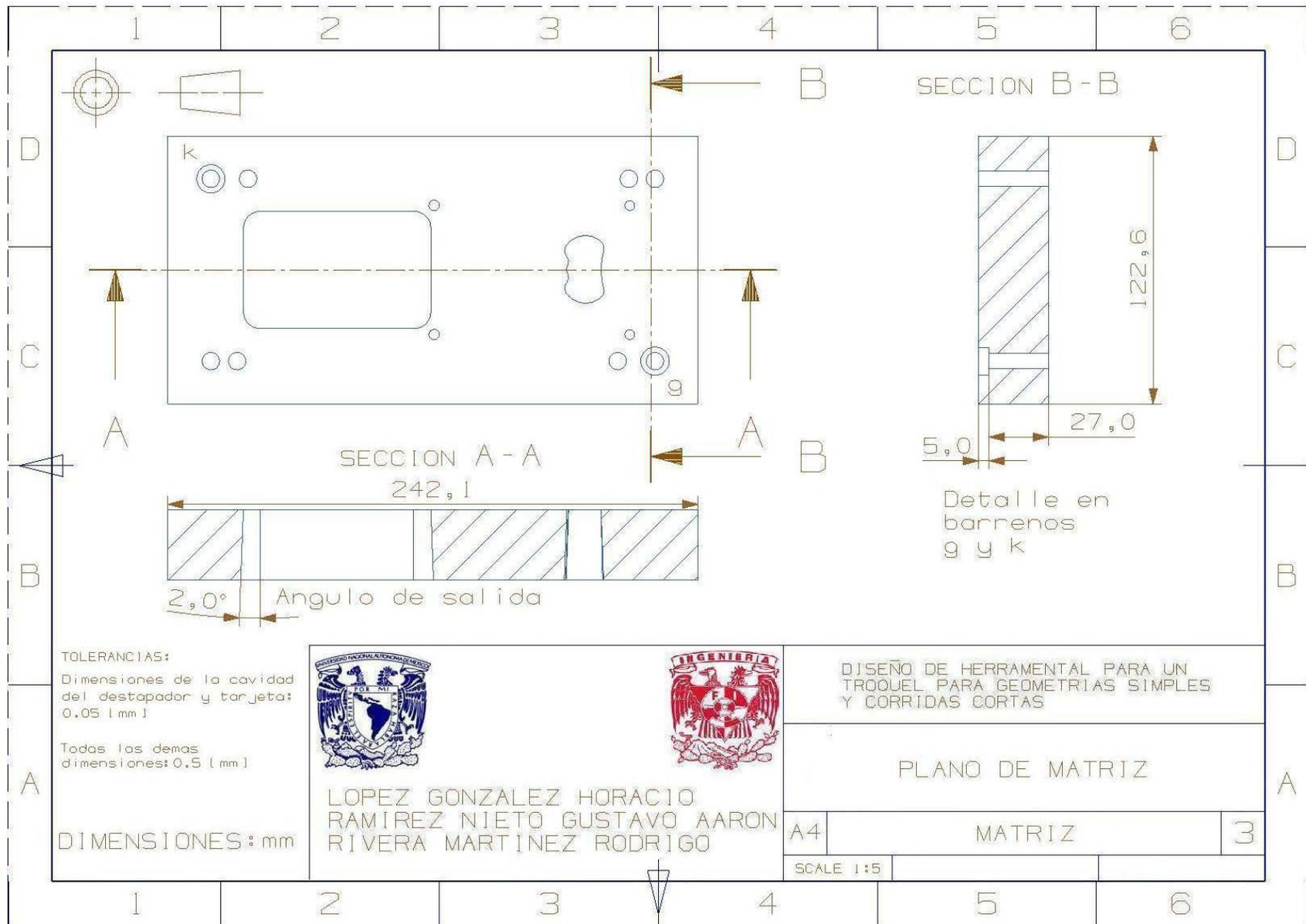
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
6	Fresar las cavidades de elementos de sujeción. E,F,G,H,I,J,K,L. (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 8 [mm]. No de catálogo 20-501-722	
7	Fresar las cavidades de elementos de sujeción. E,F. a una profundidad de 5 [mm] (Acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
8	Colocar la pieza con la cara inferior hacia arriba, sujetar pieza con clamps, barrenar en C y D a una profundidad de 27 [mm] (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.76 [mm]. No de catálogo 20-606-047	

Nombre de la pieza: Matriz.

Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
9	Colocar la pieza con la cara inferior hacia arriba Realizar ángulo de salida en barrenos A y B.	Electroerosionadora 	Electrodo de grafito con un ángulo de 2[°]	
10	Colocar la pieza con la cara inferior hacia arriba. Realizar ángulo de salida del destapador.	Electroerosionadora 	Electrodo de grafito con un ángulo de 2[°]	
11	Colocar la pieza con la cara inferior hacia arriba Realizar ángulo de salida del cuerpo del destapador.	Electroerosionadora 	Electrodo de grafito con un ángulo de 2[°]	

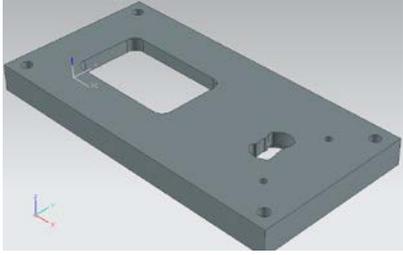
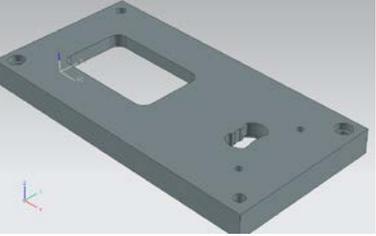




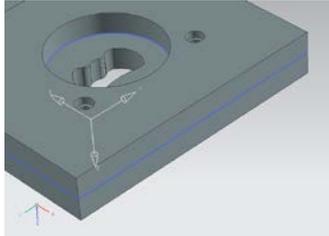
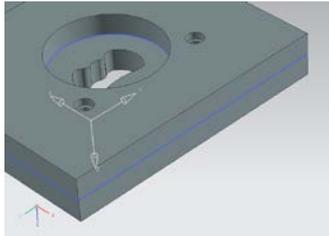
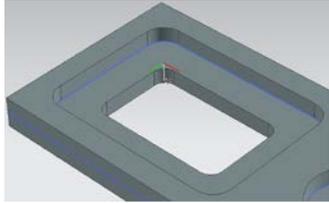


Nombre de la pieza: Porta punzones.

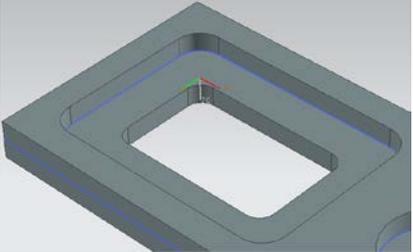
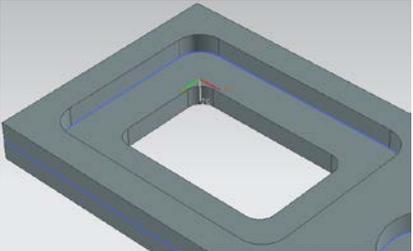
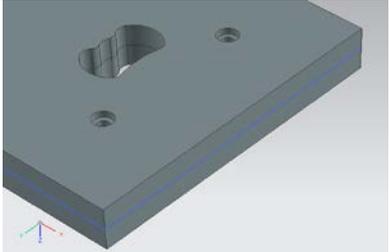
Material: Placa de acero SAE 1045 de 242.1 [mm] de largo por 122.6 [mm] y un espesor de 32 [mm]

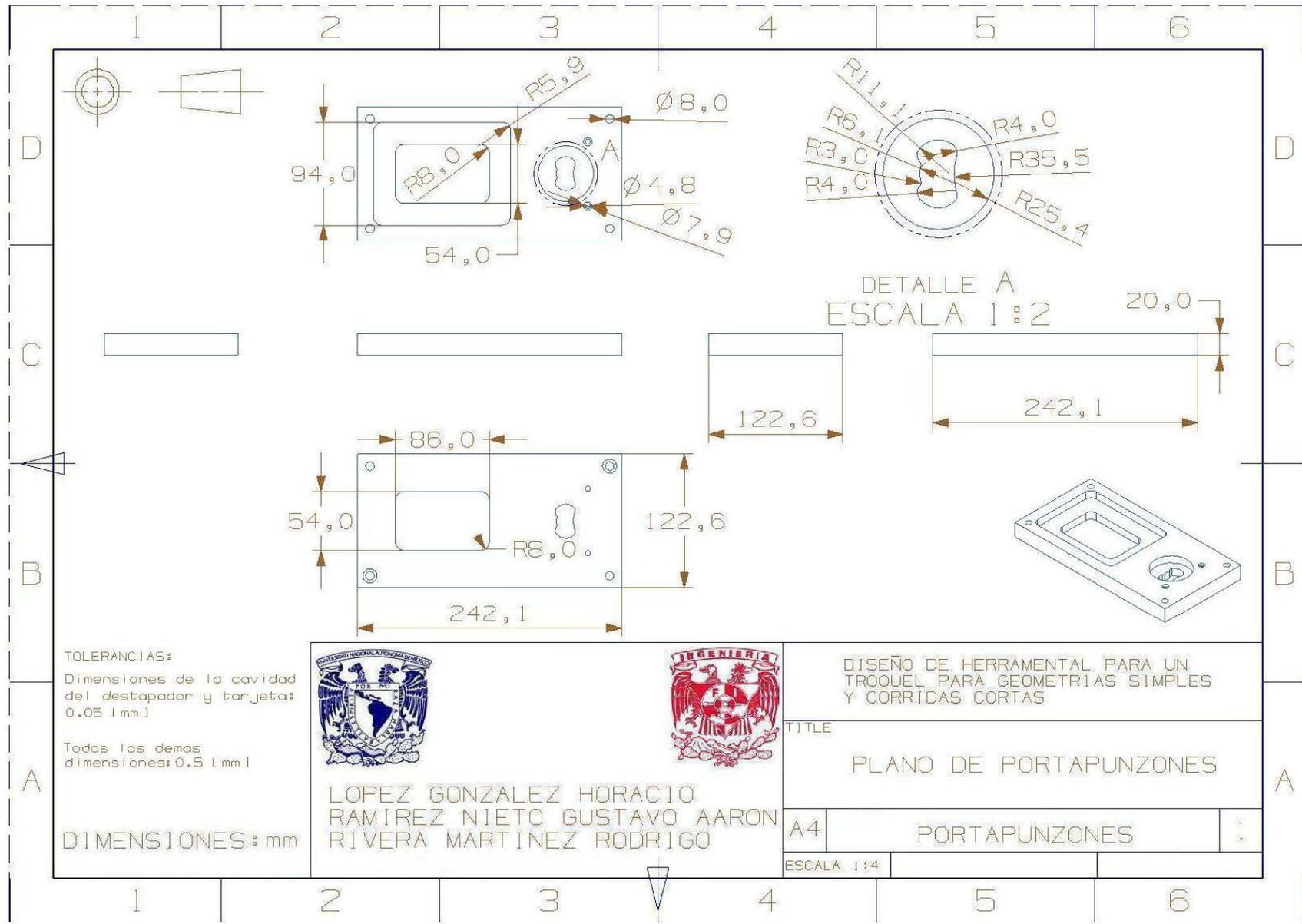
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
1	Sujetar pieza con clamps. Realizar Barrenos A, B, C, D, E, F.	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.76 [mm]. No de catálogo 20-606 - 047	
2	Fresar las cavidades de elementos de sujeción. C,D. a una profundidad de 5 [mm] (Acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	

Nombre de la pieza: Porta punzones.

Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
3	Colocar la pieza con la cara inferior hacia arriba Fresar ranura para generar la cavidad del destapador, con un encastre de 10[mm].	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
4	Fresar cavidad del destapador (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.7625 [mm]. No de catálogo 20-606-047	
5	Fresar la cavidad de la tarjeta, con un encastre de 10 [mm].	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 25.4 [mm]. No de catálogo 09-510-716.	

Nombre de la pieza: Porta punzones.

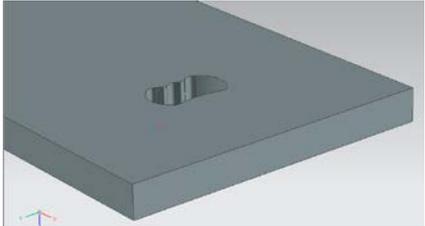
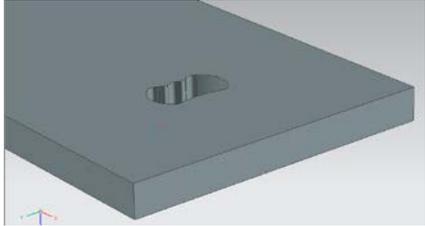
Número	Operación	Maquinaria	Herramienta	Imagen
6	Aproximar los radios finales de la tarjeta	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
7	Fresar cavidad de la tarjeta (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.7625 [mm]. No de catálogo 20-606-047	
8	Realizar barrenos en A y B con una profundidad de 3.17 para el encastre[mm]	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 7.93 [mm]. No de catálogo 20-606-55	



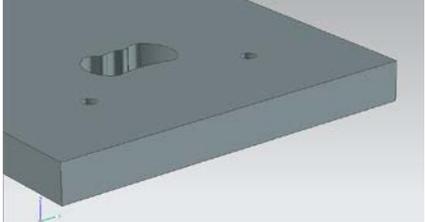
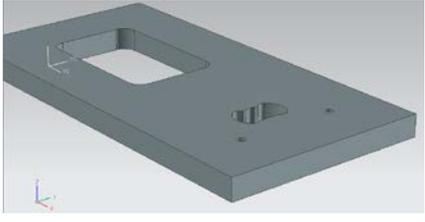
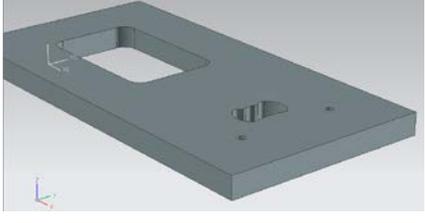
Nombre de la pieza: Guía de punzones.

Material: Placa de acero AISI/SAE 1045 de 242.1 [mm] de largo por 122.6 [mm] y un espesor de 12.7 [mm]

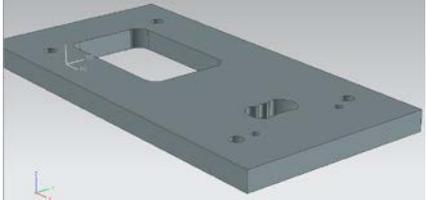
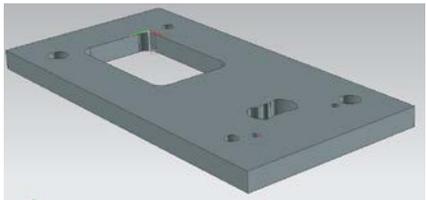
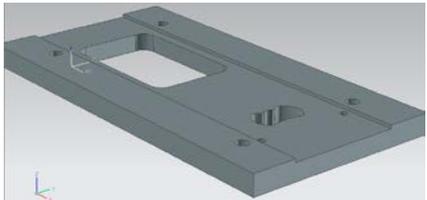
Nota: El material se adquiere pulido y rectificado a las medidas antes mencionadas.

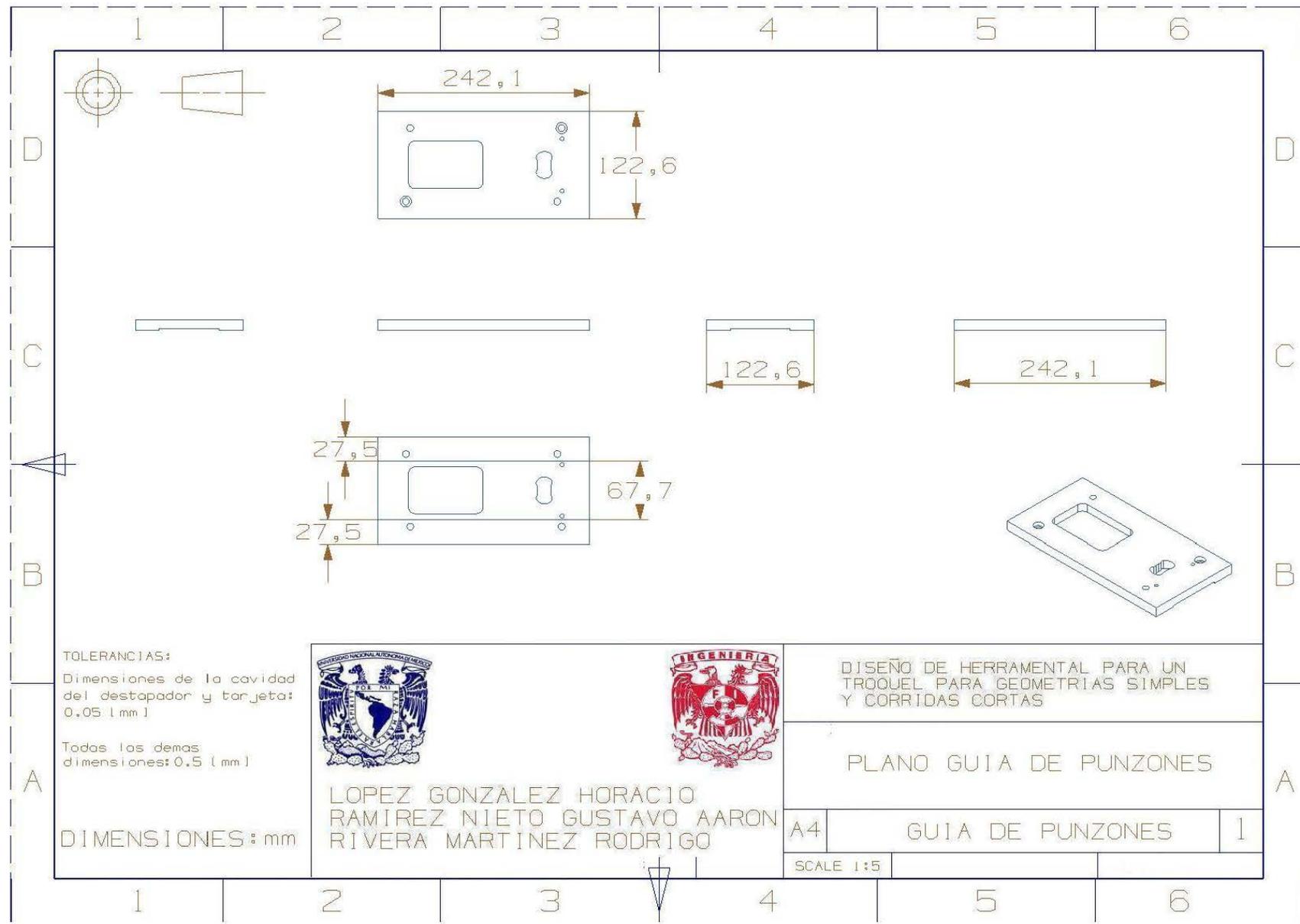
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
1	<p>Sujetar pieza con clamps.</p> <p>Fresar la ranura para generar la cavidad del destapador.</p> <p>Desbaste de aproximación</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.</p>	
2	<p>Fresar cavidad del destapador (acabado final).</p>	<p>Fresadora CNC</p> 	<p>Cortador vertical de carburo de 4.76 [mm]. No de catálogo 20-606-047</p>	

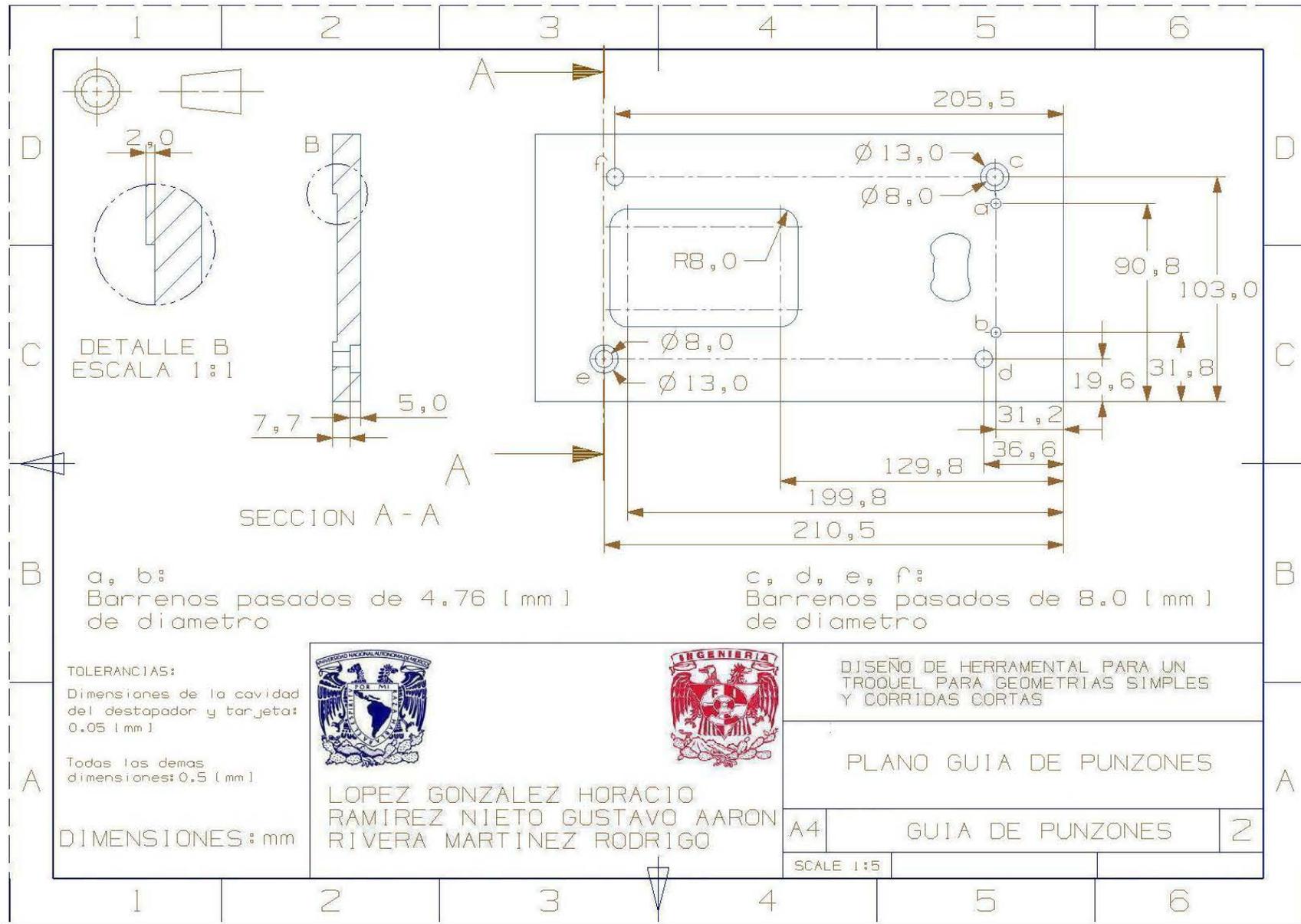
Nombre de la pieza: Guía de punzones.

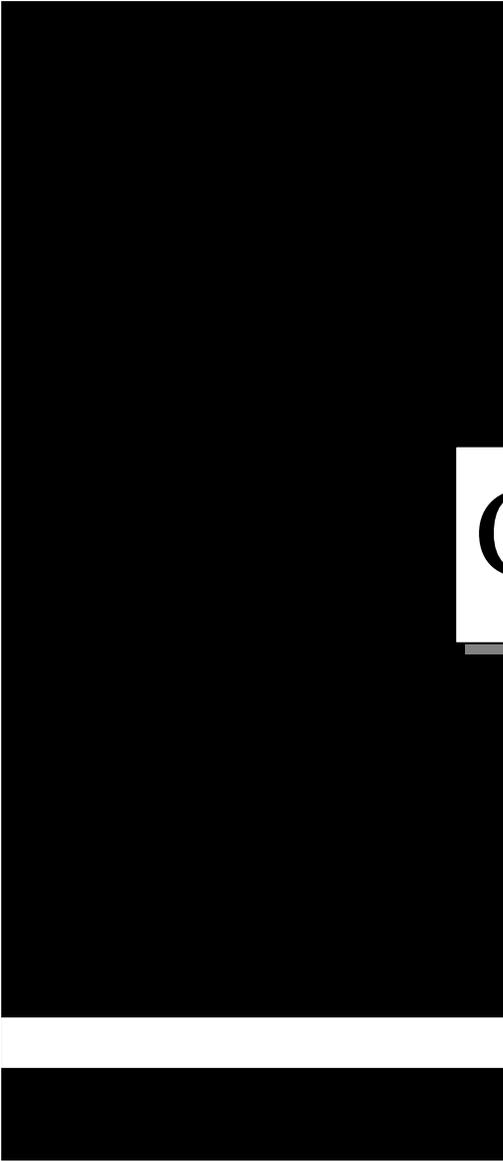
Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
3	Realizar Barrenos A, B, (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 4.76 [mm]. No de catálogo 20-606-047	
4	Fresar la cavidad de la tarjeta. Desbaste de aproximación	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 25.4 [mm]. No de catálogo 09-510-716.	
5	Fresar cavidad de la tarjeta (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	

Nombre de la pieza: Guía de punzones.

Número	Operación	Máquina herramienta	Herramienta	Imagen
6	Fresar las cavidades de elementos de sujeción. C, D, E, F. (acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 8 [mm]. No de catálogo 20-501-722	
7	Fresar las cavidades de elementos de sujeción. C, E. a una profundidad de 5 [mm] (Acabado final).	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 12.7 [mm]. No de catálogo 20-606-029.	
8	Colocar la pieza con la cara inferior hacia arriba, sujetar pieza con clamps. Fresar cavidad guía de la tira de material, a una profundidad de 2 [mm]	Fresadora CNC 	Cortador vertical de carburo de 25.4 [mm]. No de catálogo 09-510-716.	







Conclusiones

Hoy en día la competencia que existe en la industria de la manufactura de troqueles a nivel mundial, ha provocado el desarrollo de nuevas teorías en el diseño de los mismos. Actualmente se busca la mayor eficiencia en el uso de los materiales empleados para su construcción, disminuir el tiempo de entrega y reducir costos de fabricación.

Como respuesta a estas demandas surge el concepto “troquel de corridas cortas”, que en síntesis es un herramental que se encuentra diseñado para una vida útil reducida. Una vez que es definida la vida que tendrá el herramental, el diseño y la selección de materiales está enfocada a cubrir dicho requerimiento, evitando el sobre dimensionamiento de las piezas o bien el uso de materiales que exceden las características mecánicas requeridas para el proyecto.

Actualmente el desarrollo de herramental enfocado a corridas cortas es de suma importancia ya que la competencia del mercado actual radica en los tiempos de entrega así como también del costo por pieza producida; esta nueva tendencia obliga al diseñador a contemplar una vida útil, con lo que se reduce, como anteriormente se dijo, el costo de fabricación al no tener que emplear materiales con características mecánicas sobre dimensionadas y consecuentemente una reducción en el tiempo de maquinado de los componentes.

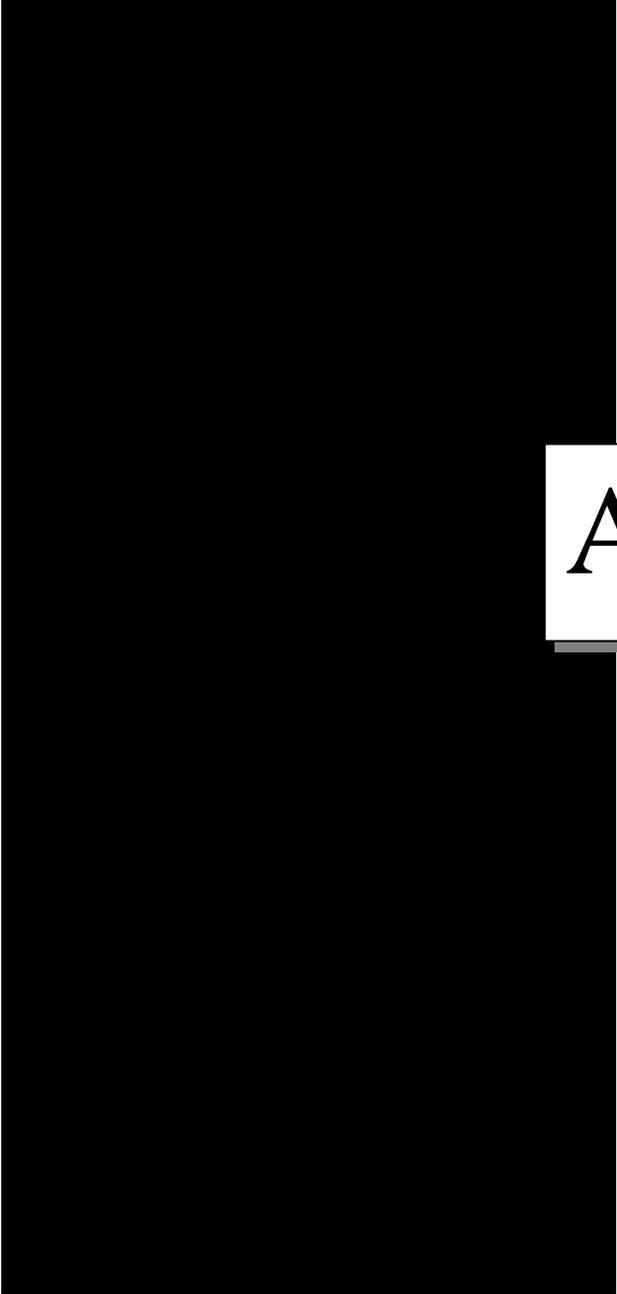
El troquel del cual se ha elaborado el diseño en el presente trabajo ha sido concebido y desarrollado tomando en cuenta las condiciones que se plantean para un troquel de corrida corta de producción, tomando como bases las teorías de corte y doblado de metales, haciendo un análisis comparativo entre las características mecánicas de los materiales empleados tradicionalmente y los empleados en este proyecto y finalmente empleamos como guía las recomendaciones y criterios de diseño que se encuentran hoy en día en la literatura.

La correcta configuración y definición de dimensiones es parte de las ventajas que se tienen al utilizar paqueterías de diseño en 3D en las que no solo es posible hacer el diseño de las piezas, si no también la simulación dinámica que tiene el herramental armado, reduciendo el margen de falla de los componentes.

Para el desarrollo de este herramental fue necesario poner suma atención en aspectos críticos de diseño que determinan las dimensiones, el acabado de las piezas finales o bien un posible punto de falla del herramental, dentro de estos destacan: el espesor de las placas, la ubicación de las cavidades de corte o las que alojan los tornillos de sujeción, el ángulo de salida de las piezas, la holgura que existe entre los punzones y la matriz.

El resultado de todo este proceso de diseño fue un herramental capaz de entregarnos un destapador por cada golpe de la prensa, troquelado a partir de una tira de material de la cual también se realizó su diseño.

La relevancia que tiene esta tesis radica en que es posible llevar a cabo el diseño de un herramental bajo los criterios que dicta la corriente de “corridas cortas” en la cual se ha dejado de lado la idea de las grandes y robustas herramientas y se ha apostado por un diseño adaptado a la magnitud de producción y el empleo de los materiales adecuados para alcanzar estos estándares sin necesidad de sobrepasarlos.



Anexos

Anexo 1. Cortadores.



SÓLIDO CARBURO

Cortadores Verticales de Carburo Sólido con Cuello Largo 2 y 4 Gavilanes • Zanco Disminuido Una Punta

Corte al Centro • Hélice 30° • Derechos

F



ZANCO REDUCIDO EN .020"

El área del cuello sólido provee largo alcance con máxima rigidez

APLICACIONES:

- Diseñados especialmente para la industria de moldes y troqueles.
- Para el fresado de ranuras profundas en donde no se necesitan gavilanes largos.

VENTAJAS:

- El cuello está reducido en .020" para un mejor margen de espacio.
- Carburo micrograno con 10% de Cobalto.
- Tolerancia en zanco: -.0001" a -.0004"
- Tolerancia en diámetro: +.000"/-.002"

MEDIDA	DIAM. ZANCO	LARGO CORTE	LARGO TOTAL	LARGO CUELLO	2 GAVILANES		PRECIO UNIT.
					No. DE CATALOGO	No. DE CATALOGO	
1/8"	1/8"	5/8"	2"	3/8"	20-606-005	20-606-045	\$13.19
3/16	3/16	1	3	5/8	20-606-007	20-606-047	18.40
3/16	3/16	1	4	1-5/8	20-606-009	20-606-049	24.78
1/4	1/4	1	4	1-1/4	20-606-011	20-606-051	27.13
1/4	1/4	1-1/2	6	2-3/4	20-606-013	20-606-053	37.14
5/16	5/16	1	4	1-5/16	20-606-015	20-606-055	35.63
5/16	5/16	1-1/2	6	2-13/16	20-606-017	20-606-057	53.13
3/8	3/8	1	4	1-3/8	20-606-019	20-606-059	38.97
3/8	3/8	1-1/2	6	2-7/8	20-606-021	20-606-061	57.78
7/16	7/16	1	4	1-1/4	20-606-023	20-606-063	54.10
7/16	7/16	1-1/2	6	2-3/4	20-606-025	20-606-065	71.67
1/2	1/2	1	4	1	20-606-027	20-606-067	54.97
1/2	1/2	1-1/2	6	2-1/2	20-606-029	20-606-069	82.50
9/16	9/16	2	6	1-3/4	20-606-031	20-606-071	110.19
5/8	5/8	2	6	1-3/4	20-606-033	20-606-073	119.62
3/4	3/4	2	6	1-1/2	20-606-035	20-606-075	187.93
1	1	2	6	1-1/2	20-606-037	20-606-077	324.01



SÓLIDO CARBURO

Cortadores Verticales de Carburo Sólido con Cuello Largo 2 y 4 Gavilanes • Punta de Bola • Zanco Disminuido • Una Punta

Corte al Centro • Hélice 30° Derechos

F



ZANCO REDUCIDO EN .020"

El área del cuello sólido provee largo alcance con máxima rigidez

APLICACIONES:

- Diseñados especialmente para la industria de moldes y troqueles.
- Para el fresado de ranuras profundas en donde no se necesitan gavilanes largos.

VENTAJAS:

- El cuello está reducido en .020" para un mejor margen de espacio.
- Carburo micrograno con 10% de Cobalto.
- Tolerancia en zanco: -.0001" a -.0004"
- Tolerancia en diámetro: +.000"/-.002"

MEDIDA	DIAM. ZANCO	LARGO CORTE	LARGO TOTAL	LARGO CUELLO	2 GAVILANES		PRECIO UNIT.
					No. DE CATALOGO	No. DE CATALOGO	
1/8"	1/8"	5/8"	2"	3/8"	20-606-085	20-606-125	\$15.41
3/16	3/16	1	3	5/8	20-606-087	20-606-127	26.32
3/16	3/16	1	4	1-5/8	20-606-089	20-606-129	28.44
1/4	1/4	1	4	1-1/4	20-606-091	20-606-131	32.18
1/4	1/4	1-1/2	6	2-3/4	20-606-093	20-606-133	41.83
5/16	5/16	1	4	1-5/16	20-606-095	20-606-135	42.17
5/16	5/16	1-1/2	6	2-13/16	20-606-097	20-606-137	62.52
3/8	3/8	1	4	1-3/8	20-606-099	20-606-139	46.25
3/8	3/8	1-1/2	6	2-7/8	20-606-101	20-606-141	64.68
7/16	7/16	1	4	1-1/4	20-606-103	20-606-143	64.21
7/16	7/16	1-1/2	6	2-3/4	20-606-105	20-606-145	83.45
1/2	1/2	1	4	1	20-606-107	20-606-147	85.24
1/2	1/2	1-1/2	6	2-1/2	20-606-109	20-606-149	92.38
9/16	9/16	2	6	1-3/4	20-606-111	20-606-151	129.59
5/8	5/8	2	6	1-3/4	20-606-113	20-606-153	136.56
3/4	3/4	2	6	1-1/2	20-606-115	20-606-155	223.84
1	1	2	6	1-1/2	20-606-117	20-606-157	380.87

Fax sin Costo 01-800-7131-184 • Surtimos a toda la República





SÓLIDO CARBURO

Cortadores Verticales de Carburo Sólido con Recubrimiento TiAlN

Seis Gavilanes • Hélice 45° • Con Radio en las Esquinas

H



Excelente para maquinado en condiciones secas!

APLICACIONES:

- Ampliamente utilizado en la industria de moldes y troqueles.
- Ideal para cortes con altas velocidades en materiales templados o difíciles de maquinar.
- Excelente para durezas de 55 Rc

VENTAJAS:

- El radio de las esquinas proporciona una excelente fuerza al cortador.

TOLERANCIAS:

- Diámetro: +.000"/-.002"
- Zanco: +.0001" / -.0004"

MEDIDA	DIAM. ZANCO	LARGO CORTE	LARGO TOTAL	RADIO	No. DE CATALOGO	PRECIO UNIT.
1/8"	1/8"	1/2"	1-1/2"	.010"	09-510-700	\$19.47
3/16	3/16	5/8	2	.010	09-510-702	21.86
1/4	1/4	3/4	2-1/2	.015	09-510-704	29.75
5/16	5/16	13/16	2-1/2	.020	09-510-706	36.63
3/8	3/8	7/8	2-1/2	.020	09-510-708	50.79
1/2	1/2	1	3	.025	09-510-710	78.14
5/8	5/8	1-1/4	3-1/2	.030	09-510-712	138.45
3/4	3/4	1-1/2	4	.035	09-510-714	204.54
1	1	1-1/2	4	.035	09-510-716	336.88

TRIVERS Av. 5 de Febrero No. 1347-1 • QUERETARO, QRO. 76130 • Tel.(442) 209-6600



Cortadores Verticales Métricos de Carburo Recubiertos con AlTiN

4 Gavilanas • Corte al Centro • Angulo de 30°



APLICACIONES:

- Excelente rendimiento en la fabricación de moldes y troqueles
- Para maquinados de alta temperatura en Aceros, Titanios y aleaciones Níquel

VENTAJAS:

- Dureza: 80 Rc

TOLERANCIAS:

- Diámetro de Corte: +.000 / -.002mm
- Zanco: +.000 / -.012mm



MEDIDA	ZANCO	LARGO CORTE	LARGO TOTAL	No. DE CATALOGO	PRECIO UNIT.
1mm	3mm	3mm	38mm	20-501-700	\$17.69
1.5	3	5	38	20-501-702	17.69
2	3	6	38	20-501-704	15.36
2.5	3	7	38	20-501-706	15.36
3	3	12	38	20-501-708	14.36
3.5	4	12	38	20-501-710	20.43
4	4	14	50	20-501-712	19.99
4.5	5	14	50	20-501-714	21.19
5	5	16	50	20-501-716	21.19
6	6	19	63	20-501-718	24.40
7	8	19	63	20-501-720	32.45

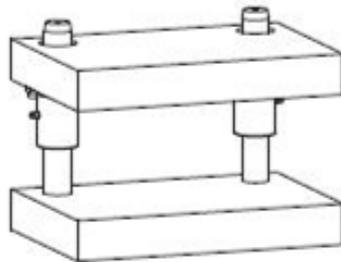
MEDIDA	ZANCO	LARGO CORTE	LARGO TOTAL	No. DE CATALOGO	PRECIO UNIT.
8mm	8mm	19mm	63mm	20-501-722	\$32.66
9	10	22	70	20-501-724	44.50
10	10	22	70	20-501-726	49.80
11	11	25	70	20-501-728	60.94
12	12	25	75	20-501-730	61.06
14	14	30	88	20-501-732	98.14
16	16	32	88	20-501-734	109.86
18	18	36	100	20-501-736	162.30
20	20	38	100	20-501-738	201.97
22	22	38	100	20-501-740	230.83
25	25	38	100	20-501-742	245.27

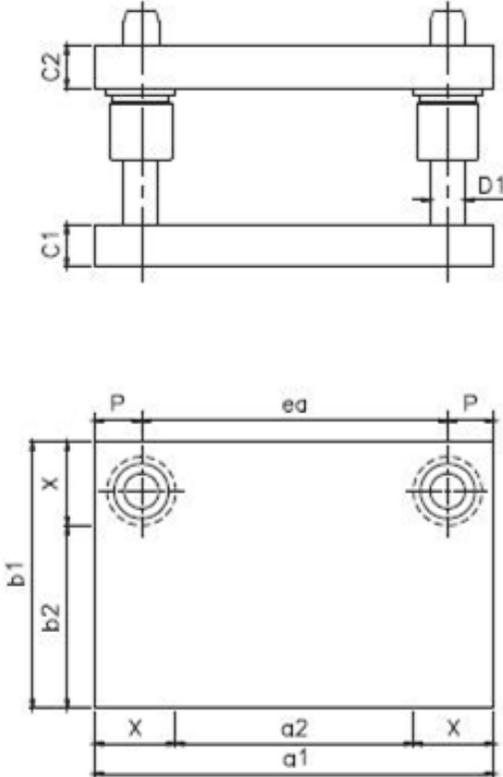
Anexo 2. Plano y tabla de dimensiones de porta troqueles comerciales.



Porta Troquel con Columnas
Traseras de Stock - Serie D70

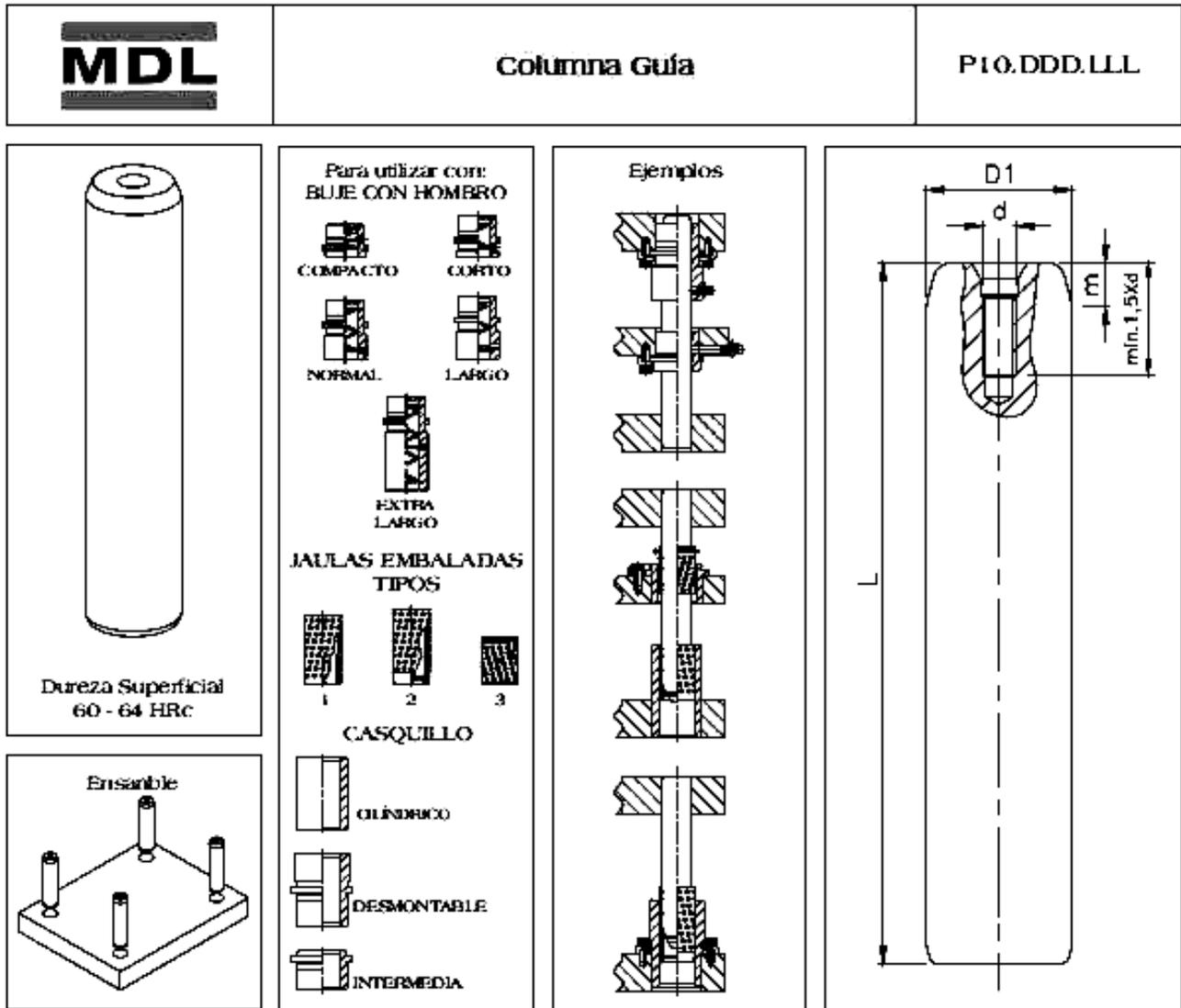
D70.a1a1a1.b1b1b1





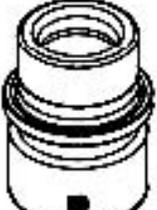
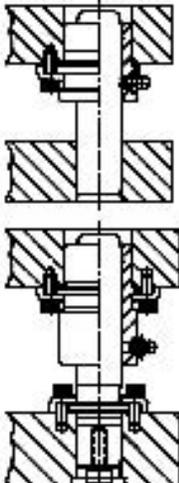
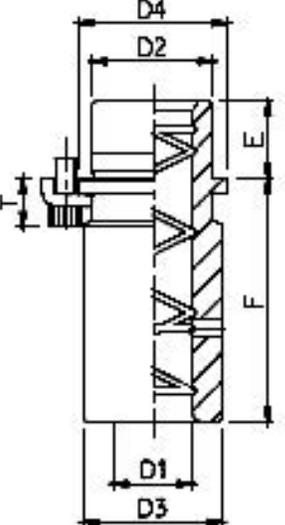
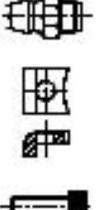
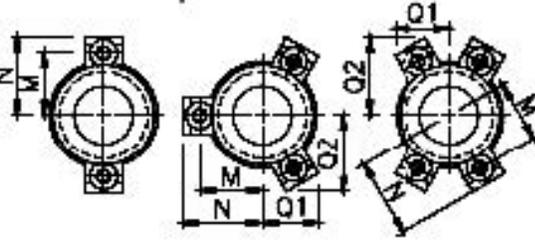
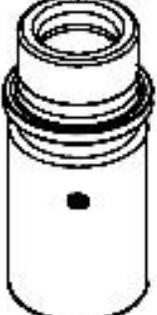
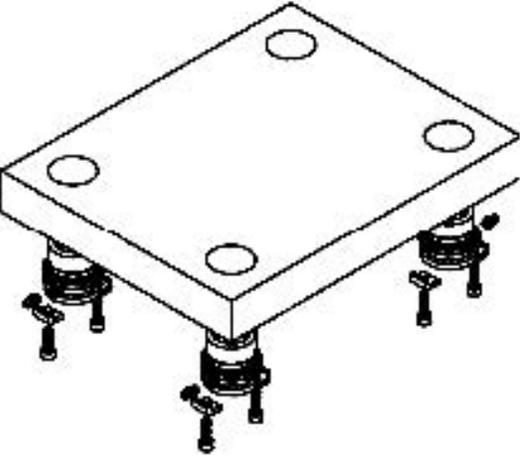
a ₁	b ₂	b ₁	a ₂	C ₁	C ₂	D ₁	NÚMERO DE CATÁLOGO
136 156 181	63	108	47,5 67,5 92,5	24	20	20	D70.136.108 D70.156.108 D70.181.108
178 203 238	80	143	53 78 113	30	24	25	D70.178.143 D70.203.143 D70.238.143
203 238 278	100	163	78 113 153				D70.203.163 D70.238.163 D70.278.163
246 286 336	125	195	106 146 196	39	30	32	D70.246.195 D70.286.195 D70.336.195
286 336	160	230	146 196				D70.286.230 D70.336.230
354	200	284	187	49	39	40	D70.354.284

Anexo 3.Plano y tabla de dimensiones de postes guía comerciales.



D _i	20	25	32	40	50	63	80*
L	NÚMERO DE CATÁLOGO						
100	P10.020.100	P10.025.100					
110	P10.020.110	P10.025.110	P10.032.110				
125	P10.020.125	P10.025.125	P10.032.125	P10.040.125			
140	P10.020.140	P10.025.140	P10.032.140	P10.040.140			
160	P10.020.160	P10.025.160	P10.032.160	P10.040.160	P10.050.160		
180	P10.020.180	P10.025.180	P10.032.180	P10.040.180	P10.050.180		
200	P10.020.200	P10.025.200	P10.032.200	P10.040.200	P10.050.200	P10.063.200	P10.080.200
220		P10.025.220	P10.032.220	P10.040.220	P10.050.220	P10.063.220	P10.080.220
250		P10.025.250	P10.032.250	P10.040.250	P10.050.250	P10.063.250	P10.080.250
280		P10.025.280	P10.032.280	P10.040.280	P10.050.280	P10.063.280	P10.080.280
315			P10.032.315	P10.040.315	P10.050.315	P10.063.315	P10.080.315
355				P10.040.355	P10.050.355	P10.063.355	P10.080.355
400					P10.050.400	P10.063.400	P10.080.400
450					P10.050.450	P10.063.450	P10.080.450
500							P10.080.500
d	M5	M6	M8	M10	M12	M16	M20
m	7,3	9,6	10,1	10,6	11,3	12,1	13,3

Anexo 4. Plano y tabla de dimensiones de bujes comerciales.

	Buje Desmontable		
 <p>BUJE DESMONTABLE CORTO</p>  <p>BUJE DESMONTABLE</p>	<p>Para trabajar con: COLUMNA</p>  <p>GUÍA</p>  <p>DESMONTABLE</p>	<p>Ejemplo</p> 	 <p>Diagrama de dimensiones con etiquetas: D4, D2, D1, D3, E, F, T.</p>
 <p>BUJE DESMONTABLE LARGO</p>	<p>Accesorios Incluidos</p> 	<p>Disposición de las Bridas</p>  <p>Diagrama de disposición de bridas con etiquetas: M, N, O1, O2.</p>	
 <p>BUJE DESMONTABLE EXTRA LARGO</p> <p>Dureza Superficial 60- 64 HRC.</p>	<p>Ensamble</p> 		

		Buje Desmontable						ACERO B11.DDD.FFF*
								RECUBRIMIENTO BRONCE B21.DDD.FFF*
D _i	20	25	32	40	50	63	80*	
F	BUJE DESMONTABLE CORTO							
16	B11.020.016							
	B21.020.016							
20		B11.025.020	B11.032.020	B11.040.020	B11.050.020	B11.063.020	B11.080.020	
		B21.025.020	B21.032.020	B21.040.020	B21.050.020	B21.063.020	B21.080.020	
F	BUJE DESMONTABLE							
32	B11.020.032							
	B21.020.032							
50		B11.025.050	B11.032.050	B11.040.050	B11.050.050	B11.063.050	B11.080.050	
		B21.025.050	B21.032.050	B21.040.050	B21.050.050	B21.063.050	B21.080.050	
F	BUJE DESMONTABLE LARGO							
75		B11.025.075	B11.032.075	B11.040.075	B11.050.075	B11.063.075	B11.080.075	
		B21.025.075	B21.032.075	B21.040.075	B21.050.075	B21.063.075	B21.080.075	

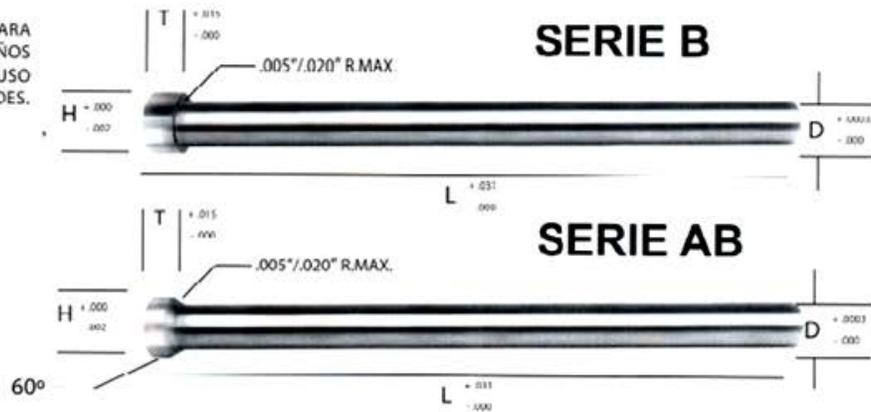
F	BUJE DESMONTABLE EXTRA LARGO						
100			B11.032.100	B11.040.100	B11.050.100	B11.063.100	B11.080.100
			B21.032.100	B21.040.100	B21.050.100	B21.063.100	B21.080.100
DIMENSIONES							
D ₁	28	38	45	54	65	81	100
D ₂	29	42	49	58	70	88	110
D ₃	32,5	47,0	54,0	63,0	75,0	93,0	115,0
E	18	22	25	30	35	48	
M	19,5	27,5	31,0	37,0	43,0	52,0	63,0
N	26,3	35,7	39,1	48,0	53,9	62,8	73,7
Q ₁	-	24,3	26,0	30,5	33,5	38,0	43,5
Q ₂	-	34,1	37,1	44,9	50,1	57,9	67,5
T	11,3	15,1		18,1			
GRASERA	B05.006.001						
BRIDAS	B01.005.000	B01.006.000		B01.008.000			
TORNILLOS	A05.005.012 (M5 X 12)	A05.006.016 (M6 X 16)		A05.008.020 (M8 X 20)			
CANTIDAD	2	3		4			

Anexo 5. Perno perforador de topes en la tira de material.

Perno Perforador Acero Alta Velocidad M2



ACERO ALTA VELOCIDAD M2 IDEAL PARA DISTRIBUCION EN ESPACIOS PEQUEÑOS PARA RECTIFICADO DE PRECISION USO FRFCLIFNTF ENTROQUELES Y MOLDES.



COMO ORDENAR			
CANTIDAD	CATALOGO NO.	DIA.	LONGITUD
75	AR-4	.078	2-1/2
60	B-17	.269	3

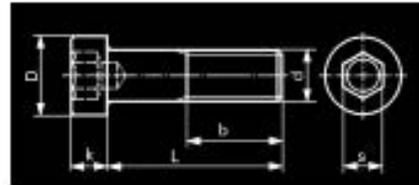
CATALOGO		D	H	T	L			
TIPO	TIPO	DIAMETRO	DIAMETRO	ESPESOR	LONGITUD			
AB	B	DEL CUERPO	DE CABEZA	DE CARBETA				
1/0	1/0	.025 - .029	.060	3/32	1-1/2	2		
1	1	.035 - .040	.070	3/32	1-1/2	2	2 1/2	
2	2	.041 - .055	.085	3/32		2	2-1/2	
3	3	.056 - .070	.100	3/32		2	2-1/2	
4	4	.071 - .085	.115	3/32		2	2-1/2	
5	5	.086 - .100	.130	3/32		2	2-1/2	3
6	6	.101 - .115	.145	3/32		2	2-1/2	3
7	7	.116 - .130	.160	3/32		2	2-1/2	3
8	8	.131 - .145	.175	3/32		2	2-1/2	3
9	9	.146 - .160	.190	3/32		2	2-1/2	3
10	10	.161 - .175	.205	1/8			2-1/2	3
11	11	.176 - .190	.220	1/8			2-1/2	3
12	12	.191 - .205	.235	1/8			2-1/2	3
13	13	.206 - .220	.250	1/8			2-1/2	3
14	14	.221 - .235	.265	1/8			2-1/2	3
15	15	.236 - .250	.280	1/8			2-1/2	3
16	16	.251 - .265	.295	1/8			2-1/2	3 3-1/2
17	17	.266 - .280	.310	1/8			2-1/2	3 3-1/2
18	18	.281 - .295	.325	1/8			2-1/2	3 3-1/2
19	19	.296 - .310	.340	1/8			2-1/2	3 3 1/2
20	20	.311 - .325	.355	3/16			2-1/2	3 3-1/2
21	21	.326 - .340	.370	3/16			2-1/2	3 3-1/2 4
22	22	.341 - .355	.385	3/16			2-1/2	3 3-1/2 4
23	23	.356 - .370	.400	3/16			2-1/2	3 3-1/2 4
24	24	.371 - .385	.415	3/16			2-1/2	3 3 1/2 4

Anexo 6. Tornillo DIN 6912.

[Return to chapter Index](#) | [Return to main fastener catalog Index](#) | [Return to Maryland Metrics home page](#)

A2

Socket head cap screws with low head, stainless steel with pilot recess



DIN 6912

d	M 4		M 5		M 6		M 8		
D	7		8,5		10		13		
b	14		16		18		22		
k	2,8		3,5		4		5		
s	3		4		5		6		
L	quantity	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000
8		46.50	35.50						
10		47.-	36.-	65.50	47.-				
12		49.50	38.55	67.-	48.50	72.-	51.-	124.-	93.-
16		49.80	38.80	52.50	41.-	65.-	46.50	121.-	89.-
20		50.-	39.10	55.-	43.20	68.-	48.-	113.-	83.50
25				60.50	47.55	75.-	53.-	108.-	80.-
30				70.-	50.-	79.50	59.-	113.50	84.-
35				75.50	53.50	87.50	67.-	124.-	91.-
40				82.-	59.-	99.50	73.50	137.-	101.-
45				93.50	71.-	118.-	87.50	159.-	118.-
50				106.-	85.-	130.-	96.50	178.-	131.-
60						165.-	129.-		
Reduced tightening and loads: refer to page T 25									

— Above dash-line: fully threaded

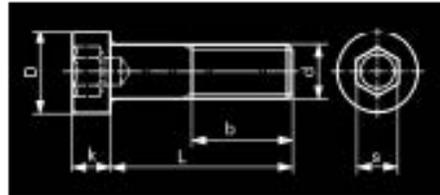
Maryland Metrics Fastener Catalog - Chapter C Owings Mills, MD 21117 USA

phones: (410)368-3130 (800)638-1830 faxes: (410)368-3142 (800)672-9329 e-mail: techinfo@mdmetrics.com
copyright 2003 maryland metrics/kyburz eh

[Return to chapter index](#) | [Return to main fastener catalog index](#) | [Return to Maryland Metrics home page](#)

A2

Socket head cap screws with low head, stainless steel with pilot recess



DIN 6912

d	M 10		M 12	
D	16		18	
b	26		30	
k	6,5		7,5	
s	8		10	
L quantity	100	1000	100	1000
16	202.-	167.-		
20	179.-	139.-		
25	210.-	171.-	270.-	210.-
30	225.-	186.-	276.-	214.-
35	235.-	196.-	298.-	231.-
40	260.-	218.-	308.-	239.-
45	275.-	229.-	364.-	282.-
50	290.-	244.-	372.-	290.-
70	382.-	316.-		
Reduced tightening and loads:				

---- Above dash-line: fully threaded
 Additional sizes see A4: page C 97

Maryland Metrics Fastener Catalog - Chapter C Owings Mills, MD 21117 USA

phones: (410)358-3130 (800)638-1830 faxes: (410)358-3142 (800)872-9329 e-mail: techinfo@mdmetric.com
 copyright 2003 maryland metrics/kyburz ch

Anexo 7. Aceros empleados.

AISI 1018 Steel, cold drawn

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Low Carbon Steel](#)

Material Medium low-carbon steel, has good weldability and slightly better machinability than the lower carbon steels.

Notes:

Key Words: carbon steels, AMS 5069, ASTM A108, UNS G10180, AS 1442 K1018 (Australia), AS 1443 K1018, CSN 12020 (Czech), CSN 12022, AFNOR NF A33-101 AF42C20, DIN 1.0453, DIN C16.8, DGN B-301 1018 (Mexico), COPANT 331 1018 (Pan America), COPANT 333 1018, MST.T (Russia), ST.20A, ST.3, ST.3T, GOST M18S, GOST 23570 18ps, GOST 23570 18sp, GOST 5520 18K, GOST 5521 S, NBN 629 D37-2 (Belgium), NBN 630 E37-1, NBN 630 E37-2, NBN A21-221 C17KD, BDS 9801 S (Bulgaria), GB 715 ML3 (China), TS 302 Fe35.2 (Turkey), TS 346 Fe35, BS 970 080A17, DEF STAN95-1-1 C1018

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	126	126	
Hardness, Knoop	145	145	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	71	71	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	131	131	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	440 MPa	63800 psi	
Tensile Strength, Yield	370 MPa	53700 psi	
Elongation at Break	15.0 %	15.0 %	In 50 mm
Reduction of Area	40.0 %	40.0 %	
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel
Poissons Ratio	0.290	0.290	Typical For Steel
Machinability	70 %	70 %	Based on AISI 1212 steel. as 100% machinability
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000159 ohm-cm	0.0000159 ohm-cm	annealed condition; 0°C (32°F)
	0.0000219 ohm-cm @Temperature 100 °C	0.0000219 ohm-cm @Temperature 212 °F	annealed condition
	0.0000293 ohm-cm @Temperature 200 °C	0.0000293 ohm-cm @Temperature 392 °F	annealed condition
Thermal Properties	Metric	English	Comments
Specific Heat Capacity	0.486 J/g-°C	0.116 BTU/lb-°F	annealed; 50-100°C (122-212°F)
Thermal Conductivity	51.9 W/m-K	360 BTU-in/hr-ft ² -°F	estimated based on similar materials
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.14 - 0.20 %	0.14 - 0.20 %	
Iron, Fe	98.81 - 99.26 %	98.81 - 99.26 %	As remainder
Manganese, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

AISI 1045 Steel, as cold drawn, 32-50 mm (1.25-2 in) round

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [AISI 1000 Series Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

Material Notes: Respond to heat treatment, and flame and induction hardening, but not recommended for carburizing or cyaniding. Die forging and hot upsetting are good to excellent. Typical uses include gears, shafts, axles, bolts, studs, and machine parts. AISI cross reference for JIS S45C and KS SM45C.

Key Words: AFNOR NF A35-553 XC45, AFNOR NF A35-554 XC48, DIN 1654 1.1192, DIN 1654 Cq45, DIN 17200 1.0503, AFNOR XC42, AFNOR XC42TS, AFNOR XC48TS, AFNOR NF A33-101 AF65C45, AFNOR NF A35-552 XC48H1, UNS G10450, ASTM A29, ASTM A108, ASTM A266 Class 3, ASTM A304, ASTM A311, ASTM A510, ASTM A519, AS 1442 K1045 (Australia), AS 1442 S1045, AS 1443 K1045, AS 1443 S1045, AS 1446 K1045, AS 1446 S1045, ASTM A568, ASTM A576, ASTM A682, ASTM A827, ASTM A830, FED QQ-S-635, FED QQ-S-700, FED QQ-W-461, MIL S-24093, MIL S-3039, BDS 6354 45G2A, BDS 6354 45G2K2, BDS 6354 45G2K3, GB 3078 45 (China), GB 3088 45, GB 699 45, YB 6 45B, DIN 17200 1.1191, DIN 17200 1.1201, DIN 17200 C45, DIN 17200 CK45, DIN 17200 Cm45, DIN 17200 GS-CK45, DIN 17212 1.1193, FED QQ-S-635 (C1045), FED QQ-S-700 (C1045), SAE J403, SAE J412, SAE J414, DIN 1.1191, JIS S 48 C, SS14 1672 (Sweden), MIL S-46070, SAE J1397, SAE J403, SAE J412, BS 970 Part 1 O60A47 (U.K), BS 970 Part 1 O80A47, BS 970 Part 1 O80M46, NBN 253-02 C45-3, NBN 253-06 C46, BDS 3492 45LI (Bulgaria), BDS 3492 45LII, BDS 3492 45LIII, BDS 5785 45, BDS 6354 45G2, ONORM M3108 C45SW (Austria), ONORM M3110 RC45, ONORM M3161 C45, NBN 253-02 C45-1 (Belgium), NBN 253-02 C45-2

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.87 g/cc	0.284 lb/in ³	Typical for steel.
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Brinell	179	179	
Hardness, Knoop	200	200	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	88	88	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	188	188	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	585 MPa	84800 psi	
Tensile Strength, Yield	515 MPa	74700 psi	
Elongation at Break	10.0 %	10.0 %	in 50 mm
Reduction of Area	30.0 %	30.0 %	
Modulus of Elasticity	200 GPa	29000 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel.
Poissons Ratio	0.290	0.290	Typical For Steel
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel.
Electrical Properties	Metric	English	Comments
Electrical Resistivity	0.0000162 ohm-cm	0.0000162 ohm-cm	annealed specimen; 0°C (32°F)
	0.0000223 ohm-cm @Temperature 100 °C	0.0000223 ohm-cm @Temperature 212 °F	annealed specimen
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	11.2 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 100 °C	6.22 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 212 °F	
	11.5 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	6.39 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	11.9 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 200 °C	6.61 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 392 °F	
	12.2 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 200 °C	6.78 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 392 °F	
	12.6 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 300 °C	7.00 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 572 °F	
	13.0 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 300 °C	7.22 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 572 °F	
	13.5 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 400 °C	7.50 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 752 °F	
	13.7 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 400 °C	7.61 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 752 °F	
	14.0 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 500 °C	7.78 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 932 °F	
	14.0 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 500 °C	7.78 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 932 °F	
	14.4 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 600 °C	8.00 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 1110 °F	
	14.6 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 600 °C	8.11 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 1110 °F	
	14.8 µm/m-°C @Temperature 25.0 - 700 °C	8.22 µin/in-°F @Temperature 77.0 - 1290 °F	
	15.1 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 700 °C	8.39 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 1290 °F	
Specific Heat Capacity	0.486 J/g-°C	0.116 BTU/lb-°F	annealed; 50-100°C (122-212°F)
Thermal Conductivity	51.9 W/m-K	360 BTU-in/hr-ft ² -°F	Typical steel

AISI 1045 Steel, as cold drawn, 32-50 mm (1.25-2 in) round

Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.420 - 0.50 %	0.420 - 0.50 %	
Iron, Fe	98.51 - 98.98 %	98.51 - 98.98 %	As remainder
Manganese, Mn	0.60 - 0.90 %	0.60 - 0.90 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Sulfur, S	<= 0.050 %	<= 0.050 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

AISI 3140

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [Carbon Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

Material Notes: A medium carbon low alloy steel.

Key Words: AISI 3140, UNS G31400, SAE 3140 (obsolete), SAE J775(93), ASTM A519(96)

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	ASTM D792
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Tensile Strength, Ultimate	790 MPa	115000 psi	ASTM D638
Tensile Strength, Yield	520 MPa	75400 psi	ASTM D638
Elongation at Break	25.0 %	25.0 %	ASTM D638
Machinability	55 %	55 %	as compared to AISI 1112 steel with a machinability rating of 100.
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	0.380 - 0.430 %	0.380 - 0.430 %	
Chromium, Cr	0.55 - 0.75 %	0.55 - 0.75 %	
Manganese, Mn	0.70 - 0.90 %	0.70 - 0.90 %	
Nickel, Ni	1.10 - 1.40 %	1.10 - 1.40 %	
Phosphorous, P	<= 0.040 %	<= 0.040 %	
Silicon, Si	0.15 - 0.35 %	0.15 - 0.35 %	
Sulfur, S	<= 0.040 %	<= 0.040 %	

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

AISI 4140 Steel, oil quenched, 50 mm (2 in.) round (845°C (1550°F) quench, 595°C (1100°F) temper)

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Alloy Steel](#); [AISI 4000 Series Steel](#); [Low Alloy Steel](#); [Carbon Steel](#); [Medium Carbon Steel](#)

Material**Notes:**

Key Words: ASTM A322, ASTM A331, ASTM A505, ASTM A519, ASTM A646, B.S. 708 A 42 (UK), B.S. 708 M 40 (UK), B.S. 709 M 40 (UK), JIS SCM 4 H, JIS SCM 4, SS14 2244 (Sweden), MIL SPEC MIL-S-16974, SAE J404, SAE J412, SAE J770, DIN 1.7225, UNS G41400, AMS 6381, AMS 6382, AMS 6390, AMS 6395, IS 1570 40Cr1Mo28, IS 4367 40Cr1Mo28, IS 5517 40Cr1Mo28

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.85 g/cc	0.284 lb/in ³	
Mechanical Properties			
Hardness, Brinell	262	262	
Hardness, Knoop	287	287	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell B	98	98	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Rockwell C	26.0	26.0	Converted from Brinell hardness.
Hardness, Vickers	276	276	Converted from Brinell hardness.
Tensile Strength, Ultimate	883 MPa	128000 psi	
Tensile Strength, Yield	710 MPa	103000 psi	
Elongation at Break	21.7 %	21.7 %	in 50 mm
Reduction of Area	65.0 %	65.0 %	
Modulus of Elasticity	205 GPa	29700 ksi	Typical for steel
Bulk Modulus	140 GPa	20300 ksi	Typical for steel.
Poissons Ratio	0.290	0.290	Calculated
Machinability	65 %	65 %	Based on AISI 1212 as 100% machinability.
Shear Modulus	80.0 GPa	11600 ksi	Typical for steel.
Electrical Properties			
Electrical Resistivity	0.0000220 ohm-cm	0.0000220 ohm-cm	specimen hardened and tempered; 20°C (68°F)
	0.0000263 ohm-cm @Temperature 100 °C	0.0000263 ohm-cm @Temperature 212 °F	specimen hardened and tempered
	0.0000326 ohm-cm @Temperature 200 °C	0.0000326 ohm-cm @Temperature 392 °F	specimen hardened and tempered
	0.0000475 ohm-cm @Temperature 400 °C	0.0000475 ohm-cm @Temperature 752 °F	specimen hardened and tempered
	0.0000646 ohm-cm @Temperature 600 °C	0.0000646 ohm-cm @Temperature 1110 °F	specimen hardened and tempered
Thermal Properties			
CTE, linear 	12.2 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 100 °C	6.78 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 212 °F	
	13.7 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 400 °C	7.61 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 752 °F	
	14.6 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 600 °C	8.11 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 1110 °F	
Specific Heat Capacity 	0.473 J/g-°C @Temperature 150 - 200 °C	0.113 BTU/lb-°F @Temperature 302 - 392 °F	
	0.519 J/g-°C @Temperature 350 - 400 °C	0.124 BTU/lb-°F @Temperature 662 - 752 °F	
	0.561 J/g-°C @Temperature 550 - 600 °C	0.134 BTU/lb-°F @Temperature 1020 - 1110 °F	
Thermal Conductivity 	42.6 W/m-K @Temperature 600 °C	296 BTU-in/hr-ft ² -°F @Temperature 1110 °F	100°C
	33.0 W/m-K @Temperature 400 °C	229 BTU-in/hr-ft ² -°F @Temperature 752 °F	
	37.7 W/m-K @Temperature 200 °C	262 BTU-in/hr-ft ² -°F @Temperature 392 °F	
	42.2 W/m-K @Temperature 200 °C	293 BTU-in/hr-ft ² -°F @Temperature 392 °F	
Component Elements Properties			
Carbon, C	0.380 - 0.430 %	0.380 - 0.430 %	
Chromium, Cr	0.80 - 1.10 %	0.80 - 1.10 %	
Iron, Fe	96.785 - 97.77 %	96.785 - 97.77 %	As remainder
Manganese, Mn	0.75 - 1.0 %	0.75 - 1.0 %	
Molybdenum, Mo	0.15 - 0.25 %	0.15 - 0.25 %	
Phosphorous, P	<= 0.035 %	<= 0.035 %	

AISI 4140 Steel, oil quenched, 50 mm (2 in.) round (845°C (1550°F) quench, 595°C (1100°F) temper)

Silicon, Si	0.15 - 0.30 %	0.15 - 0.30 %
Sulfur, S	<= 0.040 %	<= 0.040 %

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.

AISI Type D2 Tool Steel, air-quenched from 1010°C, tempered at 450°C

Categories: [Metal](#); [Ferrous Metal](#); [Carbon Steel](#); [High Carbon Steel](#); [Tool Steel](#); [Cold Work Steel](#)

Material Notes:

Key Words: high carbon, high chromium; UNS T30402

Vendors: No vendors are listed for this material. Please [click here](#) if you are a supplier and would like information on how to add your listing to this material.

Physical Properties	Metric	English	Comments
Density	7.70 g/cc	0.278 lb/in ³	
Mechanical Properties	Metric	English	Comments
Hardness, Knoop	682	682	Converted from Rockwell C hardness.
Hardness, Rockwell C	58	58	
Hardness, Vickers	661	661	
Izod Impact Unnotched	63.0 J	46.5 ft-lb	
Thermal Properties	Metric	English	Comments
CTE, linear 	10.5 µm/m-°C @Temperature 20.0 - 100 °C	5.83 µin/in-°F @Temperature 68.0 - 212 °F	
	11.8 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 300 °C	6.56 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 572 °F	
	12.5 µm/m-°C @Temperature 0.000 - 500 °C	6.94 µin/in-°F @Temperature 32.0 - 932 °F	
Processing Properties	Metric	English	Comments
Processing Temperature	205 - 540 °C	401 - 1000 °F	Tempering Temperature
	980 - 1025 °C	1800 - 1877 °F	Hardening Temperature
Annealing Temperature	870 - 900 °C	1600 - 1650 °F	
Component Elements Properties	Metric	English	Comments
Carbon, C	1.40 - 1.60 %	1.40 - 1.60 %	
Chromium, Cr	11.0 - 13.0 %	11.0 - 13.0 %	
Cobalt, Co	<= 1.0 %	<= 1.0 %	
Manganese, Mn	<= 0.60 %	<= 0.60 %	
Molybdenum, Mo	0.70 - 1.20 %	0.70 - 1.20 %	
Phosphorous, P	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Silicon, Si	<= 0.60 %	<= 0.60 %	
Sulfur, S	<= 0.030 %	<= 0.030 %	
Vanadium, V	<= 1.10 %	<= 1.10 %	

[References](#) for this datasheet.

Some of the values displayed above may have been converted from their original units and/or rounded in order to display the information in a consistent format. Users requiring more precise data for scientific or engineering calculations can click on the property value to see the original value as well as raw conversions to equivalent units. We advise that you only use the original value or one of its raw conversions in your calculations to minimize rounding error. We also ask that you refer to MatWeb's [terms of use](#) regarding this information. [Click here](#) to view all the property values for this datasheet as they were originally entered into MatWeb.



Bibliografía
y
Mesografía.

- DeGarmo E. Paul: *Materiales y procesos de fabricación*
España: Reverté S. A., 1994
Pp. 1255.
- Florit Antonio *Fundamentos de matricería. Corte y punzonado.*
Barcelona: CEAC, 2005.
Pag. 281
- Gerling Heinrich: *Moldeo y conformación.*
España: Reverté S. A., 1979
Pag. 124
- Groover Mikell P. *Fundamentos de manufactura moderna.*
México: Prentice Hall, 1997
Pp. 1062.
- López Navarro Tomás *Troquelado y estampación.*
Barcelona: Gustavo Gili, S. A., 1964
Pag. 19
- Kalpakjian Serope: *Manufactura, ingeniería y tecnología.*
México: Pearson, 2002
Pag. 1176.
- Paquin J. R: *Die design fundamentals*
New York: Industrial Press Inc., 2005
Pag. 256.
- Rubio Rodriguez Saul: *Estructura básica del herramental de doblado.*
CDESI: Centro de Ingeniería y Desarrollo Industrial, 2008
- Scharer U., Rico J. A., Cruz J.: *Ingeniería de Manufactura.*
México: C.E.C.S.A., 1984.
Pp. 735.
- F. Krar Steve, F. Check Albert: *Tecnología de las maquinas herramientas*
México: Alfaomega, 2002.
Pag. 869
- Gerling Heinrich: *Alrededor de las maquinas herramientas:*
España: Reverte, 1979.
Pag. 226.

Mesografía.

<http://www.ingefraf.es/XVIII/PDF/Comunicacion17072.pdf>

<http://metalactual.com/revista/12/procesostroquelado.pdf>

<http://intraremington.remington.edu.co/admon/maqvap.htm>

<http://asusta2.com.ar/2008/07/04/las-cuevas-de-altamira/>

<http://www2.ing.puc.cl/~icm2312/apuntes/materiales/materials6-2.html>

http://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm13/pfcm13_2_2.html

http://www.google.com.mx/imgres?imgurl=http://www.bujesdepereira.com/images/FUNDICION_edit.jpg&imgrefurl=http://www.bujesdepereira.com/page5.html&usq=__kgQkzCyeWRwIIYCgwIshgOgbtg=&h=2112&w=2816&sz=163&hl=es&start=0&sig2=mwWpw1wlfO8AIHJ7qKfF2Q&zoom=1&tbid=8GmiPCZdAMV1zM:&tbnh=128&tbnw=170&ei=2MSzTJ4G5GusAOYqYCSCA&prev=/images%3Fq%3Dfundicion%26um%3D1%26hl%3Des%26sa%3DN%26biw%3D1280%26bih%3D709%26tbs%3Disch:1&itbs=1&iact=hc&vpx=729&vpy=389&dur=872&hovh=194&hovw=259&tx=154&ty=76&oei=2MSzTJ-4G5GusAOYqYCSCA&esq=1&page=1&ndsp=28&ved=1t:429,r:18,s:0

<http://www.tienda-medieval.com/blog/wp-content/uploads/2010/07/rough-forging1.jpg>

http://www.google.com/imgres?imgurl=http://4.bp.blogspot.com/_bu2XSKG9BmU/TBeM7kucOoI/AAAAAABO4/p3bzH3BVvcg/s1600/taller%2Bde%2Bforja.jpg&imgrefurl=http://miqueldiaz.blogspot.com/&usq=__g8b6F0GM3bu3OgzaWXgYbMkxdt4=&h=530&w=800&sz=99&hl=es&start=0&sig2=YBHoIx44qudh0gKfbOmcPA&zoom=1&tbnid=JxGbt8SJ236iUM:&tbnh=130&tbnw=167&ei=yLRnTbuzGIODlgeR5qmDAg&prev=/images%3Fq%3Dtaller%2Bde%2Bforja%26hl%3Des%26sa%3DG%26biw%3D1280%26bih%3D709%26gbv%3D2%26tbs%3Disch:1&itbs=1&iact=hc&vpx=643&vpy=229&dur=2016&hovh=183&hovw=276&tx=178&ty=98&oei=yLRnTbuzGIODlgeR5qmDAg&page=1&ndsp=24&ved=1t:429,r:9,s:0

<http://metalactual.com/revista/12/procesostroquelado.pdf>

<http://www.iqsac.com.pe/metales-estano-zinc-plomo-bronce-babbit-bismuto.php>

<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>

<http://www.wordreference.com/definicion/bru%C3%B1ido>

<http://www.amtrim.com.mx/spanish/Brake.aspx>

<http://pslc.ws/spanish/composit.htm>

http://books.google.com/books?id=9spxsIXtlCIC&pg=PA76&dq=proceso+de+doblado&hl=es&ei=Skt nTcX9NsfYgQfboe3LCg&sa=X&oi=book_result&ct=bookthumbnail&resnum=6&ved=0CEQQ6wEwBQ#v=onepage&q=proceso%20de%20doblado&f=false

http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Fresadora_vertical.JPG

<http://www.tommynielsen.mx/images/imagenes%20mar%202010/torneado%20flecha.jpg>

<http://www.alegsa.com.ar/Definicion/de/chaflan.php>

http://es.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_Poisson

http://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Docencia/elasticidad1.pdf

<http://es.wikipedia.org/wiki/ASTM>

<http://es.thefreedictionary.com/mella>

http://www.ferrecatalogo.com/resultados_maquina.php?Maquina=Guillotinas%20Cizallas%20Manuales%20para%20laminas%20DO020%204%20pies%20Calibre%2018&Button1=Maquina

<http://www.maquinariahernando.com/Imagenes/Productos/fotos%20maq%20varias%201599.jpg>

http://www.lamrito.com/fotos_web/PRENSA%20HIDRAULICA%20EMBUTICION%20150T.JPG

http://www.maquinariaeuropea.com/attachments/Image/MC_LANE/SIER5RA_CINTA_9X16.JPG

http://s3.amazonaws.com/picable/2009/07/31/1222747_Torno-Paralelo_620.jpg

http://www.stockphotos.mx/image.php?img_id=9384124&img_type=1

<http://www.sanic.org/sitio/index.php/segmentos-de-mercado/manufactura>

http://profile.ak.fbcdn.net/hprofile-ak-snc4/187899_282405492457_4549872_n.jpg

<http://depa.fquim.unam.mx/csa/Imagen/escudoUNAMb&n3D.gif>

<http://us.123rf.com/400wm/400/400/ihor/ihor1009/ihor100900085/7899057-el-proceso-de-forja.jpg>

<http://materias.fcyt.umss.edu.bo/tecno-II/PDF/cap-33.pdf>

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/castellanos_d_ce/capitulo4.pdf

<http://macareno.mx/wp-content/uploads/2011/08/corte-angulo.gif>