

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA
ENERGIA Y MECANICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO
MECANICO**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS MATRICES DE CORTE Y
EMBUTICION RECTANGULAR PARA SER UTILIZADA EN LA
PRENSA HIDRAULICA DE 60 TONELADAS DEL DECEM - LMH**

Desarrollado por:

RAFAEL ALEJANDRO LOZA DUEÑAS

MIGUEL ANGEL MORA TIPAN

DIRECTOR: ING. JOSE GUASUMBA

CODIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA

Sangolquí, 2009- 06 - 25

**CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL
PROYECTO**

El proyecto “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS MATRICES DE CORTE Y EMBUTICION RECTANGULAR PARA SER UTILIZADA EN LA PRENSA HIDRAULICA DE 60 TONELADAS DEL DECEM - LMH” fue realizado en su totalidad por Rafael Alejandro Loza Dueñas y Miguel Ángel Mora Tipán, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. José Guasumba

DIRECTOR

Ing. Pablo Figueroa

CODIRECTOR

Sangolquí, 2009-06-25

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE DOS MATRICES DE CORTE Y
EMBUTICION RECTANGULAR PARA LA PRENSA HIDRAULICA
DE 60 TON. DEL LMH DEL DECEM”**

ELABORADO POR:

Alejandro Loza Dueñas

Miguel Mora Tipán

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Ing. Emilio Tumipamba

Coordinador de la carrera de Ingeniería Mecánica

Sangolquí, 2009-06-25

DEDICATORIA

El desarrollo del presente proyecto lo dedico a mi familia, a mi novia y amigos allegados. Con especial atención a mi madre por su sacrificio y motivación incondicionales, a mi padre por ser mi soporte durante mi formación estudiantil y a mis hermanos por el apoyo moral y espiritual a cada momento.

Alejandro Loza

DEDICATORIA

A Dios y María madre santísima, que siempre han sido mi luz, el sendero de mi camino, la fe en la lucha, la fuerza en los momentos de adversidad y la esperanza de un mañana promisorio.

A mis queridos padres: Lino y Beatriz, por sus consejos, su cariño, su comprensión, enseñanzas de vida y por el apoyo incondicional para la realización de este proyecto.

A mi hermano Pablo: por su apoyo, ayuda incondicional y su sincero interés en la feliz realización de todo el proyecto.

A mi novia Cinty: mi compañera, mi amiga, mi apoyo, por su sincera ayuda, apoyo incondicional en cada momento y por haber compartido a mi lado este proceso universitario.

A toda mi familia: Tíos y primos, por su apoyo moral, quienes se han mantenido en constante expectativas del desarrollo de este proyecto.

A la Escuela Politécnica del Ejército en especial al Departamento de Ingeniería Mecánica: Cuna de mi formación profesional y testigo vivencial de una etapa inolvidable de mi vida.

Miguel Angel Mora Tipán

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradecemos a Dios por la salud, la vida y la oportunidad de culminar de la mejor manera estos años de estudio. A nuestras familias por el sacrificio y apoyo incondicional. A la Escuela Politécnica Del Ejército y sus catedráticos por habernos brindado las herramientas necesarias para adquirir el conocimiento. Al Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica D.E.C.E.M, por darnos la oportunidad de elaborar nuestro proyecto de grado. Al Ing. José Guasumba, Ing. Ernesto Pablo figueroa, y a todas las personas que facilitaron el desarrollo del mismo.

Alejandro Loza y Miguel Mora

INDICE GENERAL

GENERALIDADES.....	1
1.1. Antecedentes.....	1
1.2. Definición del Problema.....	2
1.3. Objetivos.....	3
1.3.1. Objetivo General.....	3
1.3.2. Objetivos Especificos.....	3
1.4. Alcance.....	3
1.5. Justificación e Importancia.....	4
MARCO TEORICO.....	5
2.1. Definiciones.....	5
2.2. Procesos de Conformado Mécanico.....	7
2.2.1. Corte.....	10
2.2.2. Extrusión.....	14
2.2.3. Embutición.....	16
2.3. Velocidades de Corte.....	22
2.4. Juegos para el Punzón y Matriz.....	23
2.4.1. Juego en el proceso de Corte.....	23
2.4.2. Juego en el proceso de Embutición.....	25
2.5. Tolerancias de Fabricación.....	25
2.5.1. Tolerancia de corte.....	25
2.6. Presión de Aplastamiento.....	27
CONFORMADO MECÁNICO DE MATRICERÍA.....	30
3.1. Características de los materiales.....	30
3.1.1. Aspectos técnicos de los aceros de herramientas para trabajo en frío....	32
3.1.2. Propiedades de los aceros de herramientas para trabajo en frío.....	32
3.2. Materiales para herramientas.....	33
3.3. Materiales para chapa.....	36
3.4. Procesos de Producción.....	38
3.4.1. Torneado.....	38
3.4.2. Fresado.....	47
3.4.3. Rectificado.....	56
3.4.4. Acabados superficiales.....	59
3.4.5. Nuevas Tecnologías de Producción.....	61

3.5.	Tratamientos	68
3.5.1.	Térmicos.....	68
3.5.2.	Termoquímicos.....	70
	PRENSAS	72
4.1.	Prensas de accionamiento manual	72
4.1.1.	Prensas de Husillo.....	73
4.1.2.	Prensas de Palanca	74
4.2.	Prensas Neumáticas	74
4.2.1.	Prensas Neumáticas de Simple efecto.....	75
4.2.2.	Prensas neumáticas de Doble acción	75
4.3.	Prensas Hiraulicas	75
4.3.1.	Prensas hiraulicas de Simple efecto.....	76
4.3.2.	Prensas hidraulicas de Doble acción.....	76
4.3.3.	Prensas Hidraulicas de Triple Efecto.....	77
4.4.	Prensas de Volante de Inercia	78
4.5.	Prensas Mecánicas.....	80
4.5.1.	Prensas mecánicas de Simple efecto.....	81
4.5.2.	Prensas mecánicas de Doble efecto	83
	ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN EN LA PRENSA DE 60 TONELADAS	86
5.1.	Matriz de Corte	86
5.1.1.	Clasificación	87
5.1.2.	Análisis de Alternativas	88
5.1.3.	Selección.....	89
5.2.	Matriz de Embutición.....	90
5.2.1.	Análisis de Alternativas de Solución.....	90
5.2.2.	Selección.....	91
5.3.	Mecanismo de Acoplamiento.....	91
5.4.	Dimensionamiento	91
5.4.1.	Matriz de Corte.....	92
5.4.2.	Matriz de Embutición	92
5.5.	Capacidad de Producción	92
5.5.1.	Matriz de Corte.....	93
	DISEÑO	94
6.1.	Tira de Material	94

6.1.1.	Chapa Metálica.....	94
6.1.2.	Pieza Recortada.....	94
6.1.3.	Recorte Interior.....	96
6.2.	Tira de Recorte	96
6.3.	Selección de la Prensa	97
6.4.1.	Placa Matriz.....	98
6.4.2.	Punzón de Forma.....	101
6.4.3.	Punzones Perforadores.....	103
6.4.4.	Resistencia al Pandeo.....	105
6.4.5.	Placas Portapunzones.....	106
6.4.6.	Placa Expulsora.....	107
6.4.7.	Punzón de Avance Automáticos.....	109
6.4.8.	Elementos de Unión	110
6.4.9.	Armazón	114
6.5.	Matriz de Embutición.....	118
6.5.1.	Placa Matriz.....	118
6.5.2.	Punzón de Embutición.....	120
6.5.3.	Conjunto Expulsor	121
6.5.4.	Elementos de Unión	121
6.5.5.	Armazón	123
6.6.	Fuerzas de embutición.....	124
6.7.	Mecanismo de Acoplamiento	124
6.7.1.	Bridas	124
6.7.2.	Pernos	125
6.7.3.	Principios de Funcionamiento	125
6.8.	Tecnología CAD-CAM aplicada al diseño de las matrices	126
6.8.1.	Electroerosión	126
6.8.2.	Electrohilo.....	127
	CONSTRUCCION Y PRUEBAS	129
7.1.	Listado de Materiales y Especificaciones.....	129
7.1.1.	Matriz de corte.....	129
7.1.2.	Matriz de Embutición	130
7.2.	Hojas de Procesos de Fabricación.....	130
7.3.	Planos de Construcción	130

7.4.	Análisis en Solidworks	130
7.5.	Planos de Montaje	131
7.6.	Montaje de los Componentes mecánicos	131
7.7.	Manual de Usuario.....	131
7.8.	Hojas de Pruebas.....	131
7.8.1.	Cajetín Modelo	132
7.8.2.	Inspección en el Proceso de Corte.....	133
7.8.3.	Inspección en el Proceso de Embutición.....	134
7.9.	Criterios de Seguridad	135
7.10.	Datos de Pruebas, Análisis y Validación.....	135
7.10.1.	Datos de Pruebas.....	135
7.10.2.	análisis de datos.....	136
7.10.3.	Validación de Resultados	138
	ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO	139
8.1.	Costo del Proyecto.....	139
8.1.1.	Materiales.....	139
8.1.2.	Mano de Obra	140
8.1.3.	Costo total de la obra	141
8.2.	Recuperación de la Inversión.....	141
8.2.1.	Depreciación	141
8.2.2.	Costo del Consumo de Energía	141
8.2.3.	Costo por Cajetín.....	141
8.3.	PRI, VAN y TiR	142
8.3.1.	PRI (Periodo de retorno de la inversión)	142
8.3.2.	Tasa de Descuento	143
8.3.3.	Análisis de Decisión de VAN y TIR.....	143
	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
9.1.	Conclusiones	145
9.2.	Recomendaciones	146
	BIBLIOGRAFÍA	147
9.2.1.	referencias bibliograficas	147
9.2.2.	direcciones de internet	147
9.2.3.	Tesis.....	147
	ANEXOS	148

INDICE DE FIGURAS

ORDEN	CONTENIDO	PAG
2-1	Ejemplo de matriz de corte	10
2-2	Esquema de la penetración inicial del punzón	11
2-3	Esquema de extracción del recorte de la chapa	11
2-4	Esquema del proceso de corte por punzonado.....	12
2-5	Conformados realizados por medio del proceso de extrusión	14
2-6	Esquema de extrusión en tres fases.....	15
2-7	Demostración del proceso de embutido.....	17
2-8	Algunas fases durante la operación de embutido.	17
2-9	Esquema de una caja de base rectangular.....	20
2-10	Forma del recipiente para obtener el Diámetro del disco D	21
2-12	Posición relativa de las grietas según el juego	24
2-13	Características del borde con juego excesivo e insuficiente	24
2-14	Tolerancia de corte correcta	26
2-15	Tolerancia de corte excesiva	27
2-16	Corte con tolerancia insuficiente	27
2-17	Partícula P, de un cuerpo metálico sometido a fuerzas exteriores.	28
3-1	Acero AISI D2	35
3-2	Torneado	38
3-3	Partes de un Torno	40
3-4	Torneado Exterior	40
3-5	Torneado interior	41
3-6	Torno paralelo	41
3-7	Torno Vertical	43
3-8	Torno CNC	43
3-9	Partes de una Fresadora	48
3-10	Operaciones de Fresado	48
3-11	Movimientos relativos en el Fresado	50
3-12	Fresadora Horizontal	51
3-13	Rectificadora planeadora	57
3-14	Factores que afectan la rugosidad superficial.....	61
3-15	Mecanizado electroerosivo por hilo de un troquel de acero.....	67
3-16	Curva del Temple.....	69
4-1	Prensa de husillo	73
4-2	Prensa de Palanca.....	74
4-3	Prensa neumática.....	75
4-4	Prensa oleodinámica de cuello de cisne de doble efecto	77
4-5	Prensa excéntrica de simple efecto	79
4-6	Prensa de Manivela de acción simple, abierto KG 2134	81
4-7	Prensa de palanca articulada.....	82
4-8	Prensa con sujetador móvil.....	83

4-9	Prensa con mesa móvil.....	84
5-1	Clasificación de matrices de corte según su forma.....	87
5-2	Clasificación de las matrices de corte según su manera de trabajar	87
5-3	Esquema matriz de corte para Opción A	88
5-4	Esquema matriz de corte para opción B	89
5-5	Esquema matriz de corte para Opción C	89
5-6	Esquema del mecanismo de sujeción.....	91
6-1	Dimensionamiento del Recorte para la Embutición	95
6-2	Dimensionamiento de las perforaciones del recorte	96
6-3	Esquema de las etapas de corte.....	97
6-4	Disposición de la matriz de corte	100
6-5	Ubicación del centro de gravedad en la matriz de corte	101
6-6	Corte del perfil de dos piezas con el punzón de forma	102
6-7	Esquema para el punzón de forma	102
6-8	Esquema del punzón circular.....	104
6-9	Esquema del punzón Rectangular	105
6-10	Esquema de la placa portapunzones circulares.....	106
6-11	Esquema de la placa portapunzones rectangulares	107
6-12	Esquema de la placa guía/expulsora	108
6-13	Esquema Punzón de avance automático.....	109
6-14	Ubicación agujeros para elementos de unión	110
6-15	Separación entre agujeros para elementos de unión.....	110
6-16	Esquema para longitud mínima de roscado.....	111
6-17	Fijación de las placas guía expulsora, matriz y portamatriz.....	112
6-18	Fijación de una clavija semiciega para las placas.....	113
6-19	Esquema de la placa portamatriz y superficies de escuadrado	115
6-20	Esquema de placa portapunzones y superficies de escuadrado	116
6-21	Esquema de los casquillos para la matriz de corte.....	117
6-22	Esquema de la columna para la matriz de corte	117
6-23	Esquema del punzón de la placa matriz de embutición	120
6-24	Esquema del punzón de embutición	120
6-25	Esquema de la placa expulsora de embutición.....	121
6-26	Dimensionamiento de muelles expulsores.....	121
6-27	Fijación de dos placas por medio de pernos allen	122
6-28	Fijación de dos placas por medio de un pasador	122
6-29	Esquema de la Placa portamatrices	123
6-30	Esquema de la Placa Portamatrices	124
6-31	Esquema de la Brida.....	125
6-32	Esquema del perno con cabeza modificada	125
6-33	Esquema de trabajo del mecanismo de sujeción.....	126
6-34	Electrodo para el punzón de forma	126
6-35	Secuencia del corte por electrohilo para la placa matriz de corte	128
7-1	Esquema de medidas para el cajetín modelo para corte	132
7-2	Esquema de medidas para el cajetín modelo para embutición.....	132

INDICE DE TABLAS

ORDEN	CONTENIDO	PAG
2-1	Lubricantes a usar en la embutición, en relación al material a deformar	19
2-2	Principales lubricantes usados para el estampado en frío	19
2-3	Valores del coeficiente k	22
2-4	Factor de tolerancia para el proceso de corte	25
3-1	Propiedades fundamentales de herramientas para trabajos en frío	33
3-2	Aceros aleados para la fabricación de herramientas para trabajos en frío. ..	34
3-3	Características de las principales chapas metálicas	36
3-4	Tipos de torneado exterior	40
4-1	Esfuerzo disponible condicionado por el diámetro del husillo	74
5-1	Selección de la matriz de corte	90
5-2	Selección matriz de embutición	91
6-1	Selección de la Prensa mediante el cálculo de los Esfuerzos de Corte	98
6-2	Espesores para Placa Matriz en función del espesor de chapa	99
6-3	Distancia mínima de las perforaciones al borde	100
6-4	Cálculo del centro de gravedad de la matriz de corte	101
6-5	Longitud máxima y FS para evitar el pandeo de los punzones	106
6-6	Distancia mínima borde-agujero de acuerdo al material	110
6-7	Separación mínima entre agujeros de elementos de unión	110
6-8	Longitud mínima de roscado	111
6-9	Carga máxima de un perno allen en función de su diámetro	112
6-10	Fuerzas de separación y FS en función del perímetro de corte	112
6-11	Carga admisible de un pasador en función de su diámetro	113
6-12	Elementos de unión para fijar los componentes de la matriz de corte	114
6-13	Radio de borde en función del espesor de la chapa a embutir	118
6-14	Espesor de la placa matriz en función del espesor de la placa a embutir ...	119
6-15	Distancia de los agujeros al borde de la pieza	119
6-16	Elementos de unión a utilizar para fijar los elementos de la matriz	122
6-17	Fuerza de separación y FS en función del perímetro de embutición	122
6-18	Fuerzas de Embutición	124
7-1	Especificaciones de las materiales para la matriz de corte	129
7-2	Especificaciones de los materiales para la matriz de corte	130
7-3	Hoja de Inspección de piezas de corte	133
7-4	Hoja de inspección de piezas de embutición	134
7-5	Tabulación de datos de las piezas de corte	135
7-6	Tabulación de datos de las piezas de embutición	136
7-7	Análisis de datos de las piezas de corte (Primera parte)	136
7-8	Análisis de datos de las piezas de corte (Segunda parte)	137
7-9	Análisis de datos de las piezas de embutición	137

8-1	Costos de los Materiales utilizados para la construcción de las matrices.	140
8-2	Continuación	140
8-3	Costos de Mano de Obra	140
8-4	Costo Total de la Obra	141
8-5	Costo de Consumo de Energía	141
8-6	Costo de la producción de los cajetines eléctricos.....	141
8-7	Tasa de Descuento	143
8-8	Tasa Interna de Retorno	143

RESUMEN

Los procesos de conformado mecánico son la base fundamental de las factorías actuales, impulsan el desarrollo tecnológico para la obtención de productos de calidad, en el mercado actual, las mayores aplicaciones de estos procesos se dan en el campo automotriz y de la construcción.

Se realizó el estudio, selección, dimensionamiento, diseño y la construcción de dos matrices de corte y embutición rectangular para la construcción de cajetines eléctricos para el Laboratorio de Maquinas y Herramientas del Departamento de Ciencia, Energía y Mecánica de la ESPE.

Las matrices de corte de tres etapas y de embutición de una etapa se las obtuvo por medio de la proyección de planos, delimitación de los procesos tecnológicos de fabricación, selección de los materiales, diseño de los mecanismos de montaje, pruebas de laboratorio, realización del manual de usuario y criterios de seguridad para la utilización de estos dispositivos.

Se obtuvo el cajetín rectangular a partir de una chapa de aluminio de 0.7 mm, este material debe tener una determinada medida en su largo y ancho, el diseño de los distintos elementos que conforman la matriz fue un elemento fundamental para el proceso de fabricación, se comprobó que esta prensa cumple con las condiciones operacionales y funcionales para realizar embuticiones poco profundas y cortes repetitivos.

Se realizó un amplio análisis de la operación y funcionamiento de la prensa hidráulica Norton de 60 toneladas, se estableció un procedimiento para la correcta instalación, calibración y operación de cualquier matriz mediante el Manual de Usuario.

Las matrices de corte y embutición fueron diseñadas para ser utilizadas desde un aspecto didáctico, estas son utilizadas por los alumnos del DECEM para las prácticas de laboratorio, esto no difiere que puedan ser utilizadas por los diversos tipos de empresa para grandes producciones.

Las matrices son completamente desarmables, se comprenden criterios de matricería tales como: punzonado circular, punzonado rectangular, punzonado de forma, avance automático, guiado con columnas y expulsor de embutición.

La inversión para el desarrollo del proyecto retornara en menos de un año del conformado de los cajetines eléctricos, el proyecto es rentable y susceptible de ser aplicado para cualquier empresa.

CAPITULO 1

GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

El Laboratorio de Máquinas y Herramientas del DECEM se encuentra conformado por varias secciones, que abarcan los diferentes procesos utilizados en la Industria Metalmeccánica actual.

En esta división encontramos la sección de Conformado Mecánico, la cual se encuentra constituida por:

- Prensa manual de 40 toneladas
- Prensa hidráulica Norton de 60 toneladas
- Matrices de corte intercambiables

El estado de esta prensa es totalmente operable, posee las condiciones y características técnicas, necesarias para su aplicación en el campo de la Matricería e incluso su uso es susceptible para el campo industrial conforme a su capacidad.

Sin embargo el uso que se le ha venido dando a este equipo es netamente académico, pero se ha visto limitado debido a que las matrices disponibles son

simplemente aplicadas al corte circular de chapa metálica de hasta 1 mm de espesor.

La prensa hidráulica que se utilizará en este proyecto es de marca Norton Hidraulics de procedencia inglesa. Se incorporó al LMH en 1980 conjuntamente con:

- 6 Matrices de corte circular con Φ de $3/8$, $3/4$, $1\ 1/4$, $1\ 1/2$, 2 y 3 pulgadas
- 3 Matrices de corte ovalado de $1\ 1/2 \times 3/4$ ", $1 \times 1/4$ " y $2 \times 1/2$ "

1.2. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

El Laboratorio de Maquinas-Herramientas está dotado con equipos destinados a los procesos de producción metalmecánicos actuales, pero enfocando a un objetivo eminentemente didáctico, orientado hacia el inherente aprendizaje de los estudiantes de la CIME.

Dentro de este conjunto de equipos contenidos en el Laboratorio está la prensa hidráulica de 60 toneladas, la cual se encuentra subutilizada en su capacidad debido a que únicamente cuenta con una matriz de corte circular.

Las matrices que van a ser diseñadas y fabricadas, serán utilizadas para fines didácticos para complementar la práctica correspondiente a matricería y ampliar las aplicaciones y utilización que se le ha dado a la prensa.

Dentro del estudio de matricería se había dejado de lado aspectos muy importantes como son la embutición y el troquelado, que se los había visto en forma teórica pero gracias a este proyecto se los podrá tener en una forma innovadora y práctica.

Dentro del proceso de mejoramiento de la CIME se ha considerado la posibilidad de utilizar este equipo para la producción comercial y desarrollar nuevas matrices con fines de aprendizaje.

Se debe procurar diseñar, construir y adaptar una matriz de corte y embutición para fabricar cajetines rectangulares de uso eléctrico para obtener réditos económicos para la CIME y que sirva principalmente para las practicas del LMH.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una matriz de corte y embutición para la fabricación de cajetines rectangulares para instalaciones eléctricas en la prensa hidráulica de 60 toneladas.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Mejorar las prestaciones de la prensa hidráulica de 60 toneladas.
- Determinar las facilidades tecnológicas para la producción de este tipo de utillajes para corte y embutido.
- Utilizar las matrices de corte y embutición para complementar el estudio de procesos de manufactura y matricería

1.4. ALCANCE

En este proyecto se va a realizar el diseño de dos matrices, una de corte y otra de embutición para lo cual se va a emplear conocimientos de Conformado mecánico de Matricería. Comprendiendo dentro de esta fase el estudio, selección y dimensionamiento de los materiales que serán utilizados.

En la etapa de construcción se empieza con la elaboración de los planos, luego se determinan los procesos de fabricación a ser utilizados, la selección de los materiales acorde al mercado y para terminar con la elaboración de las matrices.

En lo que concierne al ensamblaje se tiene que diseñar el mecanismo de acoplamiento entre las matrices y la prensa, hacer los planos de montaje y realizar las modificaciones necesarias para el acoplamiento de los componentes mecánicos.

Por último se realizarán las pruebas y los ajustes necesarios para obtener los mejores resultados y eficiencia, así como un manual de usuario y un estudio de los criterios de seguridad requeridos.

1.5. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

El desarrollo de este proyecto es de fundamental importancia debido a que en el mercado nacional dentro del Área de la Construcción no se cubre la demanda de Cajetines Rectangulares para instalaciones eléctricas. Este sector está creciendo rápidamente, los puntos de fabricación son escasos y la tecnología empleada es anticuada e ineficiente por lo que el producto obtenido no es de calidad y no llena las expectativas del consumidor.

Fortalecer las labores académicas mediante la práctica, a través de la optimización y puesta en marcha de las matrices de corte y embutido para que el alumno pueda realizar operaciones de conformado mecánico de materiales.

En el laboratorio la Prensa antes mencionada se utilizada para la enseñanza de matrices de corte, en la materia de Procesos de Manufactura y su utilización es de dos semanas al semestre, el estado del equipo es totalmente operable y está disponible. Desde este punto de vista es factible ingresar en la fabricación y lograr potenciar el sentido productivo de la maquina.

La fabricación de este producto es sencilla y solo se necesita como material base una chapa de metálica cortada a medida, requiriendo para entrar en producción el diseño, construcción y adaptación de las matrices de corte y embutición en la prensa.

Para la elaboración de esta matriz se va a utilizar la maquina CNC perteneciente al Laboratorio de Maquinas y Herramientas de la CIME, para comprobar de manera práctica sus capacidades, por medio de la fabricación de una matriz para producción en lotes.

CAPITULO 2

MARCO TEORICO

2.1. DEFINICIONES

Los requerimientos para dar una determinada forma a los diferentes trabajos o productos referentes a la chapa metálica, de acuerdo al propósito para los cuales se los desarrolla, se los podrá obtener por diversos métodos teniendo en cuenta el material de partida, entre los principales métodos tenemos:

- Soldadura
- Corte por fusión
- Sinterizado
- Maquinado
- Fundición
- Trabajo electroquímico, electromecánico
- Deformación plástica

Cuando nos referimos a trabajo por deformación plástica se va a tener como punto principal la plasticidad de los metales, para cambiar su forma y tamaño, según sea el requerimiento. Para obtener estos cambios se debe aplicar sobre el material una fuerza, la cual va a generar un nivel de esfuerzo mayor que la resistencia interna

del material. La deformación plástica de los materiales no solo modifica la forma de los materiales, sino también sus diversas propiedades. Los trabajos por deformación plástica se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Forja
- Rolado
- Extrusión
- Embutido
- Prensado sobre láminas metálicas

El trabajo de prensado sobre la lámina metálica constituye el método de fabricación más importante para la producción de partes metálicas.

El proceso de prensado es fundamental para la economía lo cual se evidencia al examinar los artículos metálicos de consumo producido en masa, tales como automóviles, equipos de oficina electrodomésticos entre otros.

En la industria local el trabajo en la chapa metálica está enfocado básicamente a la producción de herrajes, instalaciones eléctricas, herramientas para el sector de construcción, partes para interiores de automóviles, etc.

Se deberá tener como parte fundamental el estudio de los diversos tipos de conformado mecánico por medio de una matriz, los procesos comienzan con la definición de una serie de operaciones tecnológicas ordinarias que transforman una forma inicial en otra final. Todos los trabajos constan de ciclo de trabajo el estudio de este es delicado y con frecuencia complicado, por lo cual será de gran utilidad la experiencia, así como el saber conservar inteligentemente el valor de determinados resultados conseguidos.

En el estudio, antes de alcanzar un resultado, será necesario recurrir frecuentemente a pruebas de laboratorio y de taller, recurriendo durante este desarrollo a diversas comprobaciones de los resultados obtenidos. Algunos de los factores que contribuyen a hacer difícil la solución teórica de determinados problemas son: la forma geométrica irregular de algunas piezas, la calidad del material que constituye la plancha de embutir, el modo como se ha construido una matriz, etc. Las piezas que acusan forma geométrica regular presentan lógicamente y en líneas generales el problema de más fácil solución.

De todo lo citado se desprende la necesidad de estar continuamente en conocimiento de los resultados de las pruebas desarrolladas, porque de lo contrario actuaríamos equivocadamente y ello se evidenciaría en los resultados por pretender realizar proyectos no viables.

De un cuidadoso examen podremos sistemáticamente subdividir en grupos los diversos trabajos y los diferentes útiles especialmente empleados, al objeto de crear una base concreta que servirá para el desarrollo del proyecto.

2.2. PROCESOS DE CONFORMADO MÉCANICO

Los diversos procesos de conformado mecánico a los que se somete a la chapa metálica plana son el conjunto de operaciones sin producción de viruta, a las cuales se somete a la chapa hasta transformarla en un objeto determinado, o en una serie de objetos con idénticas propiedades y con formas geométricas propias, la chapa está sometida a una elaboración plástica.

Se realiza estos procesos mediante dispositivos especiales llamados matrices, las cuales son partes fundamentales de las prensas. Para la obtención por medio de una sucesión de estampados de las diversas piezas tanto regulares, como las de forma geométrica complicada e irregulares, que están constituidas de un material de espesor casi uniforme, se va a utilizar las diversas operaciones del estampado de la chapa que se presentan y se subdividen en:

- Corte
- Doblar y curvar
- Embutir

Las operaciones que usualmente se realizan en frío son: cortar, doblar y curvar, a diferencia de la embutición que admite el trabajo en frío y en caliente según sea los requerimientos técnicos. Todas las operaciones se las realizara por medio de matrices, las cuales se encontraran montadas en máquinas, que constan con la implementación de movimiento rectilíneo alternativo.

Para el estampado en frío de láminas delgadas podremos utilizar materiales tales como: acero, aleación ligera, latón y cobre, los cuales pueden estar dados en

chapas de dimensiones normales, tiras obtenidas mediante corte en la cizalla, tiras o bandas y cinta en rollos, de ancho fijo.

Podemos citar como otras operaciones características referentes a la elaboración en frío de los laminados delgados:

- Bordonado
- Ribeteado
- Perfilado
- Engrapado

Estas cuatro operaciones tiene como característica la producción en serie continua y uniforme, pueden ser realizadas por medios de maquinas que se hallen dotadas de movimiento rectilíneo alternativo o maquinas especiales de movimiento rotativo.

Para obtener un producto acabado de chapa metálica a veces es necesario solo recurrir a una de las operaciones más corrientes del proceso como son: el cortar, doblar, curvar y embutir.

En varios casos se deberá recurrir a por lo menos dos fases para lograr desarrollar el trabajo requerido, usualmente tendremos las siguientes combinaciones:

- Cortar-doblar
- Cortar-curvar
- Cortar- embutir

El ciclo del estampado, comprende diferentes fases ordenadas de operaciones tecnológicas, están pueden ser principales y auxiliares, para la transformación de una chapa metálica plana en una pieza de forma definida, los principales factores que se va a analizar serán:

- La forma de la pieza
- Las dimensiones
- La calidad de la chapa a ser trabajada

Se debe partir de la forma de la pieza a obtener, de tal modo que se pueda determinar con certeza el número de operaciones directamente proporcionales a la complejidad de la forma misma; al hablar de proporcional tendremos que cuanto

más simple sea la pieza, tanto más reducido es el número de operaciones necesarias para obtención de esta.

Otro factor que influye en la determinación del número de operaciones necesarias para la realización del trabajo de la pieza es las dimensiones, puestos que en varios casos se debe repetir los procesos para la obtención de las diversas dimensiones requeridas, estas repeticiones de los procesos son en su mayoría en el caso de la embutición.

La calidad del material del cual se encuentre constituida la chapa metálica a trabajar influye en el número de operaciones requeridas en la obtención una pieza. De tal modo en el proceso de la embutición un disco de chapa muy plástica permite un embutido profundo, al contrario de otro disco con iguales características geométricas, pero de chapa menos plástica, el cual admite un embutido menos profundo, por lo cual se concluirá que para obtener una misma pieza es necesario una mayor o menor número de operaciones en relación a la menor o mayor plasticidad de la chapa que se vaya a emplear.

El ciclo de trabajo requiere de la consideración de todos estos factores, aunque no exista una relación intrínseca entre ellos.

Un factor importante es la elección de la máquina con la que se deberá efectuar el proceso, esta elección estará condicionada principalmente por las dimensiones y forma de la pieza que se va a producir. Cuando se requiere la producción de piezas con grandes dimensiones, se tendrá un uso directo de grandes matrices, al utilizar estas matrices el costo será elevado con respecto a los otros procesos. La forma más conveniente de la realización de estos trabajos se da en la máquina de movimiento rotativo continuo, en estas maquinas se aplicaran simples rodillos, esto solo se aplicara en caso de limitadas operaciones tales como el bordonado, el ribeteado, etc. En casi la totalidad de las operaciones de cortar, doblar y embutir, se las realizara por medio de matrices montadas en maquinas de movimiento rectilíneo alternativo.

La extracción de la pieza de la matriz constituye parte del ciclo de estampado. La utilidad de algunos de los agujeros que se realizan en la chapa vienen dada por el desempeño de ciertas funciones tales como:

- De aligeramiento de la chapa
- De guía para el paso de otros elementos.

La función de aligeramiento se ejecuta en el mayor de los casos, por el procedimiento de cortar.

La función de guía para el paso de otros elementos dependerá de la tolerancia del agujero, aun siendo conveniente ejecutar un agujero con el punzón.

2.2.1. CORTE



Ilustración 0-1 Ejemplo de matriz de corte¹

El corte de la chapa o punzonado es un proceso de tipo mecánico originado por cizalladura, esta es obtenida por medio de herramientas especiales destinadas a esta operación, se consigue separar una parte de la chapa metálica, obteniendo como resultado una figura determinada.

Este proceso es perteneciente a la transformación plástica en el cual intervienen dos herramientas, una que se coloca en la parte inferior de la chapa a punzonar o matriz, y otra que se coloca en la parte superior o punzón.

La primera fase del corte tiene lugar como se observa en la figura 2.2, cuando el punzón ejerce una presión inicial sobre la plancha, así prosigue hasta completar su labor con una compresión del material, con lo que se logra una deformación plástica del medio interpuesto, de esta fase se obtiene un vientre cóncavo en la chapa.

¹ www.invirsl.com

Continuando el proceso, el punzón al encontrar libertad en el camino a la matriz, prosigue su acción provocando en el material una expansión lateral del medio plástico, sin remontar la chapa.

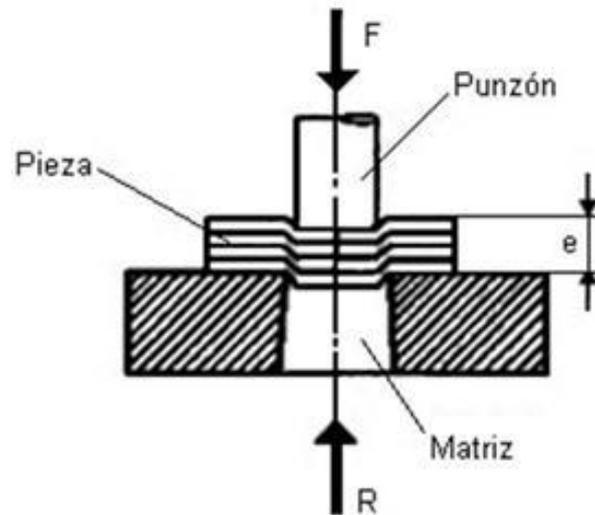


Figura 0-2 Esquema de la penetración inicial del punzón²

En el instante que el esfuerzo de compresión iguala a la resistencia al corte, sobreviene una rotura o fractura en la chapa sujeta al punzón, la cual se separa del resto de la material y cae al fondo de la matriz, esto lo podemos observar en la figura 2.3.

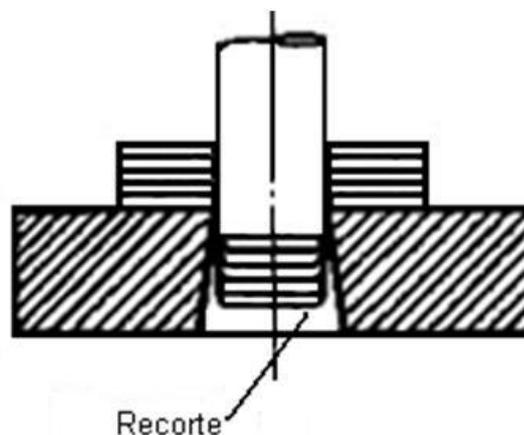


Figura 0-3 Esquema de extracción del recorte de la chapa³

Durante el proceso de corte las fuerzas aplicadas producen diversas acciones y reacciones en la fibra del material.

² www.interempresas.net

³ www.interempresas.net

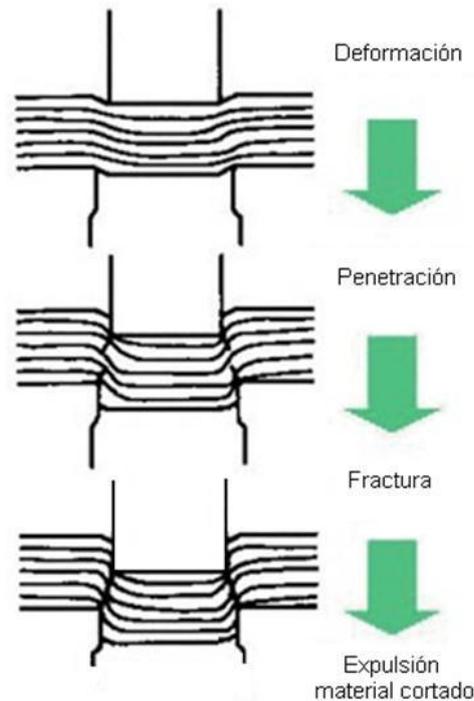


Figura 0-4 Esquema del proceso de corte por punzonado⁴

Estas acciones y reacciones tienen comienzo cuando en la proximidad de los hilos cortantes de las herramientas, las fibras del material se doblan siguiendo la dirección del punzón, como si inicialmente quisieran escapar a la separación, después ocurre una reacción en estas fibras oponiéndose al corte, pero como se da lugar a una acción mayor que la reacción, esta vence toda resistencia pasiva originando la escisión de las fibras. Dichas fibra al haber sido sometidas a tales esfuerzos quedan deformadas y comprimidas a lo largo del perfil cortado, debido a la elasticidad del material de la pieza se manifiestan diversas reacciones internas en las fibras punzonadas, lo cual provoca un rozamiento con las paredes de deslizamiento, como resultado se dificulta la salida del disco cortado de la matriz y la expulsión de punzón del agujero de la chapa.

2.2.1.1. Esfuerzos necesarios para el corte

Para el proceso conjunto de corte se necesitara tres esfuerzos principales los cuales son:

- Esfuerzo de recortado.
- Esfuerzo de extracción.
- Esfuerzo de expulsión.

⁴ www.interempresas.net

Esfuerzo de recortado

Este esfuerzo es fundamental para el cizallamiento del material, se da cuando el punzón inicia el contacto con la chapa, produciendo una compresión y llegando al corte. En este proceso en el contorno del punzón y de la matriz, sobreviene una presión continua del punzón y una reacción por parte del material. En su descenso el punzón presiona con su cabeza una porción de chapa y logra su separación del resto de la chapa, esto se logra debido a la acción de los filos cortante de la herramienta de corte. Se ha logrado vencer a la resistencia a la rotura por cizallado a pesar de la reacción en el contorno de la figura y en todo el espesor de la chapa.

El esfuerzo cortante total necesario viene dado por:

$$Q_R = p * s * \sigma_T \quad (2.1)$$

Donde: Q_R es el esfuerzo cortante total necesario (Kg); p es el perímetro de la figura (mm); s es el espesor de la chapa (mm) y σ_T es la carga de rotura total del material (Kg/mm²).

La obtención del valor de carga por rotura total del material se la puede obtener de tablas de acuerdo al material o por medio de la siguiente fórmula:

$$Q_T = \frac{3}{4} @ \frac{4}{5} \text{ de } Q_R \quad (2.2)$$

Los parámetros denotados son los mismos de la formula anterior.

Esfuerzo de extracción

Después de haber culminado el recortado de la chapa, la tira de material se encuentra sujeta al rededor del punzón, esta sujeción tiene un mayor grado de importancia debido a la cantidad de la sección cizallada y cuanta más cantidad de material sobrante queda alrededor de la pieza.

Este esfuerzo está en función de la dimensión del material sobrante y en el porcentaje del esfuerzo de cizallado, a continuación se detalla este esfuerzo:

Recortado en plena chapa:

$$Q_{ex} = 7 \% Q_R \quad (2.3)$$

Material sobrante superior a tres veces el espesor:

$$Q_{ex} = 2 @ 7 \% Q_R \quad (2.4)$$

Material sobrante normal:

$$Q_{ex} = 2 \% Q_R \quad (2.5)$$

Donde: Q_{ex} es el esfuerzo de extracción (Kg).

Esfuerzo de expulsión

Este esfuerzo se define como el esfuerzo necesario a vencer para lograr la salida de la pieza de la parte perforada de la matriz.

En general para el cálculo del esfuerzo de extracción se utiliza la siguiente fórmula:

$$Q_{ej} = 1,5 \% Q_R \quad (2.6)$$

Donde: Q_{ej} es el esfuerzo de expulsión (Kg).

Se realiza el cálculo de los esfuerzos de extracción y expulsión cuando las herramientas utilizadas son resortes o bloques de caucho.

En las herramientas con separador y expulsor elástico, se trabajara con la suma de los tres esfuerzos para la elección adecuada de la prensa.

2.2.2. EXTRUSIÓN

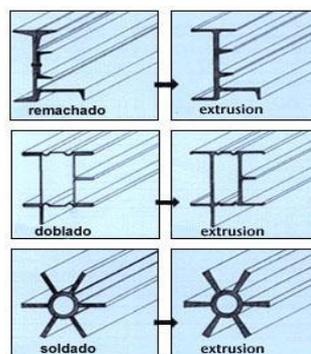


Figura 0-5 Conformados realizados por medio del proceso de extrusión

La extrusión en frío se la realizara por medio de una prensa, este es un proceso de conformado mecánico por deformación plástica, en este proceso el punzón comprime al material blando el cual ha sido introducido previamente y con esto cumple el principal objetivo de expeler fuera de la matriz al material el cual ha sido moldeado y ha adquirido una forma determinada.

Este proceso ha reemplazado a muchos otros reduciendo el tiempo y mejorando la calidad del conformado como podemos observar en la figura 2.5.

Como el trabajo de extrusión va ser realizado en frío debemos hablar de un proceso de extrusión invertida, en este proceso el material base debe ser preparado en forma de discos de un volumen determinado de acuerdo a las dimensiones de la pieza a producir, en el proceso debido a la presión central ejercida por el punzón parte del material es obligado a remontarse a lo largo de las paredes de este. La facilidad de realización del proceso viene condicionada por la plasticidad del metal, en tal caso a mayor plasticidad del metal mayor facilidad para la realización del proceso.

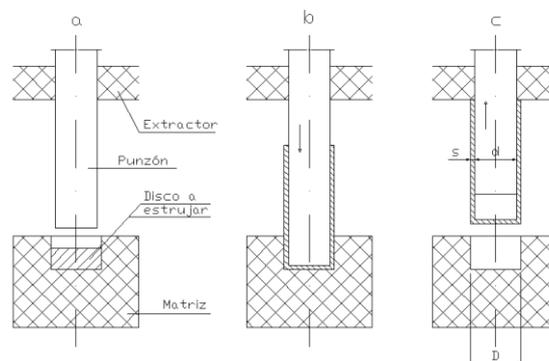


Figura 0-6 Esquema de extrusión en tres fases: a, posición inicial; b, extrusión; c, extracción.⁵

Como podemos observar del esquema de la figura 2.6, se encuentra alojado un disco metálico en el asiento de la matriz, la cual se halla dispuesta para recibir la presión que va ser ejercida por el punzón, el cual penetrando rápidamente, fuerza al material a salirse por la corana, la cual se halla formada por el espacio entre el punzón y la matriz.

El material se encuentra forzado a estirarse, y la única salida del material es verticalmente adherida al punzón, el cual le sirve de alma. La obtención de un proceso eficiente se la logra por medio de la rápida aplicación de la presión por

⁵ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 138

choque. Tanto el desprendimiento de la capsula como del punzón se lo logra por medio de un extractor.

El espesor de la capsula estará condicionado por la siguiente relación:

$$s = \frac{D-d}{2} \quad (2.7)$$

Donde: s es el espesor de la capsula; D es el diámetro de la cámara de la matriz
d es el diámetro del punzón.

Por medio del proceso de extrusión podemos obtener un espesor mínimo de 0,10 milímetros en las paredes del objeto estrujado.

El diámetro de D de la pieza conformada puede variar entre valores de 8 @ 100 milímetros, y la altura máxima que se va a alcanzar será:

$$h = 8 @ 6 D \text{ para piezas de } D = 8 @ 60 \text{ mm.}$$

$$h = 3 @ 2 D \text{ para piezas de } D = 60 @ 100 \text{ mm.}$$

Cuando se desee calcular la presión necesaria para la extrusión de un disco, se debe tener en cuenta que esta será inversamente proporcional al espesor de las paredes, e igual para los discos del mismo espesor y del mismo material.

2.2.3. EMBUTICIÓN

La embutición es una operación de conformado mecánico, que consiste en la elaboración de piezas huecas a partir de figuras de chapa plana, estas piezas huecas tienen superficies no desarrollables y se conserva el espesor primitivo de la chapa que se ha hinchado. Teóricamente no existe una variación de la superficie de la pieza, pero en la práctica esto no se verifica con exactitud.

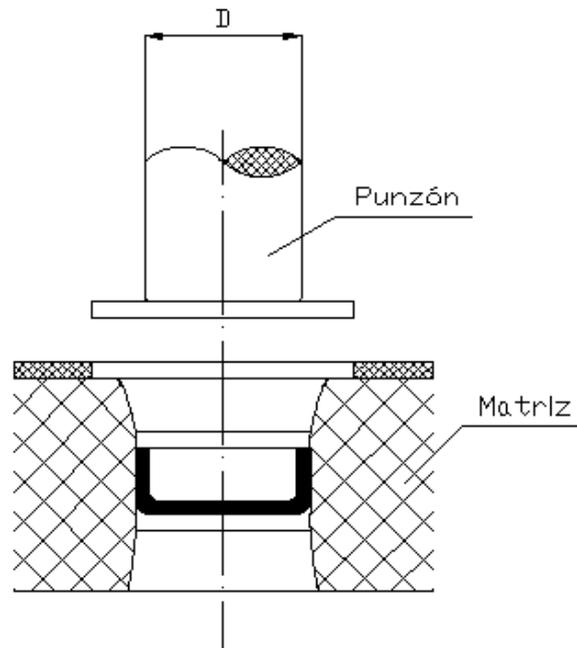


Figura 0-7 Demostración del proceso de embutido⁶

El proceso de embutición básicamente consiste en obligar a un disco ó a una figura metálica a pasar a través de un agujero cilíndrico o rectangular según sean los requerimientos, esto se logra por medio de un punzón que ejerce una presión que obliga al material a pasar entre el espacio definido por el punzón y la matriz, el material sufre una compresión que impide la formación de pliegues.

La compresión se genera en el borde del recipiente, al contrario del fondo que debe resistir el empuje del punzón.

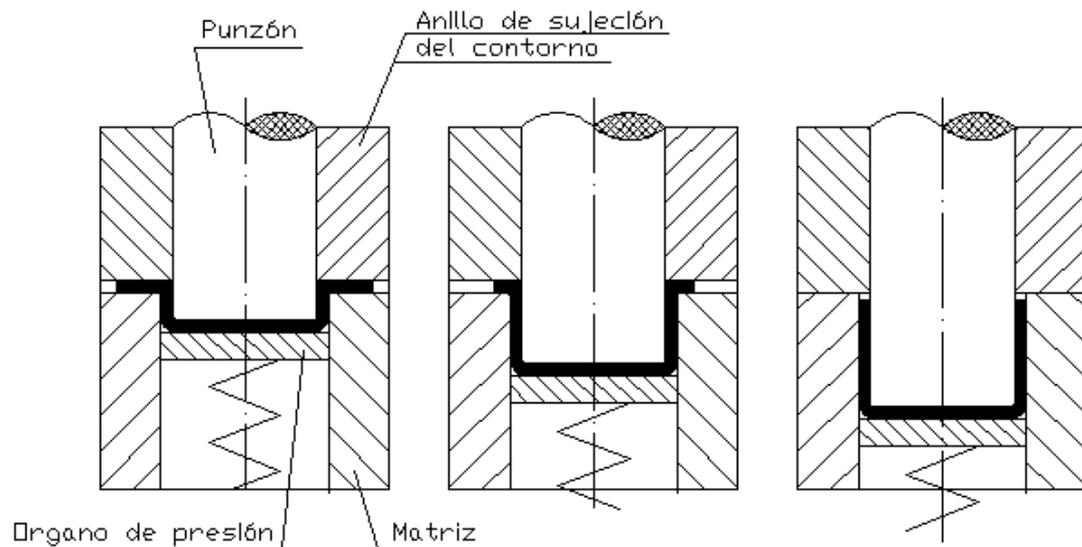


Figura 0-8 Algunas fases durante la operación de embutido.⁷

⁶ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 67.

⁷ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag.69

Como podemos observar en la figura 2.8, el desarrollo del proceso de embutición inicia cuando se dispone la chapa en el asiento o anillo de centrado, una vez sujeta la chapa por un dispositivo pisador el cual aprieta el disco contra la matriz con la finalidad de que no se produzcan pliegues. El punzón baja, estirando el material sobre los bordes rebordeados de la matriz, con lo que logra la fabricación de la pieza hueca requerida. Se produce un alargamiento de las fibras, esto ocurre a expensas del espesor de la chapa.

En esta operación no se debe superar el límite de resistencia del material para no provocar la ruptura, se dispone el material el cual no debe de estar sujeto sino adherido para poder permitir el deslizamiento del material en sentido radial sin provocar pliegues, por esta razón el material está sujeto a diversos grados de estiramiento con lo que tiende a endurecerse, se deberá realizar un recocido previo para evitar el agrietamiento de las paredes de la pieza.

El espesor puede permanecer constante pero microscópicamente los cristales del material han variado de posición en la medida que este se haya deslizado en la abertura entre el punzón y la matriz. En el caso de piezas paralelepípedas ó cubicas esta variación es mayor, aunque sus aristas sean fueran ampliamente redondeadas.

En piezas rectangulares, exactamente en los cantos es mayor el estiramiento de las fibras. Para moldear estos elementos, en la zona más próxima a los ángulos se necesita menos material dado que las paredes convergerán hacia los ángulos aportando material.

El desarrollo de esta pieza rectangular embutida puede ser realizado en una sola fase.

La superficie de sujeción debe ser plana y lisa facilitando al material el resbalamiento hacia el centro, no se debe dar a esta superficie una forma ondulada dada que en la embutición tropezaría en el momento de hundirse la parte de la chapa que se encuentra en contacto con el punzón.

Para ciertos espesores de chapa y en relación a pequeñas profundidades de embutido, no es necesaria una sujeción del borde, la mayor resistencia opuesta por la chapa estará en relación a la sección transversal.

2.2.3.1. Lubricación

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

La lubricación permite la disminución en el esfuerzo de embutido y obtenemos un menor desgaste de la herramienta.

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

Tabla 2-1 Lubricantes a usar en la embutición, en relación al material a deformar⁸

Tipo de trabajo	Tipo de lubricante	LUBRICANTE			
		Aceros al carbono	Aceros inoxidables y	Aluminio	Cobre, latón, bronce
Embutición poco profunda	Hidrosoluble	448	-	-	DO-17 421
		CC-2 o mezcla	DO-29 o mezcla	CC-2 o mezcla	CC-2
	Oleosoluble	1p. DO-2A +1p. aceite mineral	2p. DO-2A +1p. aceite mineral	1p. DO-2A +1p. aceite mineral	DO-6A
	Hidrosoluble	448	-	-	448
DC-K					
Embutición profunda	Oleosoluble	DO-29 o mezcla	DO-2A	DO-29 o mezcla	CB-66
		2p. DO-2A +1p. aceite mineral	DO-29	2p. DO-2A +1p. aceite mineral	DO-29 o mezcla 2p. DO-2A +1p.

Tabla 2-2 Siglas de referencia correspondientes a los principales lubricantes usados para el estampado en frío⁹

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

⁸ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 73. Siglas de Magnus Chemical Company.

⁹ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 48.

2.2.3.2. Desarrollo de una caja de base rectangular o cuadrada¹⁰

Como hemos podido observar anteriormente en la figura 2.9, vamos a modelar un perfil para el desarrollo de elementos rectangulares y cuadrados.

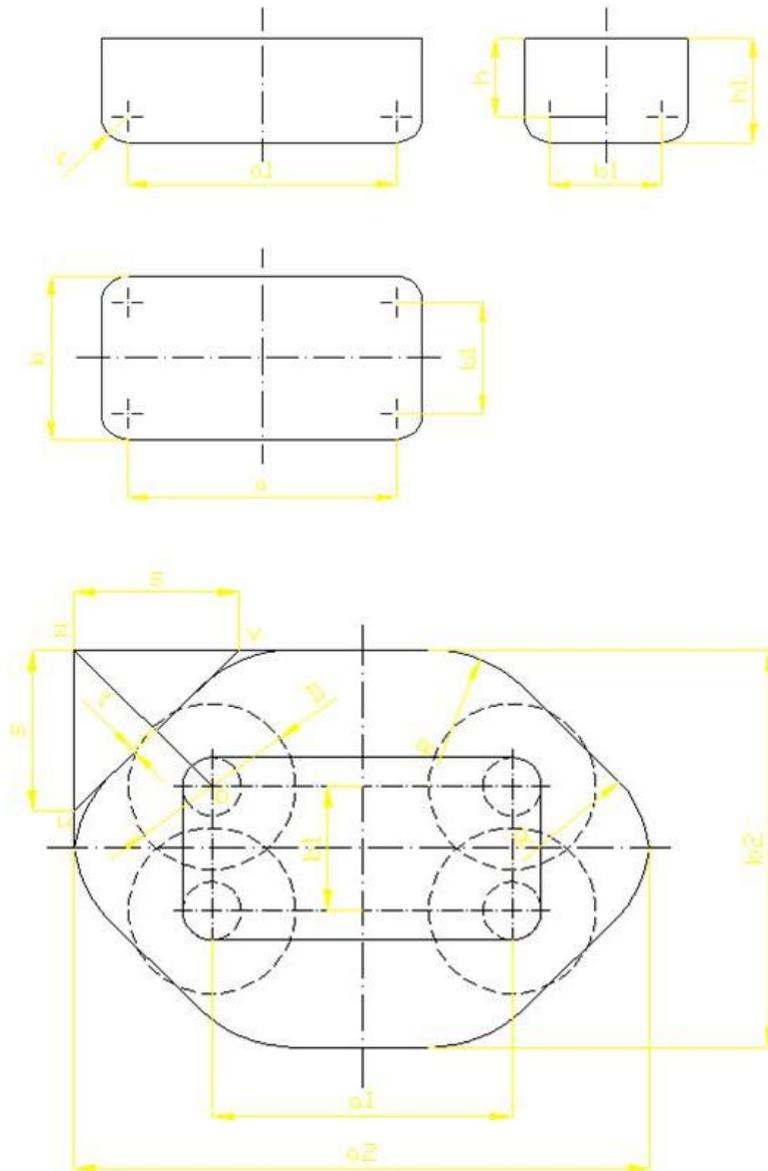


Figura 0-9 Esquema de una caja de base rectangular

Como podemos observar en la figura 2.10, se debe empezar trazando un rectángulo de base con lados a_1 y b_1 , correspondiente a la longitud de los lados de la caja menos los dos radios de los cantos es decir: $a_1 = a - 2r$ y $b_1 = b - 2r$; A cada uno de esos dos lados se añaden dos desarrollos del arco correspondiente al radio de codo r más dos veces la altura h , o sea:

¹⁰ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 69.

$$a_2 = a_1 + \pi r + 2h \quad (2.8)$$

$$b_2 = b_1 + \pi r + 2h \quad (2.9)$$

Con esto se conforma el trazado del rectángulo máximo, el cual contiene el perfil desarrollado. El límite de los chaflanes correspondientes a los cantos o esquinas es señalado por el círculo de diámetro D con centros en o menos el valor t. La medida D corresponde a diámetro del disco desarrollado de un cilindro imaginario esférico de radio r y altura h:

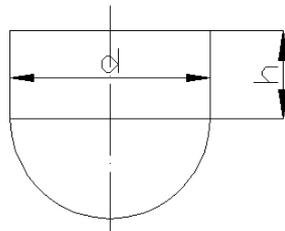


Figura 0-10 Forma del recipiente para obtener el Diámetro del disco D

$$D = 1,414\sqrt{(d^2 + 2dh)} \quad (2.10)$$

Para que el cálculo de la superficie sea con mayor precisión, se deberá hacer los cálculos con los lados a_2 y b_2 , la suma de las cuatro áreas dará el área del cuadrado, dado que cada esquina a achaflanar corresponde al área del triángulo rectángulo u, v, z.

Fórmula para la determinación del área total de la caja:

$$A_S = a_1 b_1 + 2ha_1 + 2hb_1 + \pi r a_1 + \pi r b_1 + 2\pi r h + 2\pi r^2 \quad (2.11)$$

El área del rectángulo:

$$A_r = a_2 b_2 \quad (2.12)$$

Diferencia entre las dos áreas:

$$A = A_r - A_S \quad (2.13)$$

Obtenemos el área del cuadrado, el cual equivale a la suma de las áreas de las cuatro esquinas teniendo como hipotenusa uv, la cual es igual a:

$$uv = \sqrt{A} \quad (2.14)$$

Longitud de cada esquina:

$$zv = zu = s$$

$$s = 0,707uv \quad (2.15)$$

De resultados experimentales ocurre que el lado uv del chaflán dista de la tangente del círculo de diámetro D en la medida aproximada:

$$t = \frac{D}{32} \quad (2.16)$$

Con lo que se calcula finamente las curvas de radio:

$$R = \frac{b_2 - b_1}{2} \quad (2.17)$$

2.3. VELOCIDADES DE CORTE

Las velocidades de corte en todos los procesos van ser condicionadas por el tipo de prensas en que se desee realizar el trabajo. La velocidad de descenso es importante especialmente en el proceso de embutición, este se la puede determinar por medio de la siguiente expresión:

$$V = 0,052 * k * C * n \quad (2.18)$$

Donde: k Coeficiente correspondiente a la posición del punzón; n Número de golpes que realiza la prensa por minuto y C La carrera (mm).

Tabla 2-3 Valores del coeficiente k^{11}

Porcentaje de la carrera										
%	100	90	80	70	60	50	30	20	10	0
k	0	0,6	0,8	0,92	1	0,96	0,92	0,8	0,6	0

Al conocer la carrera de la prensa, se puede calcular el número de vueltas del volante por la velocidad y la posición del punzón dadas, o hacer la verificación si el número de vueltas de la prensa es compatible con la velocidad del proceso de embutición.

La velocidad constituye un valor fundamental en los procesos industriales en serie ya que es un dato constitutivo utilizado en los proceso para el cálculo del tiempo de la construcción de un artículo predeterminado.

¹¹J. DE KONINCK D. GUTTER; MANUAL DEL TÉCNICO MATRICERO; Pag.42.

Para el proceso de conformado por embutición de piezas metálicas la velocidad del punzón no tiene gran importancia en la embutición de piezas cilíndrica, al contrario en la embutición de piezas rectangulares, es aconsejable el trabajo con velocidades pequeñas.

2.4. JUEGOS PARA EL PUNZÓN Y MATRIZ

La construcción de las matrices es el punto determinante de la exactitud de las piezas obtenidas en cualquier proceso de conformado.

2.4.1. JUEGO EN EL PROCESO DE CORTE

Los desgarros iniciados en los filos de la herramienta deben encontrarse instantáneamente entre sí, esto es necesario para obtener un aspecto limpio de la sección de corte. Esta condición se la puede obtener cuando los puntos de rotura de cada fibra del metal están situados en una misma alineación. Para la obtención de una misma alineación de los puntos de rotura de cada fibra será necesario el ajustar el punzón con un determinado juego.

El juego entre el punzón y la matriz dependerá de dos factores fundamentales, que son: el grueso o espesor de la chapa y la calidad del material.

De acuerdo a estos parámetros se puede obtener el valor de juego en tablas o por medio de la aplicación de las siguientes formulas:

Para acero dulce y latón:
$$j = \frac{e}{20} \quad (2.19)$$

Para acero semiduro:
$$j = \frac{e}{16} \quad (2.20)$$

Para acero duro:
$$j = \frac{e}{14} \quad (2.21)$$

Donde: j es el juego total (mm), el valor de $j/2$ será el valor entre la matriz y el punzón.

Cuando existe un juego insuficiente entre punzón y matriz, se produce un corte secundario. Las grietas iniciales correspondientes al punzón y matriz no están alineadas, y por tanto, no llegan a encontrarse en la figura 2.12. El descenso continuado del punzón produce la prolongación de las grietas y la superficie no

cortada entre ellas se romperá en una fractura secundaria. En la parte inferior de la carrera del punzón, se produce un corte secundario y una segunda zona bruñida (figura 2.13b). La disminución del juego, por debajo de los valores normales, provoca la disminución de todos los defectos de forma, mejorando por lo tanto, la precisión de los bordes obtenidos.

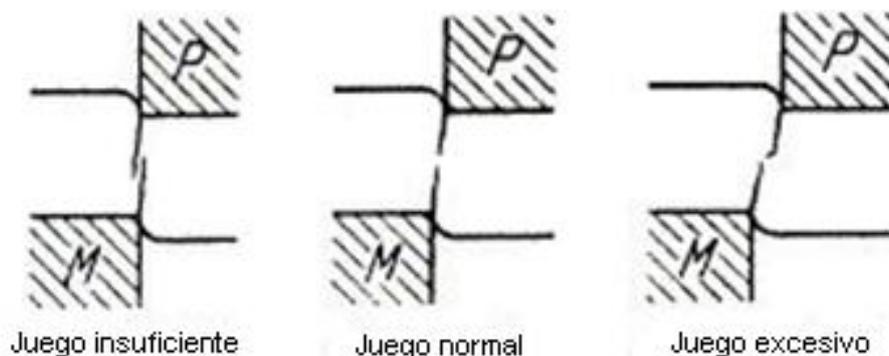


Figura 0-11 Posición relativa de las grietas según el juego¹²

Cuando el juego empleado es demasiado bajo empiezan a aparecer cortes secundarios que perjudican la calidad de los bordes. Al disminuir el juego de corte se produce una mejora en la precisión de la pieza, sin embargo, otros factores como el desgaste de las herramientas o la energía consumida se ven afectados negativamente. En el caso de tener un juego de corte excesivo como se puede observar en la figura 2.13 A aparece una deformación plástica excesiva, una parte bruñida menor y una altura de rebaba mayor. Por otro lado, hay que resaltar que, al aumentar el juego de corte por encima de los valores normales, se consigue aumentar la vida de la herramienta en detrimento de la precisión obtenida en los bordes.

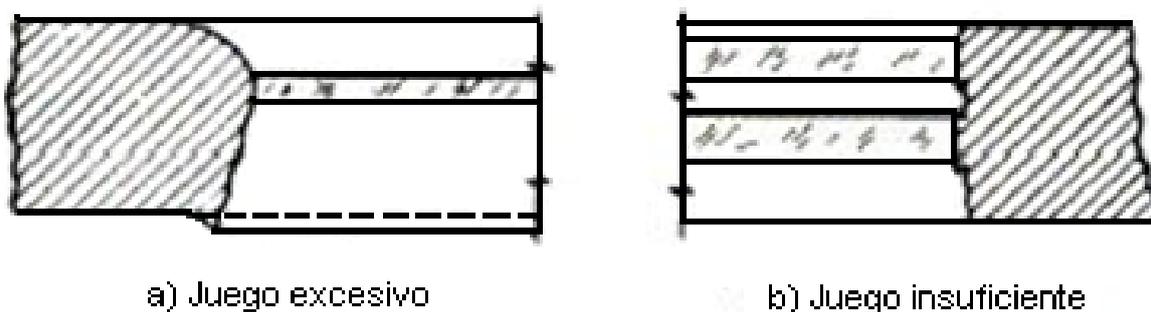


Figura 0-12 Características del borde con juego excesivo e insuficiente¹³

¹² Departamento de Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo

¹³ Figura obtenida del Departamento de Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo

Puesto que el juego de corte es el parámetro que afecta más directamente a la mecánica de la fractura del material, el juego de corte óptimo deberá ser capaz de proporcionar esta alineación.

2.4.2. JUEGO EN EL PROCESO DE EMBUTICIÓN

Para el proceso de embutición, teóricamente el valor del juego es igual al espesor de la chapa, pero hay que tener en cuenta las tolerancias de ésta.

Por otro lado, si el juego es demasiado grande se puede tener deformación del perfil de las paredes o una desviación del punzón, la cual provoca la formación de lengüetas sobre el borde del embutido.

Para embuticiones rectangulares:

$$\text{Para partes rectas:} \quad j = 1,1 e \quad (2.22)$$

$$\text{Para ángulos redondeados} \quad j = 1,2 e \quad (2.23)$$

2.5. TOLERANCIAS DE FABRICACIÓN

2.5.1. TOLERANCIA DE CORTE

El valor de la tolerancia es un elemento muy importante a considerar para el proceso de corte, si no se cuenta con una tolerancia adecuada, la calidad de las piezas cortadas será mala y se tendrá menor vida útil de los elementos. Para la determinación de la tolerancia se tiene como factores determinantes al espesor del material y su resistencia al corte.

Tabla 2-4 Factor de tolerancia para el proceso de corte¹⁴

Resistencia al corte Kg*mm ²	Factor de Tolerancia
Menor a 10	0.01*s
11 – 25	0.03*s
26 – 39	0.05*s
40 -59	0.07*s
60 -99	0.09*s
Mayor a 100	0.10*s

Donde: s es el espesor de la chapa a cortar

¹⁴ Tabla realizada de acuerdo a la resistencia al corte y el espesor del material.

El valor obtenido para cada chapa, será la tolerancia total de corte que se debe aplicar entre la medida del punzón y la matriz.

Como se observa en la tabla 2.5, el factor de tolerancia aumenta progresivamente al mismo tiempo que la resistencia de los materiales. Por lo que se determina, que cuanto mayor sea la resistencia del material, mayor será la tolerancia de corte, independientemente que el valor del espesor continúe siendo constante.

Cuando se da una tolerancia de corte correcta como la de la figura 2.14, esta comporta un acabado superficial de la chapa, en el que sus caras cortadas aparecen con un 1/3 de su espesor ligeramente brillante en la zona de entrada del punzón, mientras que las 2/3 partes restantes tienen una superficie rugosa y sus paredes aparecen ligeramente cónicas esto se produce en la zona de salida del punzón.

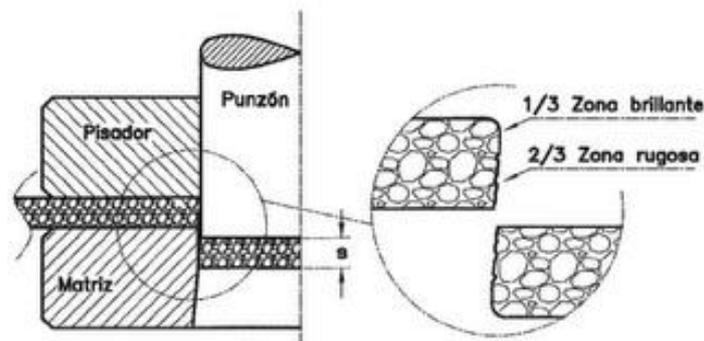


Figura 0-13 Tolerancia de corte correcta¹⁵

Cuando existe una tolerancia excesiva como la de la figura 2.15, se va a provocar un desgarrado exagerado en las caras cortadas y un mayor desgaste de los elementos cortantes del utillaje. Al mismo tiempo, dichas caras quedan más cónicas que en el caso de la tolerancia correcta y la fuerza de corte aumenta ligeramente. En estas condiciones, el utillaje no trabaja adecuadamente y la pieza queda con rebabas.

¹⁵ www.interempresas.net

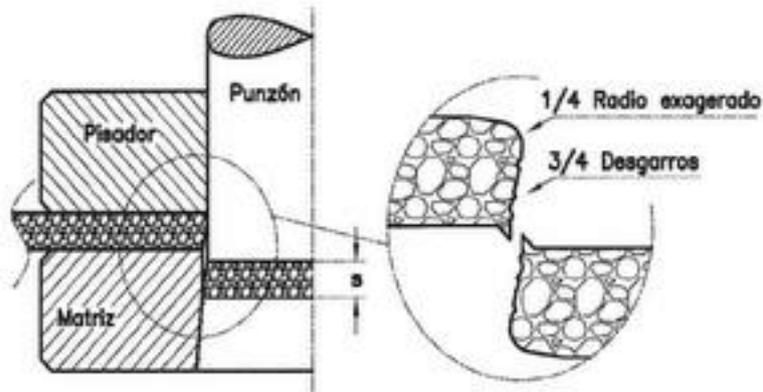


Figura 0-14 Tolerancia de corte excesiva¹⁶

Cuando se posee una tolerancia insuficiente como de la figura 2.16, se provoca una pared brillante en casi todo el espesor de la chapa, pero al mismo tiempo ocasiona un mayor desgaste del utillaje, las paredes cortadas quedan más verticales que en el caso anterior, pero se producen pequeños desgarros y desprendimientos del material que ocasionan gripados en los elementos deslizantes del utillaje.

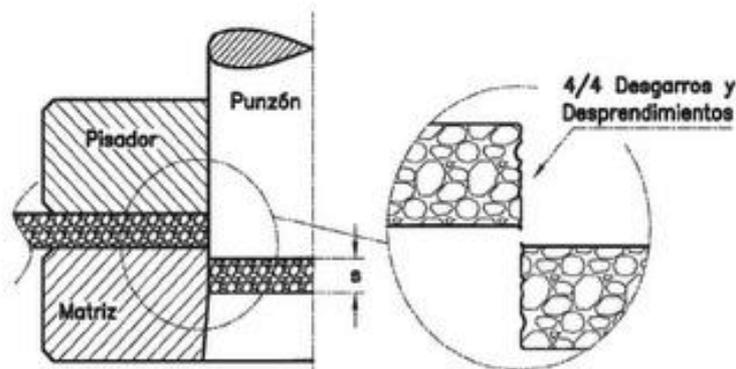


Figura 0-15 Corte con tolerancia insuficiente¹⁷

2.6. PRESIÓN DE APLASTAMIENTO

PRESIÓN NECESARIA PARA EL EMBUTIDO. TENSIONES EN LA SECCIÓN DEL RECIPIENTE.¹⁸

La determinación en el ámbito práctico es un problema complicado y poco convincente. Se ha determinado una fórmula para poder determinar fácilmente la fuerza necesaria para la embutición, se lo ha logrado en base a conceptos básicos y principios de carácter físico de los materiales tales como la teoría de elasticidad

¹⁶ www.interempresas.net

¹⁷ www.interempresas.net

¹⁸ Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 85

de los metales, que menciona, que un cuerpo metálico sometido progresivamente a fuerzas exteriores en un principio de deforma elásticamente, y después permanentemente, con lo que se ha producido fluidez del material.

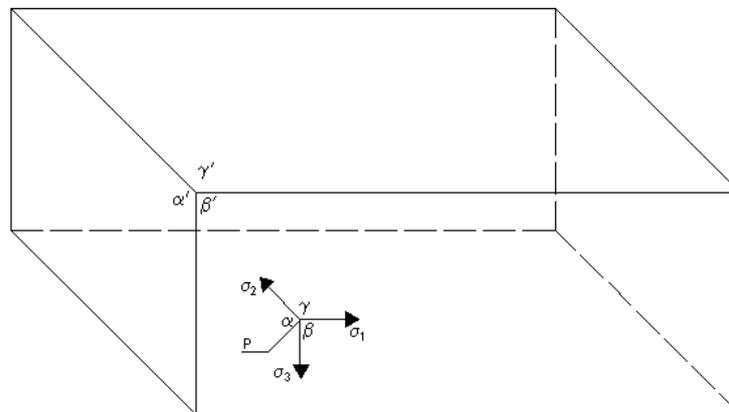


Figura 0-16 Partícula P, de un cuerpo metálico sometido a fuerzas exteriores.¹⁹

Un punto cualquiera P en el interior de un cuerpo metálico como el que se puede observar en la figura 2.17, se lo puede considerar en equilibrio, dado que está sometido a la acción de un sistema de fuerzas exteriores.

Se asume que por el punto P pasan tres planos imaginarios α , β , γ normales entre sí y sobre los cuales actúan tres tensiones unitarias normales, expresadas por σ_1 , σ_2 , σ_3 , estas tensiones pueden ser de tracción o compresión, referidas a la unidad de superficie. Las tensiones van a ser consideradas opuestas a las fuerzas exteriores. Como ninguna fuerza transversal exterior modifica el espesor de la chapa embutida la tensión reactiva σ_3 no existe.

$$\sigma_3 = 0 \quad (2.24)$$

Las tensiones, pueden variar de $+\infty$ a $-\infty$ y se pueden relacionar entre sí aunque posean diferentes valores.

$$\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3 \quad (2.25)$$

Dada que la estructura de los cuerpos metálicos es cristalina, esta se encuentra dotada de las mismas propiedades en todas sus direcciones. En cada parte del sólido existen tensiones máximas orientadas en direcciones definidas, al producirse acciones externas, las tensiones producen un desplazamiento de los cristales, en las direcciones de las tensiones máximas referidas anteriormente.

Para el proceso de embutición se ha considerado un espesor constante. La resistencia ideal de deformación se va expresar con r_d , la cual es la fuerza interior

¹⁹Mario Rossi; ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA; Pag. 86.

que resiste los referidos desplazamientos y que es vencida en un cierto instante por la acción de la fuerza exterior, por lo que se la puede expresar:

$$r_d = \sigma_1 - \sigma_2 \quad (2.26)$$

Con el aumento de las fuerzas exteriores, se origina el desplazamiento de los cristales de la masa según la dirección longitudinal de la plancha, con lo que se verifica una deformación superficial a espesor constante. El volumen se mantiene constante, r_d no es un valor único determinado para cada metal, sin tener en cuenta otros factores como la temperatura adquirida durante la deformación, la importancia de la deformación y la velocidad de deformación.

Se va a analizar el trozo de chapa metálica como el de la figura 2.18, con dimensiones iniciales a_0 , b_0 . En la hipotenusa de que la deformación superficial tenga lugar en sentido normal a las aristas, tendremos la nuevas dimensiones a_1 , b_1 . Si el espesor $s = 1$ y el volumen V_c constante, podremos decir:

$$a_0 \cdot b_0 = a_1 \cdot b_1 = V_c \quad (2.27)$$

Dividiendo para $a_0 \cdot b_0$ tendremos que:

$$\frac{a_1}{a_0} * \frac{b_1}{b_0} = 1$$

Y resolviendo con logaritmos tendremos:

$$\ln \frac{a_1}{a_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} = 0$$

Podemos integrar y aplicar límites y obtendremos:

$$\int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{a} + \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} = 0$$

Si llamamos a φ a la deformación experimentada por la chapa, tendremos:

$$\varphi_a = \ln \frac{a_1}{a_0} = \int_{a_0}^{a_1} \frac{da}{a} \quad (2.28)$$

Esta expresión es la deformación de restringimiento o estricción.

$$\varphi_b = \ln \frac{b_1}{b_0} = \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} \quad (2.29)$$

Esta expresión es la deformación de alargamiento.

De la suma de estas expresiones obtenemos:

$$\varphi_a + \varphi_b = 0 \quad (2.30)$$

CAPITULO 3

CONFORMADO MECÁNICO DE MATRICERÍA

3.1. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES

Los materiales a utilizar para las herramientas de trabajo en frío van a depender de la clase de operación a efectuar; las herramientas y chapa va ser utilizada para el proceso de corte y de embutición.

Herramientas para recortar:

Se clasifican según su manera de trabajar:

- Herramientas de corte sencillo.
- Herramientas de corte progresivo.
- Herramientas de corte total.

Otra clasificación de este tipo de herramientas, es de acuerdo a las diferentes formas de la herramienta:

- Herramienta al descubierto para corte sencillo.
- Herramienta cubierta o con placa guía para corte sencillo o progresivo.
- Herramienta de columna para cortes sencillos, progresivos o totales.
- Herramientas con guía cilíndrica para cortes laterales.

Herramientas para la embutición:

Se clasifican por la forma de trabajo que desempeñan:

- Herramienta para embutición sin sujetador para embutición de efecto simple.
- Herramienta para embutición con sujetador para embutición de doble efecto a usar en prensa sencilla o de doble efecto.

Herramientas combinadas:

Se presentan en diversas formas y se las clasifica en:

- Herramienta combinada total.
- Herramienta combinada de varios pasos o progresiva.

Las herramientas son elementos que se hallan sometidos a grandes esfuerzos mecánicos, de las cuales se espera una adecuada vida útil, la cual está limitada de acuerdo al tipo de trabajo realizado.

Los aceros para trabajos en frío representan uno de los productos de mayor compromiso en su fabricación y posterior transformación en máquinas y herramientas, existen tres principales sectores implicados: mecanizador, tratamentista y empleador.

El constructor de la herramienta, necesita en el acero una facilidad de mecanizado, aptitud al rectificado, garantías dimensionales, ausencia de defectos y asistencia técnica.

Las necesidades del tratamentista se centran en la respuesta homogénea del acero ante el tratamiento térmico; principio asociado a una buena dureza de temple, a un mínimo cambio dimensional y de deformaciones durante el temple y el revenido.

El empleador requiere en las herramientas construidas: altas sollicitaciones de tenacidad, buena resistencia a la compresión y dureza, resistencia al desgaste, resistencia a la fatiga, etc.

Los catálogos referentes a los aceros utilizados para la construcción de las matrices, se los puede encontrar en el **ANEXO A**

3.1.1. ASPECTOS TÉCNICOS DE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRÍO

Se considera aspectos de tipo metalúrgico y de tipo técnico tales como: composición química, control dimensional, dureza, templabilidad, defectos superficiales e internos, controles metalográficos, entre otros, esto para determinar una aceptable calidad de los aceros.

Existe otras consideraciones fundamentales para la elección del acero para herramientas de trabajos en frío: la resistencia al desgaste, la tenacidad, la dureza y la resistencia a la compresión.

Otras consideraciones son en el diseño y mecanizado de la herramienta, estabilidad dimensional después del tratamiento, número de piezas a fabricar, problemas de corrosión, etc.

Los aspectos tomados anteriormente son necesarios considerar para dar un tiempo de vida útil aceptable a las herramientas en servicio.

3.1.2. PROPIEDADES FUNDAMENTALES DE EMPLEO DE LOS ACEROS ALEADOS DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRÍO

En la construcción de herramientas para punzonar, cortar, conformar, estampar, extrusionar, los principales problemas de diseños son: la dureza de la superficie, la resistencia a la compresión, la resistencia al desgaste y que posean una tenacidad aceptable para que la herramienta no sufre cambios considerables en su estructura metalografica, y por consiguiente, conseguir que su vida útil en servicio sea lo duradera posible.

Los métodos de selección del acero para herramientas, tanto si se refieren a diagramas, gráficas o tablas están basadas, fundamentalmente, en la experiencia con los distintos aceros y sus usos. La selección de un acero de herramientas presenta exigencias tales como; la interrelación de la resistencia al desgaste con la tenacidad.

En la práctica la selección de un acero de herramientas, para una ampliación en particular, debe correlacionar las características metalúrgicas del acero con los

principios básicos de utilización propios de la herramienta: dureza y resistencia a la compresión; resistencia al desgaste; y tenacidad.

Las características mencionadas anteriormente se las puede observar en la tabla 3.1 que a continuación se detalla con los grados de importancia de las características de las herramientas para cada proceso de conformado, según se requiera.

Tabla 3-1 Propiedades fundamentales del empleo de herramientas para trabajos en frío y su grado de importancia según la técnica de conformado aplicado a cada herramienta²⁰

PROPIEDADES DE EMPLEO HERRAMIENTAS	Técnicas más utilizadas y representativas de conformado en Frío		
	EMBUTICION CORTE	ESTAMPACION EXTRUSION	LAMINACION PERFILADO
Templabilidad	1	1	1 ó 2
Resistencia al Revenido	3	2 ó 3	3
Tenacidad	1	1	1
Resistencia al desgaste	1	1	1
Resistencia a la compresión/dureza másica	1	1	1
Aptitud al mecanizado	2	2	2
Isotropía	1	1	1
Aptitud al rectificado	2	2	2
Estabilidad de medidas en el TT	1	1	1

Estas son las características principales que deberán cubrir los materiales al momento de una elección para la construcción de las prensas y de la chapa a ser utilizada para cada proceso.

3.2. MATERIALES PARA HERRAMIENTAS

ACEROS MÁS UTILIZADOS EN LA FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS PARA TRABAJO EN FRÍO

Los aceros que a continuación se detallan son los comúnmente utilizados para trabajos en frío, y vienen dados principalmente por: aceros aleados para herramientas y aceros rápidos.

²⁰ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS, SU UTILIZACIÓN Y TRATAMIENTO TÉRMICO por Manuel Antonio Martínez Baena y José M^a Palacios.

Tabla 3-2 Aceros aleados utilizados en la fabricación de herramientas para trabajos en frío.²¹

ACEROS / Según normas				Composición química media (%)								
Grupo	UNE-EN		DIN	AISI	C	Mn	Si	Cr	Mo	V	W	Ni
	Númérica	Simbólica	Stand Nº									
I	F-5247	60SiMoCr8	≈ 1,2103	S5	0,6	0,8	1,8	0,3	0,3	0,1	-	-
	F-5242	60WCrV8	1,255	S1	0,58	0,3	0,9	1,25	-	0,15	2	-
	F-5305	40NiCrMoV16	≈1,2767	-	0,4	0,3	0,3	1,7	0,35	0,1	-	4,5
II	F-5220	95MnCrw5	1,251	O1	0,9	1,2	0,3	0,55	-	0,1	0,6	-
	F-5317	X37CrMoV5	1,2343	H11	0,38	0,4	1	5	1,3	0,5	-	-
	F-5318	X40CrMoV5	1,2344	H13	0,42	0,4	1	5	1,3	1,05	-	-
	F-5227	X100CrMoV5	1,2376	A2	1	0,7	0,3	5	1,1	0,2	-	-
III	F-5211	X160CrMoV12	1,2379	D2	1,55	0,3	0,3	12	0,8	0,5	-	-
	F-5214	X210CrMoV12	1,2378	D4	2	0,3	0,3	12	0,6	0,2	-	-
	F-5603	HS 6-5-2	1,3343	M2	0,85	0,3	0,3	4	5	2	6	-
	F-5605	HS 6-5-4	1,3344	M4	1,3	0,3	0,3	4	4,8	3	5,8	-

En la tabla 3.2 se detalla los aceros, de mayor utilización, pertenecientes a las normas UNE-EN ISO 4957/1999; con las equivalencias aproximadas de las normas alemanas (DIN) y las americanas (AISI).

Aceros que hemos clasificado en tres grupos principales:

Primer Grupo

En este grupo se encuentran los aceros de baja aleación, se destaca como principales características: su resistencia al choque, maquinabilidad, tenaces, pero débilmente resistentes al desgaste. Su contenido de carbono es de 0,40 y 0,70%, el que se disuelve completamente en la austenita durante el tratamiento térmico, con lo cual aumentando la dureza de temple en razón al contenido de carbono, de lo que se deduce que al aumentar el carbono en el acero aumenta la dureza y al disminuir el carbono la dureza es menor. La dureza máxima que alcanza es de 60 HRC, y es mínima la proporción de austenita retenida presente en la estructura de temple. Estos aceros se utilizan en la fabricación de matrices, estampas y útiles que procesen metales de distintos formatos: plancha y perfiles con espesores no mayores a 8 mm.

²¹ ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS ACEROS DE HERRAMIENTAS, SU UTILIZACIÓN Y TRATAMIENTO TERMICO; Manuel Antonio Martínez Baena y José M^a Palacios.

Segundo Grupo

Los aceros del segundo grupo son aceros de media aleación con un contenido de carbono comprendido entre 0,40 y 1,00% de carbono. Después del temple con revenido, poseen menor tenacidad y mayor resistencia al desgaste que los aceros del primer grupo. Los aceros de más bajo carbono, como se puede apreciar, son aceros aleados con Cr = 5%, Mo = 1,30% y V = 0,50 ÷ 1,00%. Éstos son aceros universalmente utilizados para trabajos en caliente, pero se los utiliza en la fabricación de ciertas herramientas para trabajos en frío; esto se da en útiles que necesiten una elevada tenacidad, sacrificando sensiblemente su nivel de dureza y resistencia al desgaste. Después del temple se alcanzan durezas entre 54 ± 1 HRC; su estructura está compuesta de martensita y carburos M (Cr) $7C_3$ no disueltos, en un volumen aproximado al 5%. La dureza de estos carburos es significativamente mayor que la dureza de la martensita donde se ubican; ya que dichos carburos pueden alcanzar los 68 HRC. Los aceros de este grupo se emplean en la construcción de matrices, estampas y útiles que conforman y procesan materiales metálicos de distintos formatos: planchas y perfiles con espesores comprendidos entre los 3 a 8 mm.

Tercer Grupo

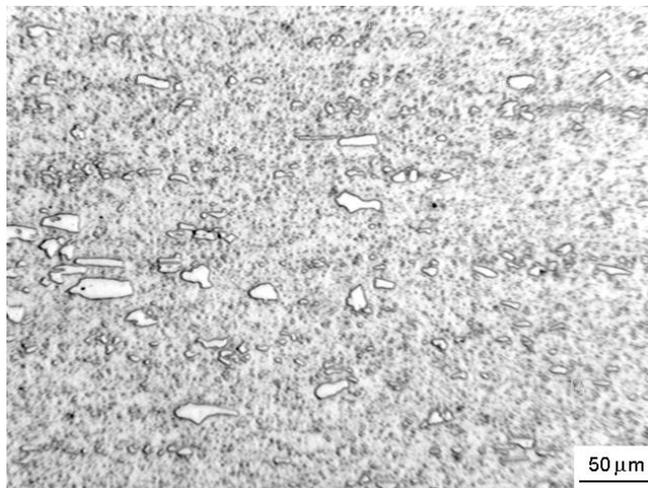


Figura 0-1 Acero AISI D2²²

Se compone de los siguientes aceros ledeburíticos:

Aceros al cromo (Cr = 12%); y aceros rápidos con menor y mayor contenido de carbono del 0,85 y 1,30%. Todos ellos de gran aleación y carbonos significativamente elevados. Su alto contenido de carbono permite separar, al final

²² www.villaresmetals.com

de la solidificación del metal, un carburo eutéctico llamado ledeburita, del cual proviene su nombre de: aceros ledeburíticos.

La cantidad de carburos M (Cr)7 C3 y M (V, Mo) C depende del contenido de carbono en el acero, y de los elementos aleantes. Estos carburos, son mucho más duros que la cementita y se encuentran repartidos, de una forma más o menos regular en la masa del acero, en porcentajes significativamente altos en un rango del 20% del volumen. Los aceros ledeburíticos después del templado, presentan una considerable proporción de austenita retenida, alcanzan durezas de temple al rededor de los 63 y 65 HRC. Una vez templados y revenidos consiguen, una muy buena resistencia al desgaste, alta resistencia a la compresión, y una moderada baja tenacidad.

Los aceros de este grupo se emplean en la construcción de herramientas y útiles que procesan materiales metálicos duros de distintos formatos: planchas y perfiles, normalmente, de espesores menores o iguales a 3 mm.

3.3. MATERIALES PARA CHAPA

La selección del material a emplear en la fabricación de los cajetines rectangulares, van a estar condicionado por los procesos de corte, embutición y las características que estos procesos impongan para la obtención del producto final. Las principales chapas metálicas son:

Tabla 3-3 Características de las principales chapas metálicas²³

METALES		Carga de rotura	Alargamiento	Profundidad Ericksen	Presión sujetador
		Kg/mm ²	%	mm	Kg/cm ²
Acero	Para troquelar	36	20	9	28
	De embutición	33	24	10	25
	De embutición profunda	35	26	10,4	24
	Para carrocería	36	25	10,6	22
	Al silicio	48	-	-	-
	Inoxidable	55	23	13	20
Hojalata		32	20	9,5	30
Cobre		23	37	12	20
Bronce	De estaño	45	10	10	25
	De aluminio	35	40	11,5	20
Latón	LT 71	30	45	14,5	20
	LT 60 a 63 Dulce	33	45	13,5	22
	Semiduro	39	25	12	22
Zinc		13	56	8	12
Aluminio	Dulce	9	25	10	10
	Semiduro	12	8	8,5	12
	Duro	15	5	7	15
Duraluminio	Dulce	20	19	10	10
	Agrio	40	12	8	12
Niquel		47	45	12	20
Monel		50	40	11	18
Alpaca		40	30	-	-

²³J. DE KONINCK D. GUTTER; MANUAL DEL TÉCNICO MATRICERO; Pag. 8.

Chapa de Acero

Las chapas de acero dependen principalmente del material inicial, estado de la superficie y el tratamiento aplicado, deben poseer resistencia a la rotura de 30 a 38 Kgf/m² y un porcentaje de alargamiento entre 25 a 32%.

Las chapa mas empleada es la del tipo F-1111 (UNE-EN), para embuticiones profundas las chapas de acero tienen que poseer un contenido de carbono de 0,05 a 0,1%, en manganeso de 0,3 a 0,5%, el acero al manganeso (13 a 14%) el acero inoxidable (18Cr, 8Ni) y el acero silicio (chapas magnéticas).

Chapa de aluminio

Utilizadas para el trabajo de estampado en frío, por ser un material blando, debe manipularse según sus limitaciones para no deformar el fleje y la pieza terminada.

Las chapas de aluminio se clasifican según su pureza y su calidad (recocido, semiduro y duro), tenemos como principales aleaciones que se en la práctica a:

Aleaciones sin tratamiento térmico:

- Aleaciones al manganeso (Al, Mn)
- Aleaciones al magnesio (AL, Mg)

Aleaciones con tratamiento térmico:

- Aleaciones sin cobre (Al, Mg, Si, Mn)
- Aleaciones con cobre (Al, Cu, Mg, Si) duraluminio.

Chapas de latón

Para su utilización este tipo de chapa debe pasar por un proceso térmico, y se clasifica según:

- Su contenido de cobre el cual puede ser de: 63-67-72-85 %.
- Su calidad: blando, semiduro y duro.

Las chapas de cobre son:

Metal dulce: con una resistencia a la rotura de 22 a 25 Kgf/mm² y alargamiento de 31 a 42 %.

Metal agrio: Con una resistencia a la rotura de 45 Kgf/mm² y un porcentaje de alargamiento de 1 a 2 %.

Aleaciones de Níquel

Monel: Ni, Cu, Mg.

Inconel: Ni, Cr, Fe, Mn.

La Alpaca se encuentra entre otros metales más utilizados, esta es una aleación que se encuentra compuesta de: Cu, Ni, Zn, también se lo denomina como maillechort.

3.4. PROCESOS DE PRODUCCIÓN

3.4.1. TORNEADO

El torneado es una operación de mecanizado que consiste en hacer girar la pieza sobre su propio eje mientras una o varias herramientas de corte tienen un movimiento regulado de avance contra su superficie removiendo viruta de forma periférica, obteniendo una geometría definida.

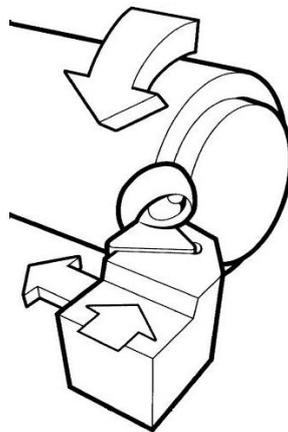


Figura 0-2 Torneado²⁴

Para efectuar el torneado se requiere de accesorios adecuados para fijar las piezas en la máquina y de las herramientas adecuadas que permiten realizar todas las operaciones de torneado que cada pieza requiera.

Mediante el torneado podemos obtener superficies: cilíndricas, planas, cónicas, esféricas, perfiladas y roscadas.

²⁴ <http://isa.umh.es>

3.4.1.1. Torno

Es una máquina herramienta que permite mecanizar piezas de forma geométrica de revolución.

El torno es una máquina que trabaja en el plano porque solo funciona en dos ejes, normalmente denominados Z y X.

Desde el punto de vista mecánico, las principales partes que conforman un torno son:

Cabezal: contiene los engranajes o poleas que impulsan la pieza de trabajo y las unidades de avance. Incluye el motor, el husillo, el selector de velocidad, el selector de unidad de avance y el selector de sentido de avance. Además proporciona el soporte y el par necesario para la rotación de la pieza de trabajo que se apoya en el husillo.

Bancada: sirve de soporte para las otras unidades del torno. En su parte superior lleva unas guías por las que se desplaza el contrapunto y el carro principal. Es de un material rígido y esbelto que soporta los demás componentes

Contrapunto: es el elemento que se utiliza para apoyo cuando se coloca piezas que son torneadas entre puntos, así como otros elementos tales como portabrocas o brocas para hacer taladros en el centro de los ejes. Este contrapunto puede moverse y fijarse en diversas posiciones a lo largo de la bancada.

Carro Principal: consta del carro principal, que produce los movimientos de avance y profundidad de pasada. Se desliza de forma paralelamente al eje de rotación de la pieza sobre el eje Z.

Carro Superior: está ubicado sobre el principal y se desliza en dirección radial a la pieza sobre el eje X. Este formado a su vez por tres partes: la base, el charriot y el portaherramientas. Su base está apoyada sobre una plataforma giratoria para orientarlo en cualquier dirección.

Mandril: sujeta la pieza de trabajo en el cabezal y transmite el movimiento de rotación.

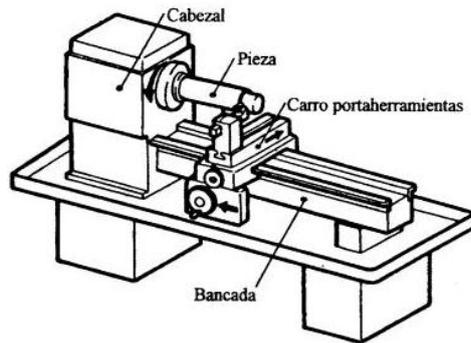


Figura 0-3 Partes de un Torno²⁵

3.4.1.2. Operaciones y tipos de torneado

En un torno paralelo universal se pueden realizar las siguientes operaciones de torneado:

Torneado exterior:

Se puede realizar: Cilindrado, Refrentado, Ranurado, Roscado, Moleteado, Cilindrado cónico, Cilindrado esférico, Trozado, Chaflanado y Espirales.

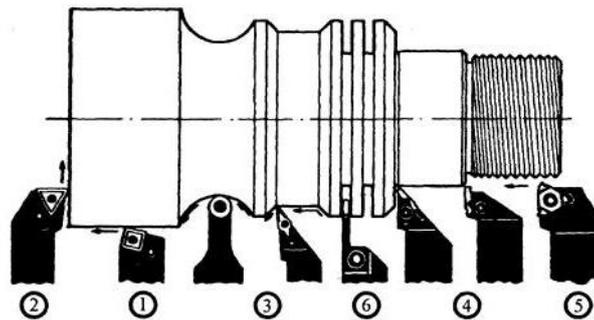


Figura 0-4 Torneado Exterior²⁶

Tabla 3-4 Tipos de torneado exterior²⁷

Nº	Operación
1	Cilindrado
2	Refrentado
3	Copiado hacia fuera o dentro
4	Cortes perfilados
5	Roscado
6	Trozado o Segado

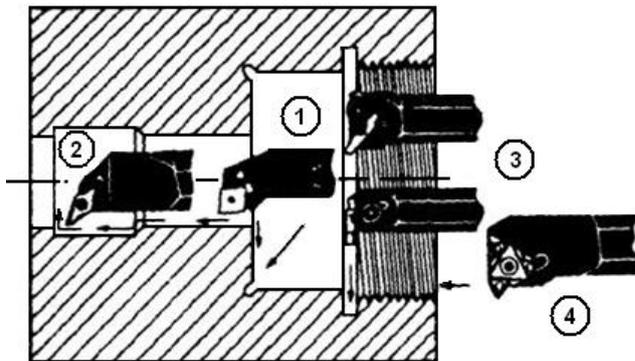
²⁵ <http://isa.umh.es>

²⁶ <http://isa.umh.es>

²⁷ <http://isa.umh.es>

Torneado interior

Comprende a: Taladrado, Mandrinado, Ranurado, Mandrinado cónico, Mandrinado esférico, Roscado, Refrentado interior, Chaflanado interior.



Nº	Operación
1	Cilindrado
2	Refrentado
3	Perfilado/ Copiado
5	Roscado

Figura 0-5 Torneado interior²⁸

3.4.1.3. Tipos de tornos

Actualmente se utilizan en las industrias de mecanizados los siguientes tipos de tornos que dependen de la cantidad de piezas a mecanizar por serie, de la complejidad de las piezas y de la envergadura de las piezas

Torno paralelo



Figura 0-6 Torno paralelo²⁹

Es el tipo de torno más universal y generalizado de las que existe en el taller mecánico. En el mundo que evolucionó partiendo de los tornos antiguos cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramientas más importantes existidas. Sin embargo, en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.

Torno coprador

²⁸ <http://isa.umh.es>

²⁹ www.wikipedia.com

Es un tipo de torno que operando con un dispositivo hidráulico y electrónico permite el torneado de piezas de acuerdo a las características de la misma siguiendo el perfil de una plantilla que reproduce el perfil de la pieza.

Este tipo de tornos se utiliza para el torneado de aquellas piezas que tienen diferentes escalones de diámetros, que han sido previamente forjadas o fundidas y que tienen poco material excedente. También son muy utilizados estos tornos en el trabajo de la madera y del mármol artístico para dar forma a las columnas embellecedoras. La preparación para el mecanizado en un torno copiado es muy sencilla y rápida y por eso estas máquinas son muy útiles para mecanizar lotes o series de piezas que no sean muy grandes.

Torno revólver

Es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas sobre las que sea posible el trabajo simultáneo de varias herramientas con el fin de disminuir el tiempo total de mecanizado. Las piezas que presentan esa condición son aquellas que, partiendo de barras, tienen una forma final de casquillo o similar. Una vez que la barra queda bien sujeta mediante pinzas o con un plato de garras, se va taladrando, mandrinando, roscando o escariando la parte interior mecanizada y a la vez se puede ir cilindrando, refrentando, ranurando, roscando y cortando con herramientas de torneado exterior.

Torno automático

Es un tipo de torno cuyo proceso de trabajo está enteramente automatizado, es capaz de mecanizar piezas muy pequeñas con tolerancias muy estrechas.

Estos tornos pueden ser de un solo husillo o de varios husillos. Los de un solo husillo se emplean básicamente para el mecanizado de piezas pequeñas que requieran grandes series de producción.

Cuando se trata de mecanizar piezas de dimensiones mayores se utilizan los tornos automáticos multihusillos donde de forma programada en cada husillo se va realizando una parte del mecanizado de la pieza. Como los husillos van cambiando de posición, el mecanizado final de la pieza resulta muy rápido porque todos los husillos mecanizan la misma pieza de forma simultánea.

Torno vertical



Figura 0-7 Torno Vertical³⁰

Es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras u otros operadores y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.

Esta clase de tornos tienen el eje dispuesto verticalmente y el plato giratorio sobre un plano horizontal, lo que facilita el montaje de las piezas voluminosas. El tamaño identifica a estas máquinas, permite el mecanizado de piezas de gran tamaño.

Torno CNC

Es un tipo de torno operado mediante control numérico por computadora. Se caracteriza por ser una máquina herramienta muy eficaz para mecanizar piezas de revolución.



Figura 0-8 Torno CNC³¹

Ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque la trayectoria de la herramienta de torneado es controlada a través del ordenador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en un software que previamente ha

³⁰ www.wikipedia.com

³¹ www.wikipedia.com

confeccionado un programador conocedor de la tecnología de mecanizado en torno. Es una máquina ideal para el trabajo en serie y mecanizado de piezas complejas.

Las herramientas van sujetas en un cabezal en número de seis u ocho mediante unos portaherramientas especialmente diseñados para cada máquina. Las herramientas entran en funcionamiento de forma programada, permitiendo a los carros horizontal y transversal trabajar de forma independiente y coordinada, con lo que es fácil mecanizar ejes cónicos o esféricos así como el mecanizado integral de piezas complejas.

La velocidad de giro de cabezal portapiezas, el avance de los carros longitudinal y transversal y las cotas de ejecución de la pieza están programadas y, por tanto, exentas de fallos imputables al operario de la máquina.

3.4.1.4. **Parámetros**

Existen seis parámetros que deben ser considerados dentro del torneado:

Velocidad de corte

Se define como la velocidad lineal de la periferia de la pieza que está en contacto con la herramienta. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto y tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado.

Su valor depende de muchos factores: especialmente de la calidad y tipo de herramienta que se utilice, de la profundidad de pasada, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada.

Las limitaciones principales de la máquina son su gama de velocidades, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta.

A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el cabezal del torno, según la fórmula:

$$V_c = \frac{n \cdot \pi \cdot D_c}{1000} \quad (3.1)$$

Donde: V_c es la velocidad de corte (m/min); n es la velocidad de rotación de la herramienta (rev/min) y D_c es el diámetro de la pieza en mm.

La velocidad de corte es el factor principal que determina la duración de la herramienta. Una alta velocidad de corte permite realizar el mecanizado en menos

tiempo pero acelera el desgaste de la herramienta. Los fabricantes de herramientas y prontuarios de mecanizado, ofrecen datos orientativos sobre la velocidad de corte adecuada de las herramientas para una duración determinada de la herramienta

Si la velocidad de corte es excesiva puede dar lugar a un desgaste muy rápido del filo de corte de la herramienta, a una deformación plástica del filo de corte con pérdida de tolerancia del mecanizado o puede generar calidad del mecanizado deficiente.

Si la velocidad de corte es demasiado baja puede dar lugar a formación de filo de aportación en la herramienta, causar un efecto negativo sobre la evacuación de viruta y baja productividad.

Velocidad de rotación de la pieza

La velocidad de rotación del cabezal del torno se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm).

En los tornos convencionales hay una gama limitada de velocidades, que dependen de la velocidad de giro del motor principal y del número de velocidades de la caja de cambios de la máquina. En los tornos de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación que habitualmente utiliza un variador de frecuencia y puede seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima.

La velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte y al diámetro de la pieza.

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \quad (3.2)$$

Donde: V_c es la velocidad de corte en (m/min); n es la velocidad de rotación de la herramienta (rev/min) y D_c es el diámetro de la pieza (mm).

Profundidad de pasada

Es distancia entre superficie sin cortar y cortada, medida perpendicularmente al movimiento de avance de la herramienta, se mide en mm

Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el torneado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El

avance de la herramienta de corte es un factor muy importante en el proceso de torneado.

Cada herramienta puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la pieza, denominado *avance por revolución* (f_z). Este rango depende fundamentalmente del diámetro de la pieza, de la profundidad de pasada y de la calidad de la herramienta. Este rango de velocidades se determina experimentalmente y se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas.

$$\bar{S} = N \cdot F \quad (3.3)$$

Donde: N es la velocidad de rotación de la pieza (rpm); F es el avance por revolución medido $\left(\frac{mm}{rev}\right)$

Al igual que con la velocidad de rotación de la herramienta, en los tornos convencionales la velocidad de avance se selecciona de una gama de velocidades disponibles, mientras que los tornos de control numérico pueden trabajar con cualquier velocidad de avance hasta la máxima velocidad de avance de la máquina.

La elevada velocidad de avance da lugar a un buen control de viruta, menor tiempo de corte, menor desgaste de la herramienta, presenta riesgo más alto de rotura de la herramienta y elevada rugosidad superficial del mecanizado.

La velocidad de avance baja da lugar a viruta más larga, mejora de la calidad del mecanizado, desgaste acelerado de la herramienta, mayor duración del tiempo de mecanizado y eleva el costo del mecanizado

Tiempo de torneado:

Es el tiempo que tarda la herramienta en efectuar una pasada.

$$T = \frac{L}{F} \quad (3.4)$$

Donde: T es el tiempo en (min); L es Longitud de pasada (mm) y F es el avance por revolución (mm/min).

Fuerza de corte

La fuerza de corte es un parámetro necesario para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado.

Este parámetro está en función de K_s que depende de: el avance de la herramienta, de la profundidad de pasada, del ángulo de posición, de la velocidad de corte, de la maquinabilidad del material, de la dureza del material, de las características de la herramienta y del espesor medio de la viruta.

Potencia de corte

La potencia de corte P_c necesaria para efectuar un determinado mecanizado se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la máquina. Se expresa en kilovatios (kW).

Esta fuerza específica de corte F_c , es una constante que se determina por el tipo de material que se está mecanizando, geometría de la herramienta, espesor de viruta, etc.

$$P_c = \frac{A_c \cdot p \cdot f \cdot F_c}{60 \cdot 10^6 \cdot \rho} \quad (3.5)$$

Donde: P_c es la potencia de corte (Kw); A_c es el diámetro de la pieza (mm); f es la velocidad de avance (mm/min); F_c es la fuerza específica de corte (N/mm²) y ρ es el rendimiento o la eficiencia de la máquina

3.4.2. FRESADO

Es una operación de mecanizado con arranque viruta que consiste en desplazar una pieza en el espacio con un movimiento regulado de avance hacia una herramienta rotativa de corte de varios filos, denominada fresa, para obtener de esta manera una geometría definida.

3.4.2.1. Fresadora

Es una máquina herramienta que trabaja en el espacio porque funciona en los tres ejes, normalmente denominados X, Y y Z. Desde el punto de vista mecánico, las principales partes que conforman una fresadora son:

Base: permite un correcto apoyo de la fresadora en el suelo.

Cuerpo o bastidor: Tiene forma de columna y se apoya sobre la base. En su parte frontal tiene unas guías para el movimiento de la consola y unos mandos para el accionamiento y control de la máquina.

Consola: Se desliza verticalmente sobre las guías del cuerpo y sirve de sujeción para la mesa.

Mesa: Tiene una superficie ranurada sobre la que se sujeta la pieza a conformar. La mesa se apoya sobre dos carros que permiten el movimiento longitudinal y transversal de la mesa sobre la consola.

Puente: Es una pieza apoyada en voladizo sobre el bastidor donde se aloja el portaherramientas.

Portaherramientas (Husillo): Es el apoyo de la herramienta y le transmite el movimiento de rotación del mecanismo de accionamiento alojado en el interior del bastidor.

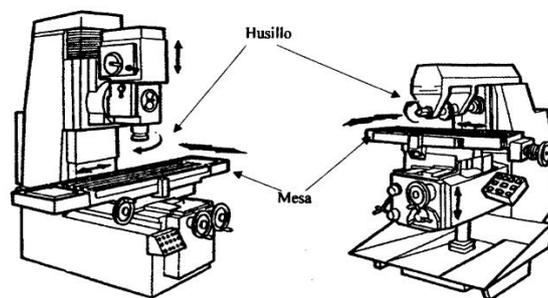
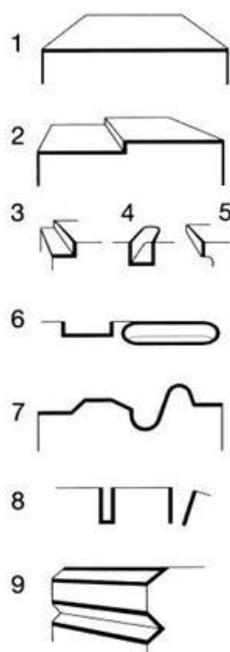


Figura 0-9 Partes de una Fresadora ³²

3.4.2.2. Operaciones movimientos de de fresado

En las fresadoras universales utilizando los accesorios adecuados se pueden realizar las siguientes operaciones:



Nº	Operación
1	Planeado en escuadra
2	Escuadrado
3	Ranurado
5	Canteado
6	Vaciado o Alojamiento
7	Copiado
8	Ranurado y corte
9	Chaflán

Figura 0-10 Operaciones de Fresado ³³

³² www.isa.umh.es

³³ www.isa.umh.es

3.4.2.3. Movimientos

Movimientos de la herramienta

El principal movimiento de la herramienta es el giro sobre su eje. En algunas fresadoras también es posible variar la inclinación de la herramienta o incluso prolongar su posición a lo largo de su eje de giro. En las fresadoras de puente móvil todos los movimientos los realiza la herramienta mientras permanece la pieza inmóvil.

Movimientos de la mesa

La mesa de trabajo se puede desplazar de forma manual o automática con avances de trabajo o avances rápidos. Para ello cuenta con una caja de avances expresado de mm/minuto donde es posible seleccionar el avance de trabajo adecuado de acuerdo con las condiciones tecnológicas del mecanizado.

- *Movimiento longitudinal:* según el eje X, que corresponde generalmente al movimiento de trabajo. Para facilitar la sujeción de las piezas la mesa está dotada de unas ranuras en forma de T para permitir la fijación de mordazas u otros elementos de sujeción de las piezas y además puede inclinarse para el tallado de ángulos.
- *Movimiento transversal:* según el eje Y, que corresponde al desplazamiento transversal de la mesa de trabajo. Se utiliza básicamente para posicionar la herramienta de fresar en la posición correcta.
- *Movimiento vertical:* según el eje Z que corresponde al desplazamiento vertical de la mesa de trabajo. Con el desplazamiento de este eje se establece la profundidad de corte del fresado.
- *Giro respecto a un eje horizontal:* según el grado de libertad U. Se obtiene con un cabezal divisor o con una mesa oscilante.
- *Giro respecto a un eje vertical:* en algunas fresadoras pueden girar la mesa 45° a cada lado, en otras la mesa puede dar vueltas completas.

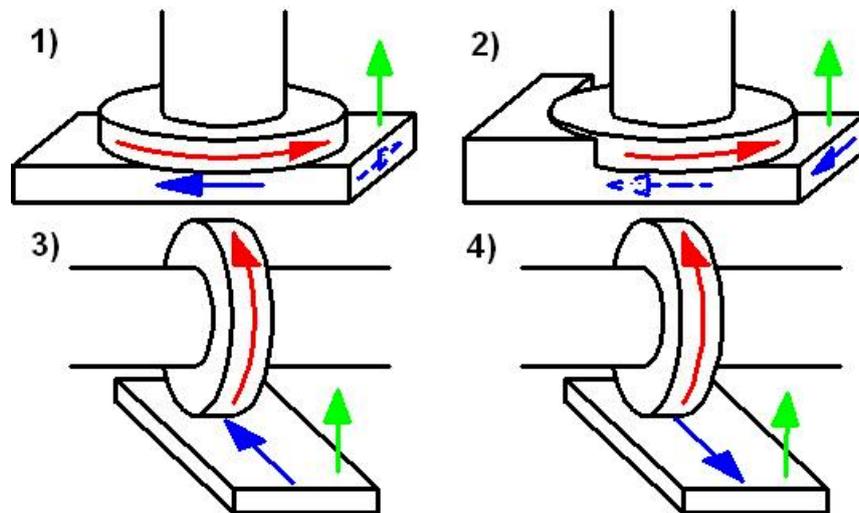
Movimiento relativo entre pieza y herramienta

Este movimiento relativo puede clasificarse en tres tipos básicos:

Corte: es el que realiza la punta de la herramienta alrededor del eje del portaherramientas.

Avance: es el movimiento de aproximación de la herramienta desde la zona cortada a la zona sin cortar.

Profundización, de perforación, o de profundidad de pasada: es un tipo de movimiento de avance que se realiza para aumentar la profundidad del corte.



■ Movimiento de corte. ■ Movimiento de avance. ■ Movimiento de profundidad de pasada.

Nº	Movimiento del Fresado
1	Frontal
2	Frontal y Tangencial
3	Tangencial en oposición
4	Tangencial en concordancia

Figura 0-11 Movimientos relativos en el Fresado ³⁴

3.4.2.4. Tipos de fresadoras

Dependiendo de la orientación del eje de giro de la herramienta de corte, se distinguen los siguientes tipos de fresadoras:

Fresadora horizontal

Utiliza fresas cilíndricas que se montan sobre un eje horizontal accionado por el cabezal de la máquina y apoyado por un extremo sobre dicho cabezal y por el otro sobre un rodamiento situado en el puente deslizante llamado carnero.

Esta máquina permite realizar principalmente trabajos de ranurado, con diferentes perfiles o formas de las ranuras.

³⁴ www.wikipedia.com



Figura 0-12 Fresadora Horizontal³⁵

Fresadora vertical

En las fresadoras verticales el eje del husillo está orientado verticalmente, perpendicular a la mesa de trabajo. Las fresas de corte se montan en el husillo y giran sobre su eje. En general, puede desplazarse verticalmente, bien el husillo, o bien la mesa, lo que permite profundizar el corte. Hay dos tipos de fresadoras verticales: las fresadoras de banco fijo o de bancada y las fresadoras de torreta o de consola. En una fresadora de torreta, el husillo permanece estacionario durante las operaciones de corte y la mesa se mueve tanto horizontalmente como verticalmente. En las fresadoras de banco fijo, sin embargo, la mesa se mueve sólo perpendicularmente al husillo, mientras que el husillo en sí se mueve paralelamente a su propio eje.

Fresadora universal

Tiene un husillo para el acoplamiento de ejes portafresas horizontales y un cabezal que se adapta al husillo principal de la máquina y que la convierte en una fresadora vertical. Su ámbito de aplicación está limitado principalmente por el costo y por el tamaño de las piezas que se pueden trabajar.

En las fresadoras universales, al igual que en las horizontales, el puente es deslizante, conocido en el argot como "carnero", puede desplazarse de delante a detrás y viceversa sobre unas guías.

³⁵ www.wikipedia.com

Fresadoras especiales

Además de las fresadoras tradicionales existen otras fresadoras con características especiales.

Fresadora circular

Tiene una amplia mesa circular giratoria que permite realizar varias operaciones sobre una pieza. Puede tener varios cabezales, por ejemplo, uno para operaciones de desbaste y otro para operaciones de acabado. Además pueden montarse y desmontarse piezas en una parte de la mesa mientras se mecanizan piezas en el otro lado.

Fresadora copiadora

Dispone de dos mesas: una de trabajo sobre la que se sujeta la pieza a mecanizar y otra auxiliar sobre la que se coloca un modelo. El eje vertical de la herramienta está suspendido de un mecanismo con forma de pantógrafo que está conectado también a un palpador sobre la mesa auxiliar. Al seguir con el palpador el contorno del modelo, se define el movimiento de la herramienta que mecaniza la pieza.

Fresadora de puente móvil

En lugar de moverse la mesa se mueve la herramienta en una estructura similar a un puente grúa.

3.4.2.5. Parámetros

Existen algunos parámetros que deben ser considerados dentro del fresado:

Velocidad de corte

Se define como velocidad de corte la velocidad lineal de la periferia de la fresa u otra herramienta que se utilice en el fresado. La velocidad de corte, que se expresa en metros por minuto (m/min), tiene que ser elegida antes de iniciar el mecanizado y su valor adecuado depende de muchos factores, especialmente de la calidad y tipo de fresa que se utilice, de la dureza y la maquinabilidad que tenga el material que se mecanice y de la velocidad de avance empleada. Las limitaciones principales de la máquina son su gama de velocidades, la potencia de los motores y de la rigidez de la fijación de la pieza y de la herramienta. A partir de la determinación de la velocidad de corte se puede determinar las revoluciones por minuto que tendrá el husillo portafresas según la siguiente fórmula:

$$V_c = \frac{n \cdot \pi \cdot D_c}{1000} \quad (3.6)$$

Parámetros similares a los de la formula (3.1)

La velocidad de corte es el principal factor que determina la duración de la herramienta.

Velocidad de rotación de herramienta

La velocidad de rotación del husillo portaherramientas se expresa habitualmente en revoluciones por minuto (rpm). En las fresadoras convencionales hay una gama limitada de velocidades, que dependen de la velocidad de giro del motor principal y del número de velocidades de la caja de cambios de la máquina.

En las fresadoras de control numérico, esta velocidad es controlada con un sistema de realimentación que habitualmente utiliza un variador de frecuencia y puede seleccionarse una velocidad cualquiera dentro de un rango de velocidades, hasta una velocidad máxima.

La velocidad de rotación de la herramienta es directamente proporcional a la velocidad de corte y al diámetro de la herramienta.

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \quad (3.6)$$

Parámetros similares a los de la formula (3.2)

Velocidad de avance

El avance o velocidad de avance en el fresado es la velocidad relativa entre la pieza y la herramienta, es decir, la velocidad con la que progresa el corte. El avance y el radio de la punta de la herramienta de corte son los dos factores más importantes de los cuales depende la rugosidad de la superficie obtenida en el fresado.

Cada fresa puede cortar adecuadamente en un rango de velocidades de avance por cada revolución de la herramienta, denominado avance por revolución f_z . Este rango depende fundamentalmente de número de dientes de la fresa, del tamaño de cada diente y de la profundidad de corte, además del tipo de material de la pieza y de la calidad y el tipo de plaquita de corte. Este rango de velocidades se determina experimentalmente y se encuentra en los catálogos de los fabricantes. El avance

por revolución es el producto del avance por diente por el número de dientes de la herramienta.

$$f_n = f_z * z \quad (3.7)$$

Donde: f_n es el avance por revolución (mm/rev); f_z es el avance por diente (mm/diente) y z es el número de dientes de la herramienta (diente/rev).

La velocidad de avance es el producto del avance por revolución por la velocidad de rotación de la herramienta.

$$f = f_n * n = f_z * z * n \quad (3.8)$$

Al igual que con la velocidad de rotación de la herramienta, en las fresadoras convencionales la velocidad de avance se selecciona de una gama de velocidades disponibles, mientras que las fresadoras de control numérico pueden trabajar con cualquier velocidad de avance hasta la máxima velocidad de avance de la máquina.

Profundidad de corte o de pasada

La profundidad de corte o profundidad de pasada (p) es la profundidad de la capa arrancada de la superficie de la pieza en una pasada de la herramienta. Habitualmente se expresa en milímetros.

El ancho de corte (s), expresado en mm, es la anchura de la parte de la pieza implicada en el corte.

Estos parámetros hay que tenerlos en cuenta por la influencia que tiene en el cálculo de la sección de viruta y consecuentemente en la fuerza de corte necesaria para poder realizar el mecanizado.

La profundidad de pasada se establece a priori y depende principalmente de las creces de material a mecanizar, del grado de precisión dimensional a conseguir, de la potencia de la máquina y de la relación con respecto al avance seleccionado y de parámetros propios de la plaquita de corte como su tamaño, el radio de la punta y su perfil.

Espesor y sección de viruta

La relación que existe entre el avance por diente de la fresa y la profundidad de pasada, constituye la sección de la viruta.

La sección de viruta guarda también relación con el tipo de fresado que se realice.

$$S = p * f_z \quad (3.9)$$

Donde: S es la sección de viruta (mm²); p es la profundidad de pasada (mm) y f_z es el avance por diente de la fresa (mm)

El espesor de la viruta corresponde al avance por diente de la fresa. El control de la sección y del espesor de la viruta son factores importantes a la hora de determinar el proceso de mecanizado. Cuanto menor sea el espesor de la viruta en el momento del arranque, la carga del filo será menor y esto permitirá aplicar mayores velocidades de avance por diente sin dañar al mismo, teniendo que reducir la profundidad de corte debido a los menores ángulos de posicionamiento de los filos.

Volumen de viruta arrancado

En el fresado tangencial, el volumen de viruta arrancado por minuto se expresa cm³ por minuto y se obtiene de la siguiente fórmula:

$$Q = \frac{A_c \cdot p \cdot f}{1000} \quad (3.10)$$

Donde: Q es el volumen de viruta arrancado por minuto (cm³/min); A_c es el ancho del corte (mm); p es la profundidad de pasada (mm) y f es la velocidad de avance (mm)

Tiempo de mecanizado

Para poder calcular el tiempo de mecanizado en una fresadora hay que tener en cuenta la longitud de aproximación y salida de la fresa de la pieza que se mecaniza. Esta longitud depende del tipo de fresado. El tiempo de mecanizado puede calcularse a partir de la siguiente ecuación.

$$T_m = \frac{L_a + L_p}{N} \quad (3.11)$$

Donde: T_m es el tiempo de mecanizado (min), L_a es la longitud de aproximación (mm), L_p es la longitud de la pieza (mm) y N es el avance (mm/min)

Fuerza específica de corte

La fuerza de corte es un parámetro necesario para poder calcular la potencia necesaria para efectuar un determinado mecanizado. Este parámetro está en función del avance de fresado, de la velocidad de corte, de la maquinabilidad del material, de la dureza del material, de las características de la herramienta y del espesor medio de la viruta. Todos estos factores se engloban en un coeficiente denominado K_x. La fuerza específica de corte se expresa en N/mm².

Potencia de corte

La potencia de corte P_c necesaria para efectuar un determinado mecanizado se calcula a partir del valor del volumen de arranque de viruta, la fuerza específica de corte y del rendimiento que tenga la fresadora. Se expresa en kilovatios (kW).

Esta fuerza específica de corte F_c , es una constante que se determina por el tipo de material que se está mecanizando, geometría de la herramienta, espesor de viruta, etc.

Para poder obtener el valor de potencia correcto, el valor obtenido tiene que dividirse por un determinado valor (ρ) que tiene en cuenta la eficiencia de la máquina. Este valor es el porcentaje de la potencia del motor que está disponible en la herramienta puesta en el husillo.

$$P_c = \frac{A_c \cdot p \cdot f \cdot F_c}{60 \cdot 10^6 \cdot \rho} \quad (3.12)$$

Donde: P_c es la potencia de corte (Kw); A_c es el ancho de corte (mm); p es la profundidad de pasada (mm); f es la velocidad de avance (mm/min); F_c es la fuerza específica de corte (N/mm²) y ρ es el rendimiento o la eficiencia de la máquina

3.4.3. RECTIFICADO

Es una operación de mecanizado con arranque de material, que tiene por finalidad corregir las imperfecciones de carácter geométrico, dimensional o para conseguir un buen acabado superficial.

Estos defectos se producen durante las operaciones de manufactura de piezas, sea generado por los procesos de maquinado convencionales o por tratamientos térmicos que también producen deformaciones en la forma.

Por lo tanto con el rectificado se puede corregir: excentricidad, circularidad, rugosidad, etc. y por otro lado llevar las dimensiones de una pieza a las tolerancias especificadas según su diseño.

Hoy en día este proceso se ha extendido a piezas de acero sin templar, bronce, aluminio y fundición. Debido a las actuales exigencias de la industria de tener superficies deslizantes con mayor resistencia al desgaste y tolerancias dimensionales más estrechas.

3.4.3.1. Rectificadora

Es una máquina herramienta, utilizada para conseguir mecanizados de precisión por medio de una herramienta de desbaste consistente en discos abrasivos robustos, conocidos como muelas las que gira a alta velocidad, muchas veces a una operación de rectificado le siguen otras de *pulido* y *lapeado*.

3.4.3.2. Tipos de Rectificadoras

Las máquinas rectificadoras para piezas metálicas consisten básicamente en un bastidor que contiene una muela giratoria compuesta de granos abrasivos muy duros y resistentes al desgaste y a la rotura.

La velocidad de giro de las muelas es muy elevada, pudiendo llegar a girar a 30.000 rpm, dependiendo del diámetro de la muela.

Según sean las características de las piezas a rectificar se utilizan diversos tipos de rectificadoras, siendo las más destacadas las siguientes:

Rectificadoras para superficies planas

Conocidas como planeadoras y tangenciales son sencillas de manejar, consisten en un cabezal provisto de la muela y un carro longitudinal que se mueve en forma de vaivén, donde va sujeta la pieza que se rectifica. La pieza muchas veces se sujeta en una plataforma magnética. Las piezas más comunes que se rectifican en estas máquinas son matrices, calzos y ajustes con superficies planas.



Figura 0-13 Rectificadora planeadora³⁶

³⁶ Imagen obtenida de la web es.wikipedia.org

Rectificadora sin centros (centerless)

Consta de dos muelas y se utilizan para el rectificado de pequeñas piezas cilíndricas, como bulones, casquillos, pasadores, etc. Son máquinas que permite automatizar la alimentación de las piezas y por tanto tener un funcionamiento continuo y por tanto la producción de grandes series de la misma pieza.

Rectificadoras universales

Son las rectificadoras más versátiles que existen porque pueden rectificar todo tipo de rectificados en diámetros exteriores de ejes, como en agujeros si se utiliza el cabezal adecuado. Son máquinas de gran envergadura cuyo cabezal portamuelas tiene un variador de velocidad para adecuarlo a las características de la muela que lleva incorporado y al tipo de pieza que rectifica.

3.4.3.3. Muelas

La herramienta usada con exclusividad en las rectificadoras y afiladoras son las muelas. Se fabrican de distintos materiales de acuerdo a las características del trabajo a realizar.

Sus componentes elementales son: el material abrasivo o cortante y el medio aglutinante o cemento. Los abrasivos más comúnmente usados pueden dividirse en dos grupos, naturales y artificiales. Los abrasivos naturales más usados son el cuarzo y el óxido de aluminio.

El cuarzo es bióxido de silicio y se encuentra en forma de guijarros o arena. Se usa para construir muelas para afilar cuchillas de cepillos y garlopas, sierras, formones, etc. tienen una dureza de 6 a 7 en la escala de Mohs.

El oxido de aluminio más común es el conocido por el nombre de esmeril, con una dureza de 6 a 8. Otra calidad más pura de oxido de aluminio es el corindón, de una gran dureza que oscila entre 9 y 9,5. Es el material natural de mayor aplicación en la construcción de muelas.

El abrasivo de más poder por su gran dureza es el diamante, pero de costo sumamente elevado y destinado exclusivamente a trabajos especiales.

Los abrasivos artificiales son generalmente obtenidos a base de óxidos de aluminio y carburo de silicio. Son más duros y tenaces que los naturales debido a su mayor pureza. Los más comunes son, además del ya mencionado corundum, una serie de carburos de silicio conocidos comercialmente con los nombres de carborundum, carbosilita, carbolita, carbolón, cristolón y varios otros.

Los carburos de silicio se usan para el trabajo de materiales de poca resistencia a la tracción, tales como fundiciones de hierro, ebonita, vidrio, hueso, etc. Los óxidos de aluminio se usan para el labrado de materiales más tenaces: aceros templados, aceros endurecidos, aceros colados, etc. Ello se debe a que los carburos de silicio, a pesar de ser más duros que los óxidos de aluminio, tienen mayor fragilidad y menos tenacidad que estos.

Los materiales aglutinantes usados primitivamente en la contracción de las muelas eran de origen vegetal o sintético; se formaban con cola, resina, laca, celuloide y goma vulcanizada. También se usaron cementos minerales a base de magnesio y silicio.

Actualmente se usan aglutinantes cerámicos cocidos a altas temperaturas a base de arcillas, caolín, feldespato. Las muelas se construyen de distintas formas y tamaños, siempre de acuerdo a cada tipo de trabajo a realizar.

Son en realidad, elementos típicos para la fabricación en serie, pues para cada forma del esmerilado existe una forma de muela.

3.4.4. ACABADOS SUPERFICIALES

Uno de los paradigmas del mecanizado es lograr maximizar la tasa de arranque del material minimizando al mismo tiempo la tasa de desgaste de la herramienta, manteniendo la calidad superficial y dimensional de todas las piezas dentro de las especificaciones preestablecidas.

La calidad superficial de una pieza se mide con la integridad superficial que a parte de la topología de la superficie, tiene en cuenta las propiedades mecánicas y metalúrgicas muy importantes para la fatiga, resistencia a la corrosión o vida de servicio de la pieza.

La topología de superficie se identifica por su textura superficial, en la que se miden varias cantidades relacionadas con las desviaciones producidas en la pieza con respecto a la superficie nominal.

3.4.4.1. Rugosidad

Es el parámetro más representativo para describir la textura superficial debido a su influencia directa en la fricción, fatiga y resistencias electrónica y térmica.

Tiene gran repercusión en el mecanizado a alta velocidad considerando que una de las resaltantes más características son los grandes valores de avance que conllevan a pobres niveles de acabado superficial.

La rugosidad superficial se puede dividir en:

Ideal: resultado de la geometría de la pieza y de la velocidad de avance

Natural: resultado de las irregularidades del proceso de corte, tales como vibraciones, defectos en la estructura del material, desgaste en la herramienta, irregularidades en la formación de viruta entre otras.

Se puede definir la rugosidad superficial como:

$$Ra = \frac{f^2}{32r} \quad (3.13)$$

Donde: Ra Rugosidad superficial, f es el avance y r es el radio de la herramienta

Existen varios factores que afectan la rugosidad superficial como son:

Factores del proceso: son los que afectan a la máquina herramienta (rigidez, mecanismo de accionamiento), a la pieza (geometría y material) y a la sujeción de la pieza (rigidez de montaje y acceso a la zona a mecanizar).

Factores indirectos del proceso: son los que afectan a la herramienta (material, sujeción, geometría, desgaste y alineación de los filos) y las condiciones de corte (parámetros y estabilidad).

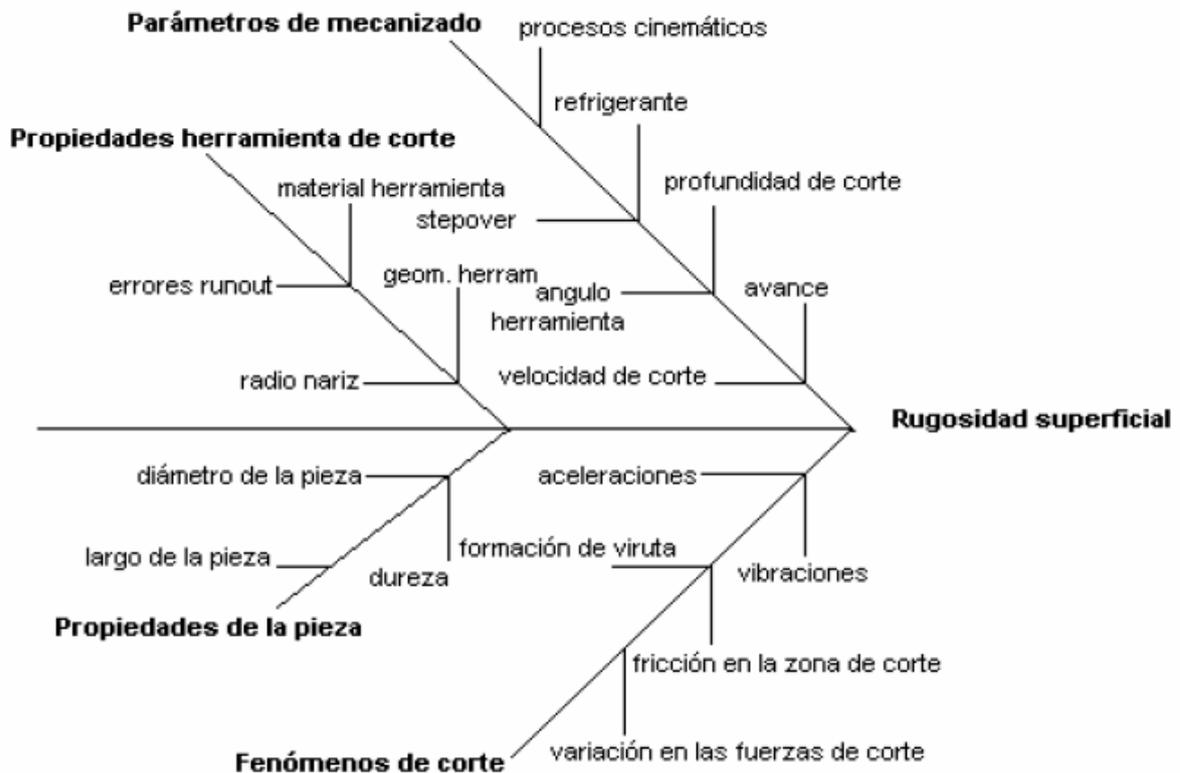


Figura 0-14 Factores que afectan la rugosidad superficial

3.4.5. NUEVAS TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN

La máquina herramienta ha jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo hasta el punto que no es una exageración decir que la tasa del desarrollo de máquinas herramientas gobierna directamente la tasa del desarrollo industrial.

Gracias a la utilización de la máquina herramienta se ha podido realizar de forma práctica, maquinaria de todo tipo que, aunque concebida y realizada, no podía ser comercializada por no existir medios adecuados para su construcción industrial.

Así, por ejemplo, si para la mecanización total de un número de piezas fuera necesario realizar las operaciones de fresado, mandrinado y perforado, es lógico que se alcanzaría la mayor eficacia si este grupo de máquinas herramientas estuvieran agrupadas, pero se lograría una mayor eficacia aún si todas estas operaciones se realizaran en una misma máquina. Esta necesidad, sumada a numerosos y nuevos requerimientos que día a día aparecieron forzó la utilización de nuevas técnicas que reemplazaran al operador humano. De esta forma se

introdujo el control numérico en los procesos de fabricación, impuesto por varias razones:

- Necesidad de fabricar productos que no se podían conseguir en cantidad y calidad suficientes sin recurrir a la automatización del proceso de fabricación.
- Necesidad de obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano.
- Necesidad de fabricar productos a precios suficientemente bajos.

Inicialmente, el factor predominante que condicionó todo automatismo fue el aumento de productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes como la precisión, la rapidez y la flexibilidad.

Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

3.4.5.1. CAD-CAM

CAD/CAM, proceso en el cual se utilizan los ordenadores o computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Éstos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio.

Los sistemas de Diseño Asistido por Ordenador CAD, acrónimo de Computer Aided Design pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, de las características de un determinado producto. Estas características podrían ser: el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenados como dibujos bidimensionales y tridimensionales.

Una vez que estos datos dimensionales han sido introducidos y almacenados en el sistema informático, el diseñador puede manipularlos o modificar las ideas del diseño con mayor facilidad para avanzar en el desarrollo del producto. Además, pueden compartirse e integrarse las ideas combinadas de varios diseñadores, ya que es posible mover los datos dentro de redes informáticas, con lo que los diseñadores e ingenieros situados en lugares distantes entre sí pueden trabajar como un equipo.

Los sistemas CAD también permiten simular el funcionamiento de un producto. Hacen posible verificar si un circuito electrónico propuesto funcionará tal y como está previsto, si un puente será capaz de soportar las cargas pronosticadas sin peligros e incluso si una salsa de tomate fluirá adecuadamente desde un envase de nuevo diseño.

Cuando los sistemas CAD se conectan a equipos de fabricación también controlados por ordenador conforman un sistema integrado CAD/CAM (CAM, acrónimo de Computer Aided Manufacturing).

La Fabricación Asistida por Ordenador ofrece significativas ventajas con respecto a los métodos más tradicionales de controlar equipos de fabricación con ordenadores en lugar de hacerlo con operadores humanos. Por lo general, los equipos CAM conllevan la eliminación de los errores del operador y la reducción de los costes de mano de obra.

Sin embargo, la precisión constante y el uso óptimo previsto del equipo representan ventajas aún mayores. Por ejemplo, las cuchillas y herramientas de corte se desgastarán más lentamente y se estropearían con menos frecuencia, lo que reduciría todavía más los costes de fabricación. Frente a este ahorro pueden aducirse los mayores costes de bienes de capital o las posibles implicaciones sociales de mantener la productividad con una reducción de la fuerza de trabajo.

Los equipos CAM se basan en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. Este Control Numérico por Computadora (CNC) se obtiene describiendo las operaciones de la máquina en términos de los códigos especiales y de la geometría de formas de los componentes, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que, en gran medida, se realiza hoy día por software informático especial que crea el vínculo entre los sistemas CAD y CAM.

Las características de los sistemas CAD/CAM son aprovechadas por los diseñadores, ingenieros y fabricantes para adaptarlas a las necesidades específicas de sus situaciones. Por ejemplo, un diseñador puede utilizar el sistema para crear rápidamente un primer prototipo y analizar la viabilidad de un producto,

mientras que un fabricante quizá emplee el sistema porque es el único modo de poder fabricar con precisión un componente complejo.

La gama de prestaciones que se ofrecen a los usuarios de CAD/CAM está en constante expansión. Los fabricantes de indumentaria pueden diseñar el patrón de una prenda en un sistema CAD, patrón que se sitúa de forma automática sobre la tela para reducir al máximo el derroche de material al ser cortado con una sierra o un láser CNC. La información de CAD que describe el contorno de un componente de ingeniería, es posible elegir el material más adecuado para su fabricación en la base de datos informática y emplear una variedad de máquinas CNC combinadas.

La Fabricación Integrada por Computadora (CIM) aprovecha plenamente el potencial de esta tecnología al combinar una amplia gama de actividades asistidas por ordenador, que pueden incluir el control de existencias, el cálculo de costes de materiales y el control total de cada proceso de producción. Esto ofrece una mayor flexibilidad al fabricante, permitiendo a la empresa responder con mayor agilidad a las demandas del mercado y al desarrollo de nuevos productos.

La futura evolución incluirá la integración aún mayor de sistemas de realidad virtual, que permitirá a los diseñadores interactuar con los prototipos virtuales de los productos mediante la computadora, en lugar de tener que construir costosos modelos o simuladores para comprobar su viabilidad. También el área de prototipos rápidos es una evolución de las técnicas de CAD/CAM, en la que las imágenes informatizadas tridimensionales se convierten en modelos reales empleando equipos de fabricación especializada.

3.4.5.2. Control Numérico Computarizado CNC

CNC significa "control numérico computarizado", se considera control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa.

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora. En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan

grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, etc.

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles como se muestra en la imagen.

En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

Se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema CAD (diseño asistido por computadora) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema CAM (manufactura asistida por computadora) toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

3.4.5.3. Mecanizado Electroerosivo

Es un proceso también conocido como Electrical Discharge Machining (EDM), el cual permite el mecanizado de matrices para plásticos, matrices para fundición a presión, forja, entre otros. El avance de este sistema ha mejorado la técnica operativa, la productividad, la precisión, y ha ampliado la versatilidad de dicho método.

El mecanizado electroerosivo por hilo se ha convertido en una alternativa eficaz y económica en contraposición con el mecanizado convencional, esto para practicar aberturas en muchos tipos de herramientas, tales como, matrices de punzonar, matrices de extrusión, y matrices para el corte de formas externas, tales como troqueles.

Empleando electrodos cilíndricos para la producción en la mayoría de empresas fabricantes de herramientas de mecanizado, ahora pueden utilizarse formas especiales de electroerosión para pulir cavidades, herramientas, producir rebajes y practicar orificios cónicos, esto se logra en fases que son de desbaste y de acabado. Se ha observado una apariencia ligeramente rayada en materiales con abundancia de carburos tales como herramientas con alto contenido de carbono para trabajo en frío, y acero rápido, donde siempre se produce un cierto grado de segregación de carburo.

El mecanizado mediante la erosión producida por chispas es un método que implica descargas eléctricas entre un ánodo que puede ser de grafito o cobre y un cátodo de acero u otro material para herramientas, esto en un medio dieléctrico. Las descargas son controladas de modo que se produzca erosión en la herramienta o pieza trabajada.

El electrodo se abre camino en la pieza trabajada, que de este modo adquiere los mismos contornos que el ánodo. El dieléctrico, o líquido de barrido, se ioniza durante el curso de las descargas. Los iones cargados positivamente golpean el cátodo, con lo cual la temperatura en la capa externa del acero aumenta hasta un nivel tal de 10–50,000°C, que hace que el acero se funda o evapore, formando pequeñas gotitas de metal fundido, que son arrastradas por el dieléctrico. Los cráteres se reconocen fácilmente en una sección transversal de una superficie mecanizada con este sistema.

Al considerar los parámetros en una operación de mecanizado electroerosivo de acero para herramientas hay que tener en cuenta cuatro factores principales:

- La velocidad de arranque de material
- El acabado superficial resultante
- El desgaste de los electrodos
- Los efectos en el acero

La influencia de la operación de electroerosión sobre las propiedades de la superficie del material mecanizado, en circunstancias desfavorables puede afectar el rendimiento de la herramienta. En dichos casos, al elegir los parámetros de mecanizado, se debe subordinar los tres primeros factores al cuarto, para optimizar los efectos en el acero.

3.4.5.4. Mecanizado electroerosivo por hilo

Se tiene como principal característica de este proceso que al aplicarlo la capa superficial afectada es relativamente delgada es menor a $10\mu\text{m}$ y puede compararse con el mecanizado electro-erosivo de acabado. Normalmente no existen fisuras visibles en la superficie rebajada después de la electroerosión por hilo.



Figura 0-15 Mecanizado electroerosivo por hilo de un troquel de acero templado y revenido.

Después de tratar un acero de temple en profundidad, la pieza contiene unas tensiones muy elevadas. Dichas tensiones toman la forma de tensiones de tracción en la zona superficial y de compresión en el centro, siendo opuestas. Durante el proceso de electroerosión por hilo se arranca la cantidad de acero de la pieza tratada. En los lugares en donde se arranca una gran cantidad de material, esto puede conducir, a deformaciones o grietas. El motivo de ello es que se modifica el equilibrio de tensiones en la pieza, y ésta tiende a recuperarlo.

Electroerosion por hilo de punzones de corte

Al fabricar punzones de corte mediante el procedimiento electroerosivo, se recomienda al igual que en el mecanizado convencional, cortar con la dirección de

grano del acero orientada en el sentido del movimiento de corte. Esto no es tan importante al emplear aceros ASP, debido a su estructura de grano no-direccional.

3.5. TRATAMIENTOS

Son aquellos que modifican la estructura, constitución e incluso la composición química de las aleaciones. En la actualidad son muchas las técnicas de modificación utilizadas en la industria y suelen recibir el nombre de tratamientos, agrupándose en dos tipos Térmicos y Termoquímicos.

3.5.1. TÉRMICOS

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

Los tratamientos térmicos han adquirido gran importancia en la industria en general, ya que con las constantes innovaciones se van requiriendo metales con mayores resistencias tanto al desgaste como a la tensión. Los principales tratamientos térmicos son:

3.5.1.1. Temple

El temple es un tratamiento térmico que tiene por objeto aumentar la dureza y la resistencia del acero. Se pueden distinguir tres fases:

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

Agua: Es el medio más económico y antiguo, se consiguen buenos temple con aceros al carbono. Las piezas se agitan dentro del agua para eliminar las burbujas de gas. *Aceite:* Enfría más lentamente que el agua. *Aire:* Se enfrían las piezas con corrientes de aire. Se utiliza para los denominadas aceros rápidos.

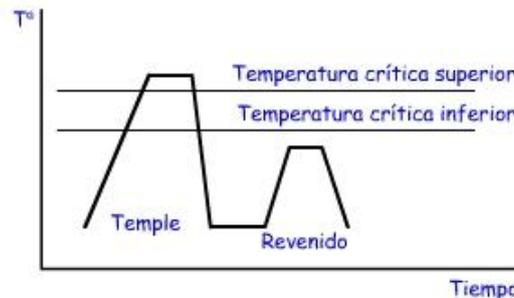


Figura 0-16 Curva del Temple

El tratamiento de temple confiere a la superficie del metal una estructura anormalmente dura. Esta dureza adquirida después del tratamiento es debida a la tensión a la cual se ven sometidos los cristales por la deformación de su estructura cristalina, ya que el enfriamiento rápido les impide alcanzar un equilibrio estable.

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

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

3.5.1.2. Revenido

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

3.5.1.3. Recocido

Consiste básicamente en un calentamiento hasta temperatura de austenitización (800-925°C) seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el mecanizado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar

el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.

3.5.1.4. Normalizado

Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

3.5.2. TERMOQUÍMICOS

Son tratamientos en los cuales se varía la composición química superficial de los materiales, mediante la adición de otros elementos con el objetivo de mejorar sus propiedades superficiales, como ejemplo la dureza o la resistencia a la corrosión. Estos tratamientos requieren el uso de calentamiento y enfriamiento en atmósferas especiales

3.5.2.1. Cementación

Este tratamiento térmico aumenta la dureza superficial, consiste en provocar la carburación superficial del acero por medio del aumentando de la concentración de carbono en la superficie de menos de 0,2% C, para permitir un temple superficial.

La cementación comprende:

- La carburación superficial de las piezas estableciendo una temperatura igual o superior a la temperatura de fin de transformación de los aceros de más de 0,85% C, esto en presencia de un cementante.
- Un temple que tiene como objeto conferir, tanto al núcleo como a la superficie del metal, las cualidades requeridas.

Principales cementantes:

- Cementantes sólidos: carbonato de bario, carbón de madera.
- Cementantes líquidos: cloruro de sodio, carbonato de sodio, etc.
- Cementantes gaseosos: gas de ciudad.

La velocidad de penetración es de 0,1 mm/h con los cementantes en polvo y 0,2 mm/h con los cementantes granulados.

Este tratamiento se consigue teniendo en cuenta el medio o atmósfera que envuelve el metal durante el calentamiento y enfriamiento. El tratamiento logra aumentar el contenido de carbono de la zona periférica, obteniéndose después, por

medio de temple y revenidos, una gran dureza superficial, resistencia al desgaste y buena tenacidad en el núcleo.

3.5.2.2. Nitruración

Al igual que la cementación, aumenta la dureza superficial, aunque lo hace en mayor medida, incorporando nitrógeno en la composición de la superficie de la pieza. Se logra calentando el acero a temperaturas comprendidas entre 500-525 °C, dentro de una corriente de nitrógeno (gas amoníaco) durante el tiempo requerido para obtener el espesor de nitruración requerido (0,01 mm por hora). Las piezas que no hayan de ser nitruradas se estañaran.

3.5.2.3. Sulfinización

Aumenta la resistencia al desgaste por acción del azufre. El azufre se incorporó al metal por calentamiento a baja temperatura (565 °C) en un baño de sales.

3.5.2.4. Cianurización

Endurecimiento superficial de pequeñas piezas de acero. Se utilizan baños con cianuro de sodio, carbonato y cianato sódico, con temperaturas entre 760 y 950°C.

CAPITULO 4

PRENSAS

Antes del diseño de las matrices de corte y embutición, se debe estudiar la construcción y el funcionamiento de los distintos tipos de prensas empleados. Así se comprenderá con mayor facilidad lo relativo al diseño de la matriz, ya que se entenderá cual es la relación entre la matriz con sus varios componentes, que actúa como herramienta y su accionamiento, que es la prensa que acciona la matriz para producir los diversos tipos de piezas.

4.1. PRENSAS DE ACCIONAMIENTO MANUAL

Las prensas de accionamiento manual son maquinas de movimiento rectilíneo alternativo las cuales se las utilizan, en casos en los cuales las presiones requeridas no sean grandes, este tipo de prensas también se las puede clasificar dentro de las prensas mecánicas, debido a su funcionamiento.

Existen varias clases de este tipo de prensas pero al hacer una clasificación aparte de las prensas mecánicas se ha tomado como base principal a las de simple efecto como son: las prensas de husillo y de palanca.

4.1.1. PRENSAS DE HUSILLO



Figura 0-1 Prensa de husillo

La prensa de husillo de accionamiento manual, como la que se ve en la figura 4.1, es de muy poco rendimiento, pero brinda servicios muy útiles a nivel de taller de matricería para los ensayos de los troqueles en construcción, puesta a punto de las herramientas, también para los procesos de recortado, embutición o estampado, los cuales no requieran de grandes esfuerzos.

Este tipo de prensa consta con elementos como: el bastidor el cual es de fundición o de acero colado, pueden ser con cuello de cisne o con puente, puede estar previsto en su parte superior de una tuerca de bronce, uno o más montantes sirven de guía para el cabezal. La mesa es usada dependiendo del modelo y está provista de ranura para fijar las herramientas, el husillo de accionamiento es de acero tratado y consta de varios filetes, gira en la tuerca del bastidor.

El mecanismo de estas prensas es accionado por medio de un volante o por una palanca provista de contrapeso, el diámetro de este husillo condiciona el esfuerzo disponible.

Tabla 4-1 Esfuerzo disponible condicionado por el diámetro del husillo.³⁷

Diámetro del husillo	Esfuerzo
mm	Ton
30	1
40	2
50	3
55	10
65	15
70	20

El cabezal es de fundición o de acero moldeado el cual es guiado sobre los montantes y recibe el movimiento del husillo de mando por mediación de un tejuelo, se encuentra provisto de un alojamiento y de agujeros perforados para la fijación de herramientas.

4.1.2. PRENSAS DE PALANCA



Figura 0-2 Prensa de Palanca³⁸

En la figura 4.2 podemos observar una prensa de palanca, la cual se acciona manualmente y tanto su uso como el de la prensa de husillo es para realizar estampaciones sencillas, y otros procesos que no requieran de un gran esfuerzo. Esta prensa consta de varios elementos tales como: base, bastidor, palanca, puntos de giro, muelle, eje, punzón y piezas.

4.2. PRENSAS NEUMÁTICAS

Este tipo de prensas tienen como principal característica la utilización de aire comprimido, para el funcionamiento y maniobras de sus diversos elementos mecánicos. Es muy común su utilización para la realización de operaciones tales

³⁷ J. DE KONINCK D. GUTTER; MANUAL DEL TÉCNICO MATRICERO; Pag.29.

³⁸ www.directindustry.es

como: prensado, roblonado, corte, marcado, doblado y otras realizadas en piezas pequeñas y ensamblajes.



Figura 0-3 Prensa neumática.³⁹

Existen dos tipos principales de prensas neumáticas: Simple efecto y Doble acción

4.2.1. PRENSAS NEUMÁTICAS DE SIMPLE EFECTO

Este tipo de prensas son utilizadas para trabajos de percusión. Las prensas neumáticas permite un control total del ciclo de prensado y un exhausto control de la presión, por medio de la utilización del aire comprimido se puede garantizar un perfecto reparto de la presión hidráulica que se realiza de forma suave, constante y progresiva.

4.2.2. PRENSAS NEUMÁTICAS DE DOBLE ACCIÓN

Las prensas neumáticas de doble acción son utilizadas principalmente para trabajos de extrusión y separación.

Se puede variar el control o regulación y la velocidad del embolo y el pistón empleando accesorios de control neumático tales como: un transductor de presión y vacío de precisión, el equipo para el vacío, válvula de bloqueo de pilotaje neumático que funciona en redundancia con la válvula principal.

También dependiendo del modelo puede poseer dispositivos antirotación del vástago del cilindro.

4.3. PRENSAS HIRAUICAS

Las prensas hidráulicas poseen una gran competitividad con respecto a las prensas mecánicas, debido a que poseen las cualidades de los dos tipos, estas cualidades vienen dadas principalmente por la alta velocidad y autonomía de las prensas mecánicas y la regulación de la carrera, de la presión y la velocidad del pistón en

³⁹ www.interempresas.net.

las prensas hidráulicas. Las prensas hidráulicas adquieren su nombre debido a que utilizan un fluido hidráulico de trabajo de trabajo (aceite especial) que se encuentra en un cilindro, y se encarga del desplazamiento del pistón, con lo que se obtiene una presión en el cabezal.

La velocidad y la presión está condicionada debido a la bomba rotativa de émbolos, de alimentación variable, la cual presenta la característica de conferir a la corredera de la prensa la velocidad máxima cuando la presión es mínima o nula, y la velocidad mínima cuando la presión es máxima. En funcionamiento; el pistón se desplaza descendentemente en vacío sin ejercer ninguna presión; a continuación, iniciándose el estampado de la chapa, la velocidad disminuye mientras se desarrolla la presión máxima requerida para el trabajo del embutido, a medida que disminuye la presión aumenta la velocidad de trabajo, al terminar esta fase el pistón retorna hacia la parte superior a una gran velocidad dada a que vence a presión ejercida por el peso de la estampa y de la corredera, como se pudo observa con esta prensa se puede obtiene los medios para conferir a la corredera de la prensa distintas velocidad que están en función de la presión de acuerdo a los requerimientos técnicas de fabricación de los diversos elementos a construir.

Las prensas hidráulicas son especialmente apropiadas en ensambladura, marcado, dentado, conformación en frío y operaciones análogas, y las prensas hidráulicas grandes son de uso común en procesos de conformación y embutición. Este tipo de prensa puede ser de simple, doble y de triple efecto.

4.3.1. PRENSAS HIRÁULICAS DE SIMPLE EFECTO

Las prensas de simple efecto pueden ser de puente o cuello de cisne, llevando el bastidor de fundición o de acero soldado. Posee una bomba, conducciones y válvulas de mando y su movimiento es simple.

4.3.2. PRENSAS HIDRAULICAS DE DOBLE ACCIÓN

Estas prensas son utilizadas usualmente en procesos de embutición con prensa-chapa o sujetador, poseen todas las ventajas expuestas anteriormente.



Figura 0-4 Prensa oleodinámica de cuello de cisne de doble efecto⁴⁰

Se observa en la figura 4.4 una prensa oleodinámica de cuello de cisne de doble efecto, la cual en la mesa tiene aplicada un extractor hidráulico combinado con el cojín prensa-chapa, y con el extractor mecánico superior del punzón, la presión del prensa-chapa y la del punzón se regula independientemente mediante un volante. El embolo es susceptible de regulación en su carrera con el fin de poder variar la altura útil.

Esta tipo de prensa oleodinámica trabaja por medio de un embolo central, que se desliza dentro de un cilindro, el cual manda el punzón de embutición. Los cuatro émbolos ejercen una acción sobre el sujetador, esta acción se da por una reacción al movimiento del carro.

El funcionamiento de esta prensa inicia cuando al descender el carro se produce primero la sujeción de la chapa en el borde de la matriz con el sujetador, a continuación se da la embutición con el punzón central que penetra en la cámara de la matriz. En la carrera de retorno del carro interviene el embolo, situado debajo de la mesa que extrae la pieza embutida a través de cuatro barras.

4.3.3. PRENSAS HIDRAULICAS DE TRIPLE EFECTO

Este tipo de prensas es requerida en casos de embuticiones complicadas que no se las puede desarrollar por medio de las prensas de este tipo vistas anteriormente, estas embuticiones pueden ser de fondo curvado, con forma, contraestampa, o cuando primero se requiera dar forma antes de embutir, ya que satisface a todos los tipos de estampa, y admite utilizar el sujetador superior en caso de embuticiones profundas y el sujetador inferior en los requerimientos para grandes embuticiones.

⁴⁰ www.interempresas.net

El funcionamiento de esta prensa está basado en el mismo principio de la prensa de doble efecto, pero posee otras prestaciones tales como:

- Hacer actuar la viga de la prensa-chapa con efecto positivo independiente.
- Mantener independiente la acción del embolo central de la de los émbolos centrales, o según se requiera unirla y actuar con acción total.
- Posee el cojín contenido dentro de la bancada lo más amplio posible.

Al mantener independiente la acción del embolo podemos obtener la máxima presión, al contrario cuando se necesita una presión pequeña se invierten los émbolos laterales, con lo que se aumenta la velocidad de trabajo.

Los mandos son accionados mediante pulsadores, la presión controlada por manómetros, el sentido de circulación del líquido y su presión es controlada por válvulas hidráulicas, cuando el líquido es impulsado al cuerpo de bomba superior el pistón baja, y cuando es impulsado a la parte inferior sube. La carrera del pistón es variable según los requerimientos de trabajo. La presión máxima se puede desarrollar en cualquier punto de la carrera y se ajusta automáticamente, la velocidad y el ritmo se puede ajustar de acuerdo con los requerimientos del trabajo a realizar.

4.4. PRENSAS DE VOLANTE DE INERCIA

Este tipo de prensas también pueden ser clasificadas dentro de las prensas mecánicas, como su nombre lo menciona la base de su funcionamiento está dada por la utilización del volante de inercia.

El volante de inercia recibe su movimiento del motor ya sea directamente, por mediación de una correa sencilla o doble, este consta de una masa proporcional a la potencia de la maquina. Tiene como finalidad la acumulación de una cantidad de energía, la cual se libera parcialmente en el momento en que la pieza sea sometida a los procesos de corte, doblado o embutición, con esto ofrece resistencia al movimiento la cual se la puede interpretar como una amortiguación de los golpes durante el trabajo, restituyendo la energía almacenada. Gira de una manera continua y libre sobre los cojinetes, los cuales son soportados por el árbol de

accionamiento. El embrague tiene como misión asegurar la unión del volante con este árbol. Tiene como misión transmitir el movimiento al árbol.

Se tiene como el ejemplo más representativo de este tipo de prensas de volante de inercia a la prensa excéntrica de simple efecto.

PRENSA EXCÉNTRICA DE SIMPLE EFECTO



Figura 0-5 Prensa excéntrica de simple efecto⁴¹

Las prensas excéntricas son las de uso más generalizado, aptas para la mayor parte de los trabajos de matricería, existe complicación para la embutición ciega (sin salida libre del punzón), por la dificultad para la graduación fácil y exacta del recorrido.

De la figura 4.5 podemos observar como elementos principales de la prensa excéntrica de simple efecto a los siguientes:

- Volante de inercia
- Correa de transmisión
- Motor
- Bastidor
- Polea del motor
- Pletina de disparo
- Eje excéntrico
- Balancín de disparo
- Varilla de disparo
- Pletina pedal
- Zapata pedal
- Matriz
- Carro

⁴¹ www.interempresas.net

- Punzón
- Mesa.

A continuación una descripción de los elementos principales:

Bancada o bastidor: Es un armazón que sirve de base para alojar todos los mecanismos de la maquina. Existe muchas clases de bastidor tales como: bastidor en cuello de cisne inclinable, bastidor rígido simple, bastidor con mesa móvil y bigornia y bastidor con 2 o con 4 montantes.

Embrague: Se encuentra situado en el eje principal junto al volante, tiene como misión el poner en funcionamiento el cigüeñal y la biela, y con ello el desplazamiento del punzón, los embragues más utilizados son el de leva rotativa y el de disco.

Freno: El cual tiene como objeto reducir la velocidad del árbol en el momento del desembrague, para evitar los choques fuertes sobre el tetón de la chaveta, existen dos tipos de frenos: el de tambor y de disco.

Árbol de accionamiento: Según el tipo de construcción este elemento está dispuesto en el plano de trabajo (prensa con volante lateral) o bien en un plano perpendicular (prensa de volante frontal).

Excéntrica: Este sistema funciona por medio de un árbol el cual posee una excéntrica o manivela sobre la que se ajusta un anillo excéntrico, que puede unirlos por medio de la biela o actuar directamente sobre el punzón.

Cabezal: Tiene como misión la de sujetar el punzón cortador, va conducido por las guías ajustables del bastidor.

Expulsor positivo: El cual está adaptado a la prensa y se encuentra constituido por una o varias barras que atraviesan el cabezal, las cuales actúan sobre los expulsos de las herramientas cuando al volver a subir el cabezal, son detenidas por topes ajustables sobre el bastidor.

4.5. PRENSAS MECÁNICAS

Existen muchos tipos de estas prensas, a las cuales se las ha clasificado en dos grupos principales que son: prensas mecánicas de simple y doble efecto.

4.5.1. PRENSAS MECÁNICAS DE SIMPLE EFECTO

Las prensas de simple efecto de este tipo son generalmente usadas para varias operaciones de corte, doblado, embutido sencillo y algunas operaciones combinadas de corte y embutido, las cuales sean realizadas con una estampa especial que se hallara provista de órganos elásticos. Este tipo de prensas tiene el mismo funcionamiento que el de las prensas de volante de inercia por lo cual se las podría clasificar dentro de este tipo de prensas. Las prensas mecánicas utilizan la energía acumulada por un volante que gira a régimen, dado según un número constante de vueltas. Tenemos como ejemplo de este tipo de prensas a las siguientes:

PRENSA DE MANIVELA



Figura 0-6 Prensa de Manivela de acción simple, abierto KG 2134 ⁴²

Este tipo de prensas posee los elementos descritos anteriormente en la prensa excéntrica, el funcionamiento es igual, a continuación se encuentra una descripción de sus principales elementos:

Manivela: El árbol de accionamiento es de forma diferente y esta principalmente constituido por una manivela. La carrera del cabezal es fija, y la manivela es más larga que en el caso de las prensas excéntricas.

Para el caso de prensas con gran potencia el accionamiento de la manivela es bilateral, con lo cual se logra la reducción a un mínimo el efecto de torsión.

⁴² www.intercargroup.com

Embrague: Este elemento depende de la potencia con que se desee trabajar, para potencias pequeñas y medias, se utiliza un embrague de chaveta girando con aparato de contragolpe y freno. Para grandes potencias el embrague es de discos múltiples.

Equilibrador del cabezal: Este elemento es necesario cuando se trabaja con prensas de este tipo las cuales posean una alta potencia, como su nombre lo dice sirve para equilibrar el cabezal, este se lo logra por medio de resorte o con cilindros de aire comprimido.

PRENSAS DE PALANCA ARTICULADA



Figura 0-7 Prensa de palanca articulada⁴³

Este tipo de prensas mecánicas de simple efecto están constituidas por el bastidor en puente, con mesa y cabeza móvil, la diferencia estriba en la forma del mando del cabezal.

La constitución de su palanca está dada por dos bielas que se encuentran articuladas una sobre la otra. El extremo de la biela superior se encuentra apoyado sobre el bastidor. El extremo de la biela inferior se encarga de transmitir el movimiento de la biela al cabezal. La palanca articulada se acciona por una tercera biela, que es la biela de mando la cual se halla dispuesta horizontalmente. Esta última recibe su movimiento del árbol de accionamiento situado detrás de la prensa.

Haciendo girar el árbol, la biela de accionamiento rechaza la palanca articulada.

⁴³ www.arisa.es

La biela superior se halla fijada al bastidor, solo puede girar sobre su punto de sujeción, al contrario de las bielas inferiores no pueden desplazarse más que según el eje del cabezal. Al rechazar su punto de articulación, la biela de accionamiento es obligada a enderezarse y al final del recorrido se hallan una en la prolongación de la otra.

4.5.2. PRENSAS MECÁNICAS DE DOBLE EFECTO

Varias acciones de estampado deben realizarse en dos acciones distintas y sucesivas: la acción de sujetar la pieza, seguida de la acción de embutido, la cual es la base fundamental de los trabajos con este tipo de prensas. Para satisfacer estas exigencias se ha construido las prensas de doble efecto o también llamada prensas de doble acción. Estas prensas se encuentran dotadas de dos correderas, una de las cuales actúa dentro de la otra. La cruceta constituye la parte interior la cual va unida a la biela del árbol, mientras que el sujetador constituye la parte exterior y va unido a un brazo fijado en el mismo árbol. Los movimientos realizados por las correderas se producen retardados uno respecto del otro.

Según el órgano que realiza la sujeción del disco, se distingue dos tipos de estas prensas:

- Prensas de doble efecto con sujetador móvil
- Prensas de doble efecto con mesa móvil

PRENSAS DE DOBLE EFECTO CON SUJETADOR MÓVIL



Figura 0-8 Prensa con sujetador móvil⁴⁴

⁴⁴ www.rayer.com.ar

En este tipo de prensas el mando del sujetador se realiza por medio de leva o palanca articulada.

Prensas de mando por leva

Este tipo de prensas pueden ser de cuello de cisne o de puente. El cabezal sujetador, guiado sobre el bastidor, el cual sirve de guía al cabezal de embutición. El descenso del cabezal sujetador se consigue mediante dos levas solidarias del árbol y colocadas a ambos lados del gorrón de la manivela de accionamiento.

El perfil de las levas es tal que el cabezal sujetador queda inmóvil durante el trabajo del cabezal de embutición.

Prensas de mando por palanca articulada

Estas prensas son del tipo de puente. El cabezal sujetador recibe su movimiento de un sistema de una palanca articulada la cual se encuentra dispuesta delante y detrás de la prensa. El cabezal de embutición guiado en el cabezal sujetador es mandado por la manivela como en las prensas corrientes.

PRENSAS DE DOBLE EFECTO CON MESA MÓVIL



Figura 0-9 Prensa con mesa móvil⁴⁵

Estas prensas son de tipo de puente son empleadas en embuticiones complicadas o cuando se prefiera una elevada velocidad de producción.

⁴⁵ Figura obtenida de la web de talleres y maquinaria Hernando.

El sujeta chapa esta sostenido por la traviesa superior por medio de cuatro tirantes, con lo cual se logra el ajuste de la posición del sujetador.

Posee la mesa guiada a lo largo de las guías previstas en los montantes está gobernada por dos levas fijadas sobre el árbol motor. La mesa se apoya sobre levas por mediación de rodillos. El perfil de las levas es idéntico al de las prensas anteriores.

El doble efecto se consigue con desplazamientos simultáneos y de sentido contrario de la corredera y de la mesa.

El árbol es accionado bilateralmente por dos engranajes de gran diámetro que lleva el gorrón de accionamiento de cabezal superior.

Este último, guiado en la parte superior de los montantes, está unido a los engranajes de accionamiento por dos bielas. El cabezal está provisto de un porta punzón ajustable, constituido por un husillo roscado que lo atraviesa de parte a parte y provisto de tuercas de seguridad.

CAPITULO V

ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN EN LA PRENSA DE 60 TONELADAS

En este capítulo se van a analizar diferentes alternativas de solución para las matrices de corte y de embutición, considerando las diferentes variables que influyen en el diseño de matricería.

5.1. MATRIZ DE CORTE

Para la selección del mejor diseño para el punzón y la matriz de corte hay que considerar varios factores como son:

- Precio
- Productividad
- Dimensiones
- Complejidad de diseño
- Complicaciones y tolerancias de fabricación
- Tecnología de la prensa
- Materiales para la fabricación
- Material de la chapa
- Características y precisión deseadas en el producto final
- Vida útil
- Desperdicio

Tomando en cuenta estos puntos debemos encontrar la opción que más se ajuste a nuestras necesidades.

5.1.1. CLASIFICACIÓN

Las Matrices de corte se pueden clasificar según su forma y su manera de trabajar:

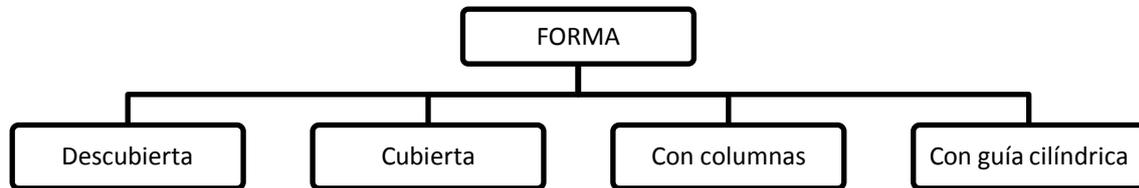


Ilustración 0-1 Clasificación de matrices de corte según su forma

A continuación se realiza una breve descripción de las principales características de cada una de las clases de matrices de corte según su forma:

- **Descubierta:**

Herramienta poco costosa, de fácil fabricación y requiere de una prensa que tenga buena precisión de la guía del cabezal

- **Cubierta:**

Posee una placa que guía al punzón, es más cara que la descubierta y el operador no ve la pieza cuando trabaja

- **Con columnas:**

Guiado preciso del punzón, larga vida útil de la herramienta y costo más elevado que la cubierta

- **Con guía cilíndrica:**

Guiado de los punzones y matrices muy preciso, ocupa mayor altura y su precio es elevado

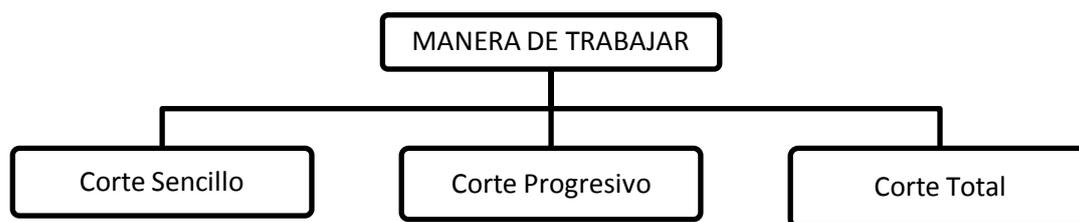


Figura 0-2 Clasificación de las matrices de corte según su manera de trabajar

A continuación se realiza una breve descripción de las principales características de cada una de las clases de matrices de corte según su forma:

- **Corte Sencillo:**

Bajo costo de fabricación, permite recortado de discos y piezas sencillas, puede contener a varios punzones, se puede hacer punzonado redondo, de forma, entallado, perforado incompleto y canteado. Se puede utilizar con: Herramientas descubiertas, cubiertas y con columnas.

- **Corte Progresivo:**

Costo razonable de fabricación, es la combinación de varias herramientas sencillas, trabaja por medio de avances y forma la pieza por etapas. Se puede utilizar con: Herramienta Cubierta o con columnas.

- **Corte Total:**

Costo elevado, permite en un solo golpe de prensa se realiza punzonado y recortado de la pieza, piezas muy precisas. Se puede utilizar en: Herramientas con columnas o con guía cilíndrica.

5.1.2. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS

Luego de analizar todos los factores y la clasificación dentro de las herramientas de corte se proponen tres posibles soluciones:

OPCIÓN A: Herramienta de corte Progresivo

Consiste en una matriz de tres etapas: una de punzonado circular, una de punzonado rectangular y otra de recorte de forma. Es de diseño y construcción sencillos, de costo medio de fabricación por sus dimensiones. Es apta para volúmenes medianos de producción.

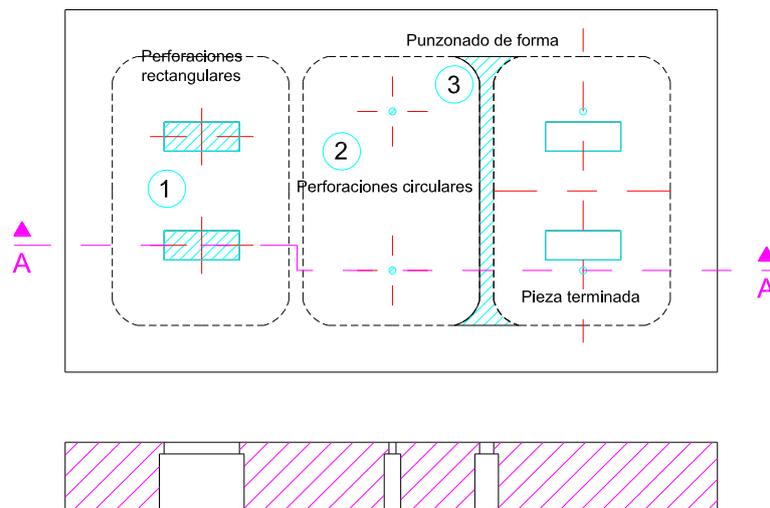


Figura 0-3 Esquema matriz de corte para Opción A

OPCIÓN B: Herramienta de corte por etapas

Es una matriz de dos etapas: una con punzonado circular y de forma, la otra con recortado de forma. Requiere que la banda de material sea un fleje de ancho predefinido. Su diseño y construcción son sencillos, de bajo costo de fabricación por sus pequeñas dimensiones. No es apta para grandes volúmenes de producción.

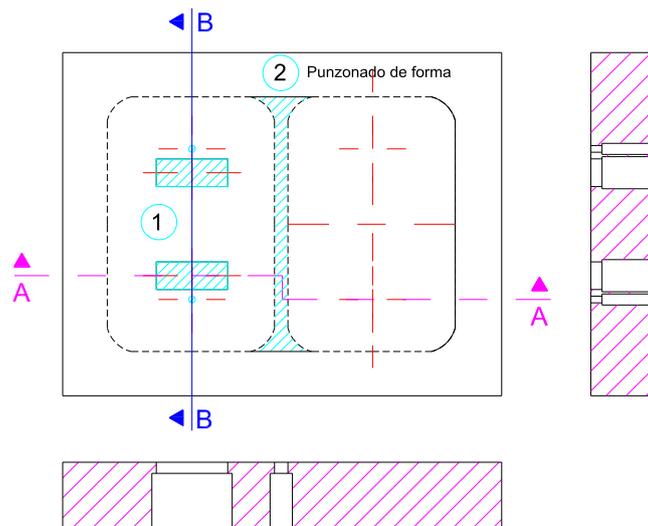


Figura 0-4 Esquema matriz de corte para opción B

OPCIÓN C: Herramienta de corte total

Es una matriz compuesta de una sola etapa para punzonado y recorte de la pieza. Su diseño y construcción son complejos, el precio de fabricación es elevado por la cantidad de material requerido y la complejidad de sus componentes. Sirve para grandes volúmenes de producción.

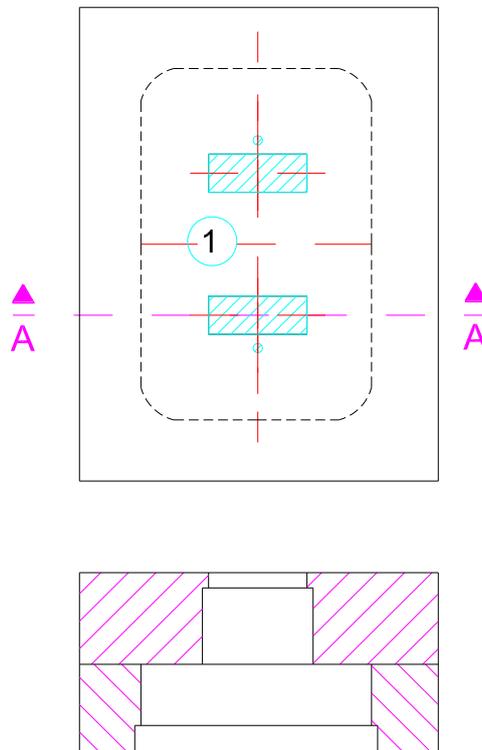


Figura 0-5 Esquema matriz de corte para Opción C

5.1.3. SELECCIÓN

Para la selección de la mejor alternativa para la matriz de corte se han considerado los factores más importantes que podrían influir en el desarrollo de la misma. Desde este punto de vista se tiene:

Tabla 5-1 Selección de la matriz de corte

Criterios	Ponderación	Calificación		
	%	A	B	C
Número de etapas	10	2	6	10
Diseño	15	15	9	3
Construcción	25	20	10	5
Costo	25	20	25	5
Productividad	10	8	4	10
Dimensiones	15	12	15	9
TOTAL	100	77	69	42

La matriz de corte que va a ser desarrollada será la Opción A que en los distintos criterios de selección obtuvo una calificación de 77/100 puntos.

5.2. MATRIZ DE EMBUTICIÓN

5.2.1. ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN

En nuestro caso la profundidad de embutición es pequeña (5 mm), por lo que no se requiere varios pasos. Desde este punto de vista las alternativas de solución quedan limitadas a una matriz dedicada o compuesta.

A. Matriz de Embutición con columnas

Consiste en una matriz de una sola etapa de embutición. Es de diseño y construcción sencillos, de costo medio de fabricación por sus dimensiones y tolerancias especialmente en las columnas. Es apta para volúmenes medianos de producción.

B. Matriz de Embutición Autoguiada

Es una matriz de una sola etapa de embutición. Requiere que el recorte de embutición sea muy preciso. Su diseño y construcción son sencillos, de bajo costo de fabricación por sus dimensiones reducidas, además de que no tiene columnas y se guía mediante el punzón de embutición; esto es basado en que la prensa tiene sus propias columnas guías. No es apta para grandes volúmenes de producción.

C. Matriz Progresiva compuesta

Es una matriz compuesta de una sola etapa para punzonado, recorte y embutición de la pieza. Su diseño y construcción son complejos, el precio de fabricación es elevado por la cantidad de material requerido, la complejidad de sus componentes y las tolerancias de fabricación. Sirve para grandes volúmenes de producción.

5.2.2. SELECCIÓN

Para la selección de la mejor alternativa para la matriz de corte se han considerado los factores más importantes que podrían influir en el desarrollo de la misma. Desde este punto de vista se tiene:

Tabla 5-2 Selección matriz de embutición

Criterios	Ponderación	Calificación		
	%	A	B	C
Número de etapas	10	10	10	10
Diseño	15	12	15	3
Construcción	25	15	25	5
Costo	25	20	25	10
Productividad	10	6	2	10
Dimensiones	15	9	9	15
TOTAL	100	72	86	53

La matriz de corte que va a ser desarrollada será la Opción B que en los distintos criterios de selección obtuvo una calificación de 86/100 puntos.

5.3. MECANISMO DE ACOPLAMIENTO

El mecanismo de acoplamiento para cualquier alternativa de solución va a ser el mismo debido al diseño de la prensa donde se va a aplicar.

Esta prensa tiene dos placas soleras que poseen un ranurado para fijar por medio de bridas, pernos y alzas las placas del armazón de cualquier matriz.

Por facilidad de montaje y desmontaje este sistema va a ser utilizado para las dos matrices corte y embutición.

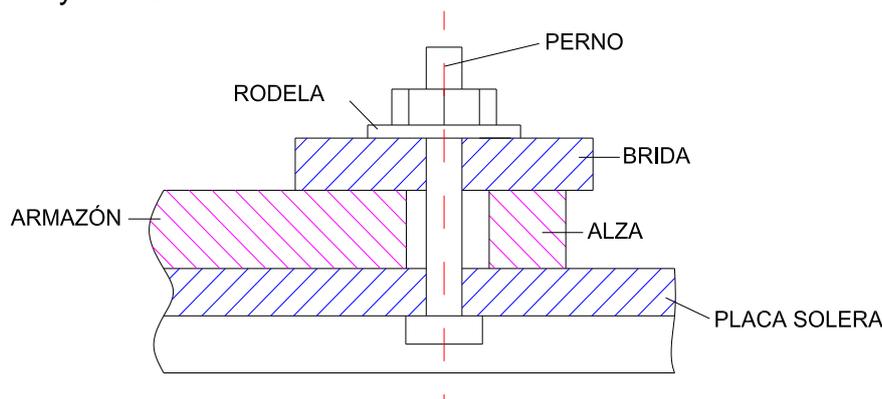


Figura 0-6 Esquema del mecanismo de sujeción

5.4. DIMENSIONAMIENTO

El dimensionamiento de las matrices para cualquier alternativa de solución está basado netamente en el mercado de metalmecánica nacional visto desde dos puntos de vista:

- La fuerza de la prensa es 60 toneladas
- Espacio disponible en la mesa de la prensa para las matrices
- Disponibilidad de los diferentes aceros especiales o sus equivalentes entre normas y marcas
- Dimensiones y presentaciones de los distintos tipos de aceros
- Costo de los aceros
- Costo de la fabricación en maquinado, tecnología y mano de obra

5.4.1. MATRIZ DE CORTE

Por estas razones la alternativa de solución B, seleccionada, busca tener la mayor optimización de diseño y material con el objetivo de reducir los costos de materia prima y construcción, trabajando con los materiales disponibles en el mercado nacional.

Lo más costoso es la Placa Matriz que debe ser construida con acero K100, este material solamente se consigue en placas de 240x240 mm con un espesor de 1 pulgada. En base a estas medidas se va a diseñar la matriz de corte.

5.4.2. MATRIZ DE EMBUTICIÓN

La alternativa de solución B busca la simplificación del diseño y optimización del uso del material con el objetivo de reducir costos de fabricación y reducir el tiempo de fabricación.

Desde el punto de vista que la embutición es poco profunda con una altura de 5mm y que la prensa tiene placas guiadas con columnas, la matriz de embutición se la puede hacer Autoguiada con el punzón.

De esta forma se puede ahorrar material y maquinado de las columnas y los bujes, así como las placas portamatriz y portapunzón reducen notablemente sus dimensiones.

Siendo la placa matriz la más costosa por ser de acero K100 se la diseña de manera que tenga las mínimas dimensiones, esto es 110 x 150 mm con 23 mm de espesor. A partir de estas medidas se diseña el resto de componentes de la matriz

5.5. CAPACIDAD DE PRODUCCIÓN

La capacidad de producción está definida por la tecnología disponible y el grado de precisión requerido para el producto final. El objetivo del desarrollo de estas matrices es meramente didáctico, sin embargo se va considerar criterios para producción industrial.

La mejor opción desde el punto de vista de volúmenes de producción es una Matriz Progresiva que confluya en una sola pasada el corte y la embutición, pero tiene un costo muy elevado y su diseño es complejo.

5.5.1. MATRIZ DE CORTE

La capacidad de producción para una matriz de corte está definida por el desgaste que sufre. Dependiendo del número de piezas que se vaya a fabricar se puede dejar cierta altura de material para rectificar, la misma que puede ser calculada teniendo en cuenta el material que se pierde entre afilados.

$$H = \frac{0,15 \times N}{n} \quad (5.1)$$

Donde: H altura de rectificado, 0.15 espesor eliminado en cada rectificado, N número de piezas que se desea fabricar y n (entre 30000 a 50000) es el número de piezas recortadas entre afilados.

Por esta razón se seleccionó la alternativa B donde se tiene una mediana capacidad de producción con un diseño simplificado y optimizado, enfocado en fines didácticos pero utilizando la mayoría de criterios de la matricería moderna. Considerando que el aluminio es un material abrasivo, la cantidad de piezas que se obtienen entre los rectificados es menor (30000) y también que la matriz de de uso didáctico; los afilados deben ser más frecuentes. Por esta razón se deberán hacer afilados cada 25000 piezas aproximadamente.

CAPITULO VI

DISEÑO

6.1. TIRA DE MATERIAL

6.1.1. CHAPA METÁLICA

Para matricería se trabaja con chapas de acero u otros metales cortado convenientemente del contorno y espesor que se requiera de acuerdo al diseño de la pieza deseada. Nuestro diseño parte de la pieza terminada, por lo que el material que se va a utilizar es una chapa de aluminio de 0.7 mm de espesor que es el material comercialmente usado.

El proceso para obtener el producto final tiene dos etapas, una en cada matriz:

- Corte: abarca los punzonados rectangulares, circulares y de forma
- Embutición: recibe la pieza recortada y entrega el producto terminado

Es decir, el diseño del recorte tiene que entregar la pieza lista para ser embutida.

6.1.2. PIEZA RECORTADA

6.1.2.1. Recorte de embutición

Para calcular el recorte necesitamos utilizar los criterios considerados para el diseño de de cajas rectangulares con embutido en una sola fase.

Los pasos a seguir para el desarrollo del recorte son:

- Trazar el rectángulo de la base de lado a_1 y b_1 , que responden a las fórmulas:

$$a_1 = a - 2r \quad (6.1)$$

$$b_1 = b - 2r \quad (6.2)$$

Fórmula 6.1 Lados del rectángulo base

Donde: a_1 y b_1 lados del rectángulo base, a y b lados del cajetín, r radio de canto o esquina del cajetín.

- Se traza el rectángulo máximo que contiene al perfil desarrollado de lados a_2 y b_2 , que responden a las fórmulas:

$$a_2 = a_1 + \pi r + 2h \quad (6.3)$$

$$b_2 = b_1 + \pi r + 2h \quad (6.4)$$

Fórmula 6.2 Lados del rectángulo máximo que contiene al perfil

Donde: a_2 y b_2 lados del rectángulo máximo que contiene al perfil, h altura del embutido

- El límite de los chaflanes correspondientes a los cantos o esquinas es señalado por el círculo de diámetro D con centro en P menos el valor t , los mismo que corresponden a:

$$D = 1,414\sqrt{d^2 + 2dh} \quad (6.5)$$

Donde: D diámetro del disco desarrollado de un círculo imaginario de fondo esférico de radio r y altura h , t distancia entre D y el achaflanado.

- El diseño del recorte para la embutición sería:⁴⁶

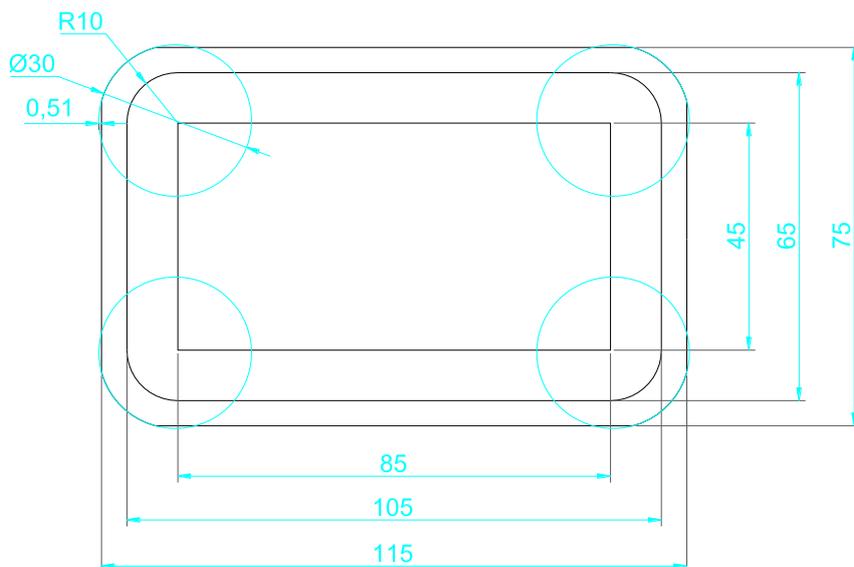


Figura 0-1 Dimensionamiento del Recorte para la Embutición

⁴⁶ ESTAMPADO EN FRIO DE LA CHAPA, Mario Rossi, Pág. 83

6.1.3. RECORTE INTERIOR

Una vez concluido el recorte de embutición hay que incluir en el diseño las perforaciones rectangulares y circulares, las mismas que son estandarizadas para los productos de este tipo, con lo que el recorte final sería:

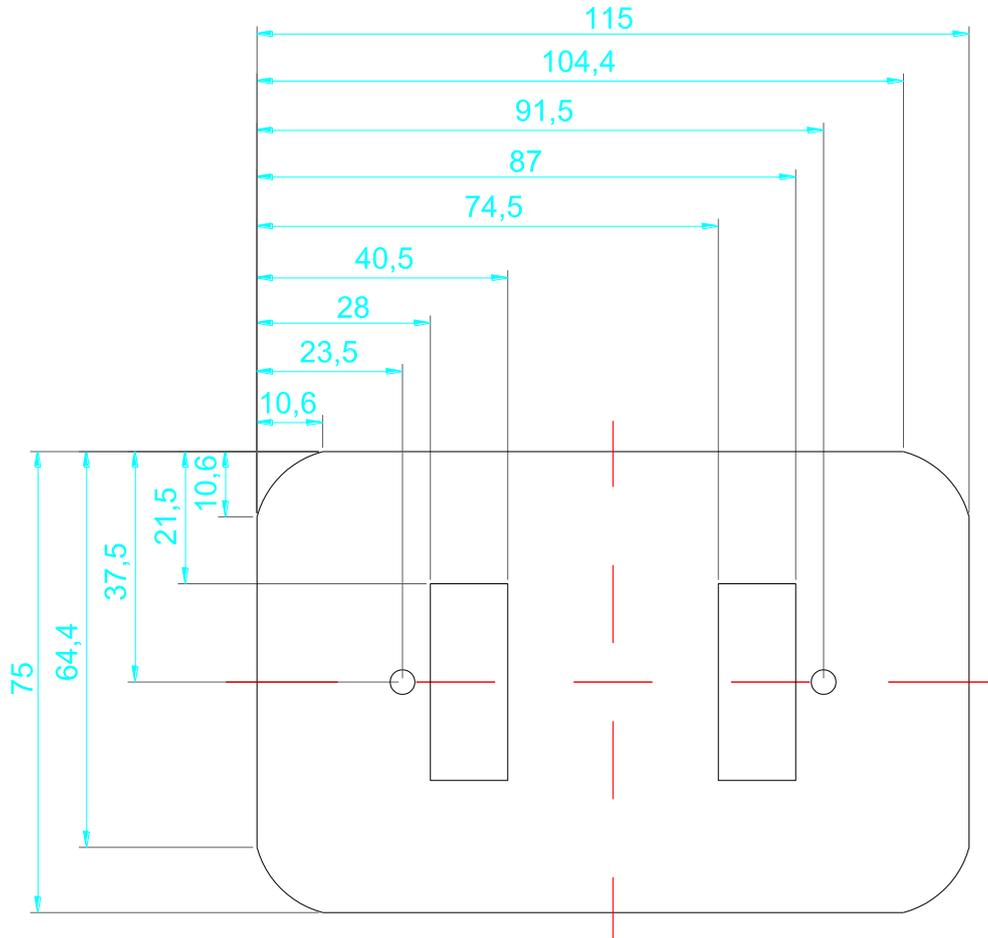


Figura 0-2 Dimensionamiento de las perforaciones del recorte

6.2. TIRA DE RECORTE

Una vez determinado el recorte necesario para las etapas de corte y embutición, debemos diseñar la tira con la que se va a alimentar la máquina. Es muy importante la disposición y la separación entre las piezas recortadas para reducir al máximo el desperdicio de la chapa.

Las piezas en la tira pueden estar dispuestas en dos posiciones de acuerdo a su geometría, con respecto a su ancho o a su largo.

Se debe analizar de acuerdo a la plancha de aluminio base cual es la disposición con la que se obtiene más piezas y menos desperdicio.

Pero en este caso en especial, el número de piezas y la merma producidas con cualquier disposición son iguales. Sin embargo, se elige la disposición con respecto al ancho de la pieza por las siguientes razones:

- Son necesarios menos cortes en la plancha base para la obtención de las tiras de recorte.
- La distancia de alimentación para cada pieza es menor, por lo que se requiere menos tiempo para producirlas.
- De una misma tira se obtienen más piezas, se manejan menos tiras y se emplea menos tiempo.

Considerando estos factores, el diseño de la tira sería en tres etapas:

1. Corte de perforaciones rectangulares
2. Corte de perforaciones circulares
3. Corte de forma

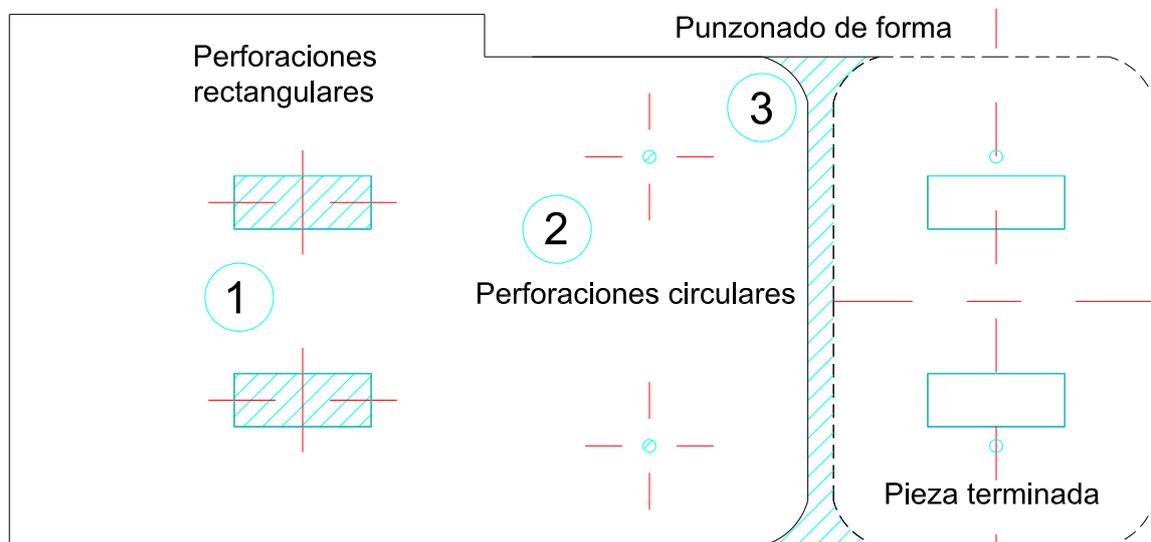


Figura 0-3 Esquema de las etapas de corte

Para esta matriz de corte el punzón de forma tiene la característica de cortar la mitad del perfil de una pieza y la mitad del siguiente.

6.3. SELECCIÓN DE LA PRENSA

La prensa que va a ser utilizada para este proyecto es una Prensa Hidráulica de 60 toneladas. Para comprobar que la capacidad de esta prensa cubre la demanda de la matriz, en la tabla adjunta se va a calcular la fuerza requerida por el corte total de la matriz progresiva.

Los cálculos de los esfuerzos de corte se describen a continuación⁴⁷:

$$E_c = P \times e \times R \quad (6.6)$$

Donde: P es el perímetro de corte, e espesor 0,7 mm y R resistencia a la cizalladura de 7 kg/mm².

⁴⁷ MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 32

Los esfuerzos de extracción y de expulsión se calculan mediante las fórmulas:

$$Eex = 7\% Ec \quad (6.7)$$

$$Eej = 1,5\% Ec \quad (6.8)$$

Tabla 6-1 Selección de la Prensa mediante el cálculo de los Esfuerzos de Corte

COMPONENTE	PERIMETRO DE CORTE	RECORTADO	EXTRACCIÓN	EXPULSIÓN
	Mm	kgf	kgf	kgf
Punzón de Forma	329,95	1.616,75	113,17	24,25
Punzones Rectangulares	89,00	872,20	61,05	13,08
Punzones Circulares	9,42	92,36	6,47	1,39
Punzón de Avance	182,00	891,80	62,43	13,38
	TOTAL	3.473,11	243,12	52,10

Para este recortado conjuntamente con su extracción y expulsión se requiere una prensa de 4 toneladas.

6.4. MATRIZ DE CORTE

6.4.1. PLACA MATRIZ

Los principales factores que se consideran para diseñar la placa matriz son: Las dimensiones de la pieza, el espesor de la pieza, el perfil de la pieza y el tipo de matriz que se va a utilizar.

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

- **JUEGO** El juego más importante a considerar para la matriz de corte es el que aparece entre los punzones y la matriz, este depende directamente del espesor y dureza del material a cortar.

$$j = \frac{3+0.5 e^2}{100} \quad (6.9)$$

Fórmula 6.4 Cálculo del juego para la matriz de corte⁴⁸

Para aluminio de 0,7 mm de espesor el juego recomendado es de 0.03245 mm, sin embargo vamos a utilizar un juego de 0,03 mm por facilidades de diseño y construcción.

- **ESPESOR** El espesor de la placa matriz está determinado por dos factores: Geométricamente de forma directa y proporcional por el espesor de la chapa metálica que se va a utilizar en nuestro caso aluminio de 0.7 mm; sin embargo

⁴⁸ MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 30

también depende del espesor de los distintos aceros especiales disponibles en el mercado.

-

Tabla 6-2 Espesores recomendados para Placa Matriz en función del espesor de chapa a recortar⁴⁹

Espesor de Chapa		Espesor Placa matriz	
in	Mm	in	mm
0 a 1/16	1.6	15/16	23.8
1/16 a 1/8	3.2	1 1/8	28.6
1/8 a 3/16	4.8	1 3/8	35
3/16 a ¼	6.4	1 5/8	41.3
Más de ¼	Más de 6.4	1 7/8	47.6

De acuerdo con la tabla 6.2.1 el mínimo espesor recomendado para la placa matriz es de 24 mm, pero al ser el material de la chapa un metal dúctil como el aluminio se puede reducir el espesor a 20mm debido a que el esfuerzo requerido para cortarlo es menor.

- **DESFOGUE** Para esta matriz no se va a tener ángulo de salida, sino más bien un desfogue paralelo a los agujeros de 0.5 mm para simplificar el mecanizado y reducir su tiempo de ejecución.

- **VIDA ÚTIL** Para una matriz de corte la vida útil es el espesor de material que dejamos en sobremedida para ser rectificado cuando esta pierda su filo. Esta dado por la formula:

$$Vida \acute{U}til = 3 a 4 e_{Chapa} \quad (6.10)$$

Fórmula 6.5 Vida útil para el afilado de la matriz en función del espesor del material a cortar⁵⁰

De esto podemos concluir que el espesor mínimo de vida útil recomendado para nuestra matriz sería de 2.8 mm, pero debido a que el aluminio que se va a utilizar es un material altamente abrasivo se decide aumentar este espesor hasta los 4 mm.

- **DESTAJE** Para el diseño de esta matriz se va a maquinar un destaje rectangular que tenga 130 x 15 mm con una pendiente de 15 x 4mm con la característica que está suficientemente desfasada del centro de gravedad de la pieza para que esta resbale.

- **DIMENSIONAMIENTO Y PROPORCIONES** La matriz de corte es de tamaño mediano y consta de 3 fases: Perforaciones rectangulares y de avance, Perforaciones circulares y Recorte de forma. Además de cuatro pernos para sujeción y dos clavijas para posicionamiento.

⁴⁹ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 92

⁵⁰ COMPILADO DE MATRICERÍA, José Guazumba, Pág. 61

Según la forma de las perforaciones se tiene las distancias al borde de la cara exterior de la placa matriz de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 6-3 Distancia mínima de las perforaciones al borde en función del espesor de la placa matriz y del tipo de contorno⁵¹

Espesor Placa matriz		Distancia mínima contorno – borde		
		Contorno sin ángulos	Contorno con ángulos rectos	Contorno con ángulos agudos
In	mm	Mm	Mm	Mm
15/16	23.8	26.8	35.7	47.6
1 1/8	28.6	32.2	42.9	57.2
1 3/8	35	39.4	52.5	70
1 5/8	41.3	46.5	63	82.6
1 7/8	47.6	53.6	71.4	95.2

Teniendo todas estas consideraciones en cuenta se determina que la matriz de corte va a tener esta disposición:

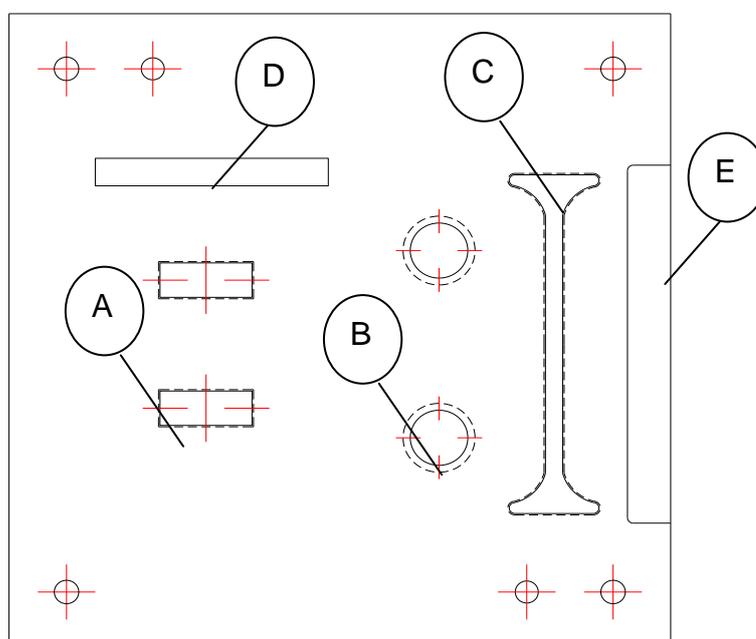


Figura 0-4 Disposición de la matriz de corte

Donde: A Perforación para punzones rectangulares, B Perforación para insertos circulares, C Perforación para punzón de forma, D Perforación para punzón de avance y E Destaje para salida de pieza recortada

La placa matriz es de forma cuadrada de 230 x 230 mm con un espesor de 20 mm, sujetado por 4 pernos M8 y dos clavijas de $\Phi 8$.

- **SELECCIÓN DE MATERIAL** El material para una matriz de corte debe ser un acero de herramientas templado, seleccionado en función de la disponibilidad del mercado, del costo y sus dimensiones.

El acero más recomendable para esta aplicación es el K100 sometido a un proceso de temple para obtener una dureza de entre 58-60 HRC.

⁵¹ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 145

- CALCULO DEL CENTRO DE LAS FUERZAS DE CORTE

Ya que en el diseño de nuestra matriz de corte tenemos varios punzones algunos en forma simétrica y otros no, necesitamos determinar las coordenadas del centro de gravedad de las fuerzas de corte. Para lo cual calculamos tanto para el eje X como el Y las distancias de los centros de cada uno de las perforaciones, así como su perímetro.

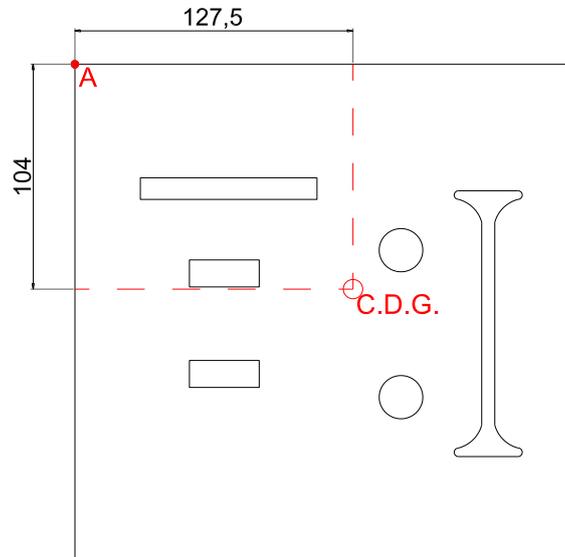


Figura 0-5 Ubicación del centro de gravedad en la matriz de corte

El cálculo para nuestro C.D.G. está en la siguiente tabla:

Tabla 6-4 Cálculo del centro de gravedad de la matriz de corte⁵²

COMPONENTE	PERIMETRO DE CORTE	X	X * P	Y	Y * P
	Mm	mm	mm ²	mm	mm ²
Punzón de Forma	330,00	189,50	62.535,00	120,00	39.600,00
Punzones Rectangulares	89,00	68,50	6.096,50	96,75	8.610,75
	89,00	68,50	6.096,50	143,25	12.749,25
Punzones Circulares	9,42	149,50	1.409,01	86,00	810,53
	9,42	149,50	1.409,01	154,00	1.451,42
Punzón de Avance	182,00	70,50	12.831,00	57,50	10.465,00
	708,85	Lx	127,50	Ly	104,0

El C.D.G. está ubicado (127,5; 104) mm con respecto al vértice A de la matriz.

6.4.2. PUNZÓN DE FORMA

Es el punzón con el que se obtiene el corte del perfil de la pieza. Funciona de un modo muy particular que corta a la vez la mitad de dos piezas.

- **OBTENCIÓN DEL PERFIL** Para obtener el perfil de corte se consideran dos piezas completas separadas entre sí por el espesor que tenga el punzón, de la siguiente forma:

⁵² MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 52

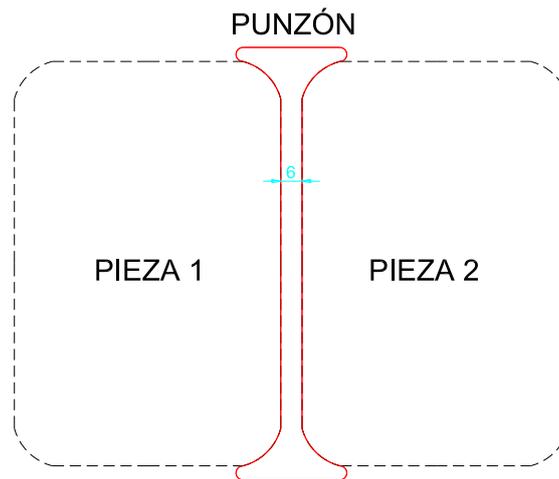


Figura 0-6 Corte del perfil de dos piezas con el punzón de forma

En este caso por criterios de maquinado y esbeltez se determina que la separación entre las piezas va a ser de 6 mm. De esta forma también se obtiene el espesor del punzón, así como sus arcos y por redondeo el resto de las dimensiones del perfil de corte. Hay que tener en consideración que el juego entre punzón matriz es de 0.03 mm que en este caso se debe restar este valor de las dimensiones de la pieza.

- **DIMENSIONAMIENTO DEL PUNZÓN** Por costos y dificultad de maquinado debido a la forma de este perfil, se decide hacer por medio de electroerosión solamente 10 mm de desbaste con este perfilado.

Debido a su tamaño y forma se va a diseñar un punzón rebordeado, esto es incluir un borde para sujetarlo a la placa portapunzón. La placa rectangular base es de 40 x 180 mm con espesor de 15 mm.

Para el altura se debe considerar los 10 mm del perfilado, los 15 mm de la placa base, un cuerpo de 45 mm y para de esta forma obtener 60 mm de altura total, que es lo recomendado para punzones de tamaño medio.

Para fijar el punzón a la placa portapunzones se utiliza dos pernos M6 con dos clavijas de $\Phi 6$.

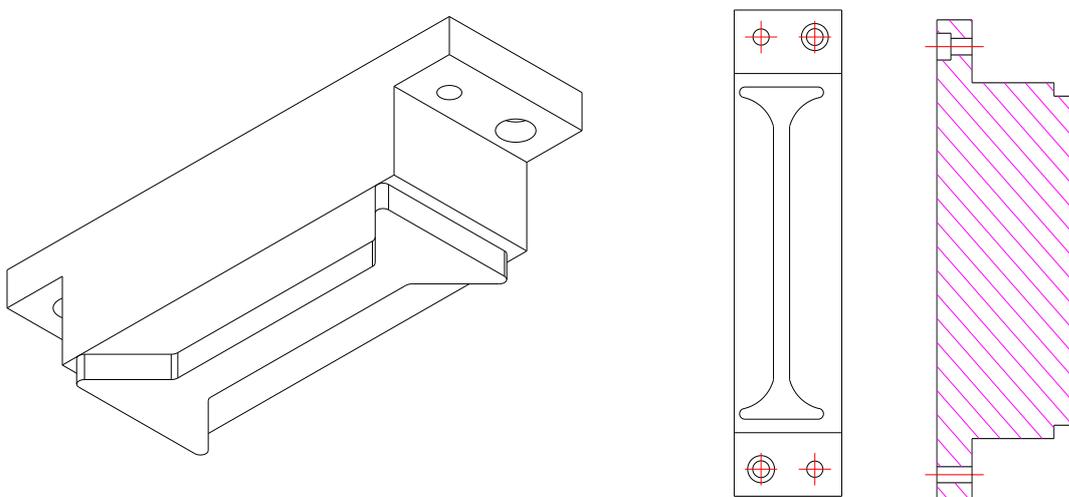


Ilustración 0-7 Esquema para el punzón de forma

- **MATERIAL** El material seleccionado para este punzón es un K100 templado con 55 a 60 HRC de dureza.

- **RESISTENCIA AL PANDEO** La longitud máxima que puede tener este punzón se calcula de la siguiente manera, utilizando la sección rectangular base:

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times I}{F_p}} \quad (6.11)^{53}$$

Donde: E es el módulo de elasticidad que para acero de herramientas templado debe tomarse como máximo $21500 \frac{Kgf}{mm^2}$, I es el momento de Inercia para la sección rectangular $I = \frac{a^3 \times b}{12}$, Fp es la fuerza de pandeo que es igual a la fuerza de corte para calcular la longitud máxima del punzón

$$F_c = P \times R \times e \quad (6.12)^{54}$$

Donde: P es el Perímetro de corte del punzón de forma $P = 330 \text{ mm}$, e es el espesor del chapa de aluminio $e = 0.7 \text{ mm}$, R, es la resistencia a la cizalladura del aluminio $R = 7 \frac{kgf}{mm^2}$

La longitud máxima del punzón sería $L = 9648 \text{ mm}$, por lo que el factor de seguridad para pandeo del punzón utilizado es de 214. Esto se debe a que la fuerza de corte para ese perímetro y material es pequeña.

6.4.3. PUNZONES PERFORADORES

Según el diseño de nuestra pieza tenemos dos tipos de perforaciones, dos circulares y dos rectangulares simétricas.

6.4.3.1. Punzón Circular

El agujero que debemos perforar es de $\Phi 3 \text{ mm}$ por lo que en la matriz debemos sumar a este diámetro el juego.

- **CUERPO** El cuerpo va a ser circular de $\Phi 10 \text{ mm}$ con ajuste deslizante h5 para la placa portapunzones y una altura de 49 mm.
- **RESALTO** Sirve para evitar movimiento axial del punzón tiene un espesor de 3 mm con $\Phi 13 \text{ mm}$.
- **PUNZÓN** Tiene un $\Phi 3 \text{ mm}$ con una altura de 7 mm y posee un cambio de sección al cuerpo de R 2 mm.
- **MATERIAL** El material a ser utilizado será un acero K100 sometido a temple para obtener una dureza de 55 - 60 HRC

⁵³ MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 62

⁵⁴ MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 62

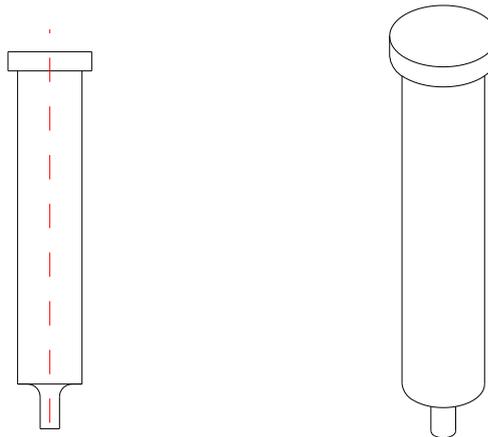


Figura 0-8 Esquema del punzón circular

La altura total es de 59 mm, esto es 1 mm menos que los punzones más grandes para evitar la posibilidad de rotura debida a flexión del material generada por los punzones adyacentes.

- **RESISTENCIA AL PANDEO** La longitud máxima que puede tener este punzón se calcula de la siguiente manera, utilizando la sección circular base con la fórmula 6.6 se tiene:

$$L = \sqrt{\frac{\pi^2 \times E \times I}{F_p}} \quad (6.13)^{55}$$

Donde: E es el módulo de elasticidad que para acero de herramientas templado debe tomarse como máximo $21500 \frac{Kgf}{mm^2}$, I es el momento de Inercia para la sección circular $I = \frac{\pi \times d^4}{64}$, Fp es la fuerza de pandeo que es igual a la fuerza de corte para calcular la longitud máxima del punzón con la fórmula 6.7.

Donde: P es el Perímetro de corte del punzón de forma $P = 9.5 \text{ mm}$, e es el espesor del chapa de aluminio $e = 0.7 \text{ mm}$, R es la resistencia a la cizalladura del aluminio $R = 7 \frac{kgf}{mm^2}$

La longitud máxima del punzón sería $L = 1500 \text{ mm}$ en la sección con $\Phi = 10 \text{ mm}$ y $L = 135 \text{ mm}$ en la sección con $\Phi = 3 \text{ mm}$, por lo que los factores de seguridad para pandeo del punzón utilizado es de 214 para $\Phi = 10 \text{ mm}$ y de 19 para $\Phi = 3 \text{ mm}$. Esto se debe a que la fuerza de corte para ese perímetro y material es pequeña.

6.4.3.2. Punzón Rectangular

El agujero que debemos perforar es de $12.5 \times 32 \text{ mm}$ por lo que para determinar las perforaciones de la matriz debemos sumar a estas medidas el juego de corte.

- **CUERPO** El cuerpo va a ser circular de $\Phi 35 \text{ mm}$ con ajuste deslizante h5 para la placa portapunzones y una altura de 45 mm .

⁵⁵ MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 62

- **RESALTO** Para evitar su movimiento axial tiene un espesor de 3 mm con $\Phi 44$ mm, por otro lado, para evitar que gire el punzón posee una destaje recto de 3 mm que se ajusta en la placa portapunzones.
- **PUNZÓN** Tiene forma rectangular de 12.5 x 32 mm con una altura de 8 mm y posee un cambio de sección al cuerpo de R 2 mm.
- **MATERIAL** El material a ser utilizado será un acero K100 sometido a temple para obtener una dureza de 55 - 60 HRC

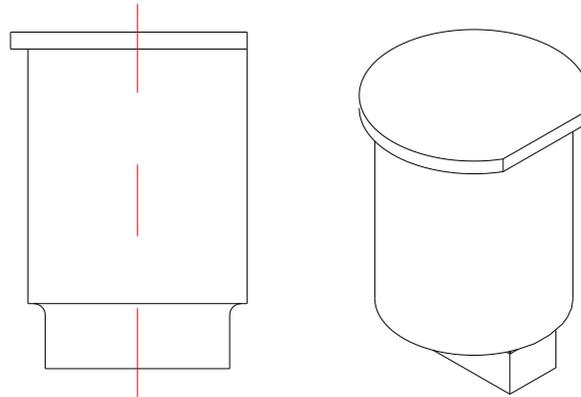


Figura 0-9 Esquema del punzón Rectangular

La altura total es de 59.5 mm, esto es 0.5 mm menos que el punzón de forma que es más grande para evitar la posibilidad de rotura debida a flexión del material generada por los punzones adyacentes.

- **RESISTENCIA AL PANDEO** La longitud máxima que puede tener este punzón se calcula de la siguiente manera, utilizando la sección circular base mediante la ecuación 6.8.

Donde: E es el módulo de elasticidad que para acero de herramientas templado debe tomarse como máximo $21500 \frac{Kgf}{mm^2}$, I es el momento de Inercia para la sección circular $I = \frac{\pi \times d^4}{64}$, Fp es la fuerza de pandeo que es igual a la fuerza de corte para calcular la longitud máxima del punzón con la fórmula 6.7.

Donde: P es el Perímetro de corte del punzón de forma $P = 89$ mm, e es el espesor del chapa de aluminio $e = 0.7$ mm, R es la resistencia a la cizalladura del aluminio $R = 7 \frac{kgf}{mm^2}$

La longitud máxima del punzón sería $L = 7057$ mm en la sección con $\Phi = 38$ mm y $L = 1591$ mm en la sección rectangular de 12,5 x 32 mm, por lo que los factores de seguridad para pandeo del punzón utilizado es de 588 para $\Phi = 38$ mm y de 35 para la sección rectangular. Esto se debe a que la fuerza de corte para ese perímetro y material es pequeña.

6.4.4. RESISTENCIA AL PANDEO

A continuación se presenta una tabla de resumen con el cálculo de la resistencia al pandeo de todos los punzones con sus respectivos factores de seguridad.

Tabla 6-5 Longitud máxima y factor de seguridad para evitar el pandeo de los punzones⁵⁶

COMPONENTE	PERIMETRO DE CORTE	FUERZA CORTE	MOMENTO DE INERCIA	Lmax	FS
	Mm	kgf	mm ⁴	mm	
Punzón de Forma	329,95	1.616,75	709.333,33	9.648,80	214,42
Portapunzones Rectangulares	89,00	436,10	5.208,33	1.591,94	35,38
	89,00	436,10	102353,87	7057,13	588,09
Portapunzones Circulares	9,42	46,18	490,87	1501,83	214,55
	9,42	46,18	3,98	135,16	19,31
Punzón de Avance	182,00	891,80	3456,00	906,82	28,34
	182,00	891,80	54000,00	3584,53	275,73

6.4.5. PLACAS PORTAPUNZONES

Las placas portapunzones son aquellas que retienen y soportan cualquier tipo de punzón sean estos de perforación, ranurado o corte.

6.4.5.1. Placa Portapunzones Circular

La placa portapunzones circular es la que sirve para fijar los punzones circulares a la placa base superior de la matriz de corte.

- **SUJECCIÓN** Para fijar los punzones y su placa se van a utilizar: Dos pernos M6 para evitar su separación y dos clavijas con $\Phi 6$ mm para asegurar su posición exacta.
- **DIMENSIONES** El espesor de la placa es de 15 mm con dos agujeros de para los punzones de $\Phi 10$ mm con ajuste deslizante N6 y con $\Phi 13$ mm para retener el resalto del punzón.
- **MATERIAL** Para todas las placas portapunzones se va a utilizar acero normal de transmisión A50.

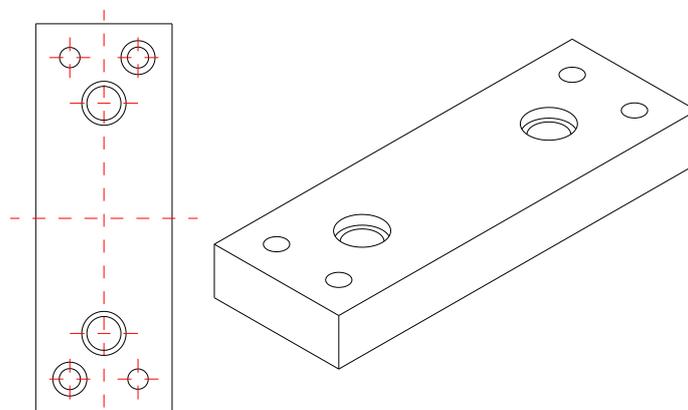


Figura 0-10 Esquema de la placa portapunzones circulares

⁵⁶ MATRICERIA, Antonio Valenciano, Pág. 62

6.4.5.2. Base Portapunzones Rectangular

La placa portapunzones rectangular es la que sirve para fijar los punzones rectangulares a la placa base superior de la matriz de corte.

- **SUJECIÓN** Para fijar los punzones y su placa se van a utilizar: Dos pernos M8 para evitar su separación y dos clavijas con $\Phi 8$ mm para asegurar su posición exacta.
- **DIMENSIONES** El espesor de la placa es de 15 mm con dos agujeros para los punzones de $\Phi 38$ mm con ajuste deslizante N6 y con una ranura de 41 x 3 mm a lo largo de la placa para retener el resalto del punzón y evitar que gire.
- **MATERIAL** Para todas las placas portapunzones se va a utilizar acero normal de transmisión A50.

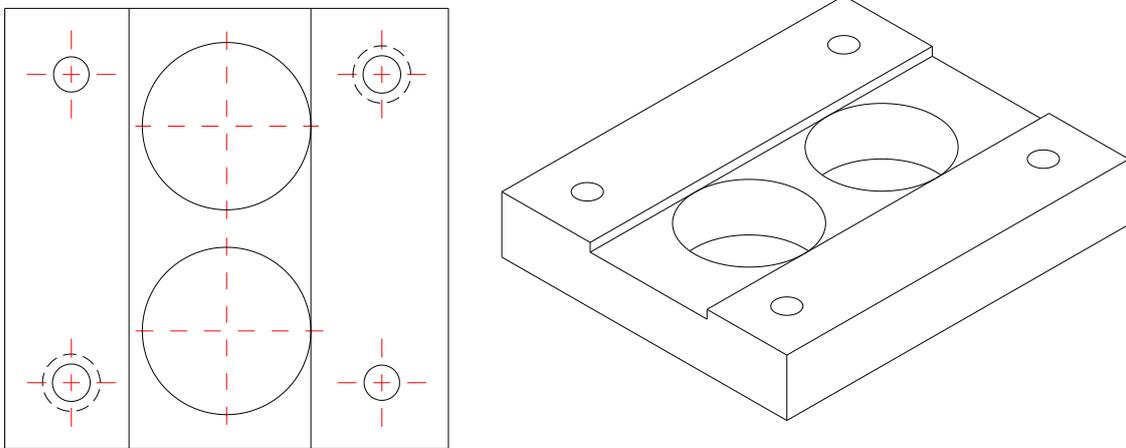


Figura 0-11 Esquema de la placa portapunzones rectangulares

6.4.6. PLACA EXPULSORA

Normalmente para matricería se diseña por separado la placa expulsora y las regletas o guías, pero para matrices pequeñas y medianas se las puede unir en una solo cuerpo que cumpla con las dos funciones.

De esta forma esta placa expulsora/guía sirve para guiar todos los punzones para el corte y a su vez separar los retazos de la chapa en cada etapa de la pieza recortada.

- **SUJECIÓN** Para fijar la placa expulsora/guía, matriz y portamatriz se van a utilizar: Cuatro pernos M8 para evitar su separación atornillada en la placa portamatriz. Conjuntamente con dos clavijas con $\Phi 8$ mm para asegurar su posición exacta; pasantes por las placas expulsora/guía y matriz y semiciegas en la placa portamatriz.
- **DIMENSIONES** El espesor de la placa es de 20 mm con dos agujeros para los punzones rectangulares de $\Phi 38$ mm, dos agujeros para los punzones circulares de $\Phi 10$ mm, un agujero rectangular de 19x81 mm para el punzón de avance y un

agujero rectangular de 40x133 mm para el punzón de forma. Todos con un rebaje angular de 1mm x 45° para facilitar el ingreso de cada uno de ellos.

- **RANURA** La ranura guía para la chapa de metal consta de dos etapas separadas entre sí por el punzón de avance. La primera es de 111 x 125 mm y la segunda de 119 x 115 mm.
- **TOPE RECTANGULAR** Al final de la carrera del punzón de avance, se va a maquinar una ranura rectangular de 20 x 30 mm para fijar un tope rectangular fijado con dos pernos M6. Este tope va a tener 10 mm de espesor de acero DF2 templado de 50 a 55 HRC de dureza, este va a sufrir el continuo golpeteo del avance de la chapa.
- **MATERIAL** El material seleccionado para esta aplicación es un acero normal de transmisión A50.

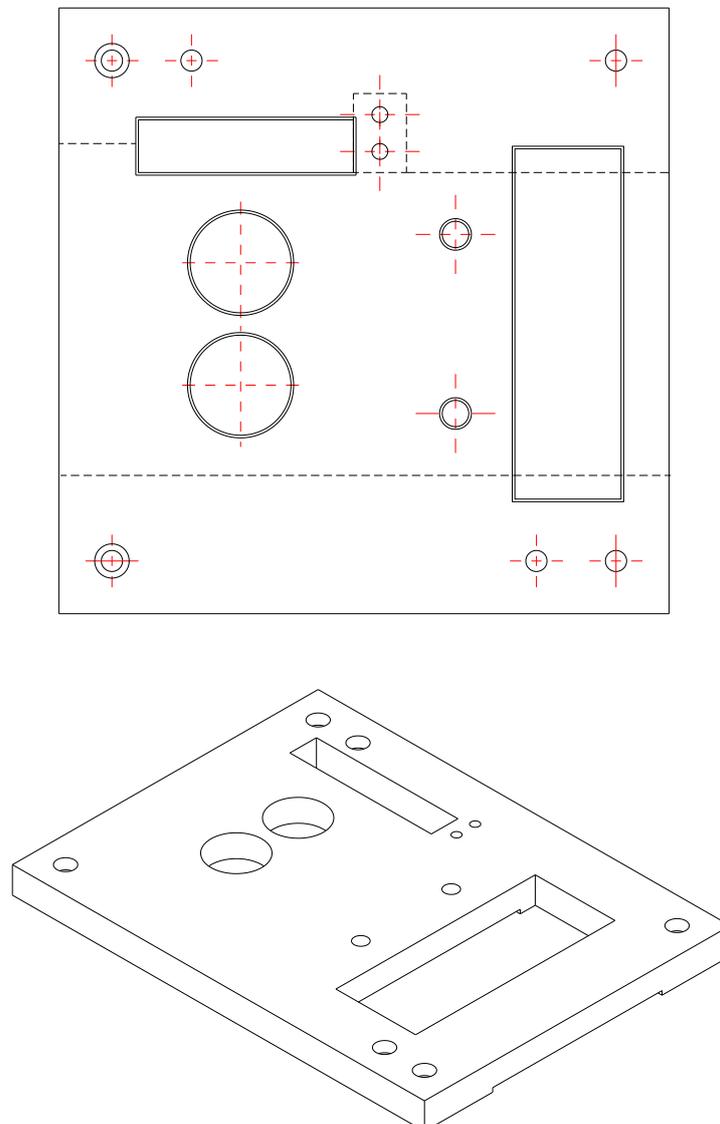


Figura 0-12 Esquema de la placa guía/expulsora

6.4.7. PUNZÓN DE AVANCE AUTOMÁTICOS

Este punzón cumple dos funciones: Nos da la posición horizontal de avance exacta para cada etapa de corte y corrige defectos de las dimensiones verticales del fleje. Dejando la tira de metal dimensionalmente exacta para las demás etapas de corte.

- **SUJECIÓN** Para fijar este punzón a la placa portapunzones se van a utilizar: Dos pernos M6 para evitar su separación y dos clavijas con $\Phi 6$ mm para asegurar su posición exacta.
- **DIMENSIONES** Posee una placa base rectangular de 40 x 140 mm con un espesor de 15 mm. Tiene 32mm de cuerpo con R3 mm de cambio de sección y un punzón de corte rectangular de 8 x 81 mm con 13 mm de altura y R3 mm de cambio de sección.
- **MATERIAL** Se va utilizar acero de herramientas K100, para ser templado para obtener entre 62 a 64 HRC de dureza.

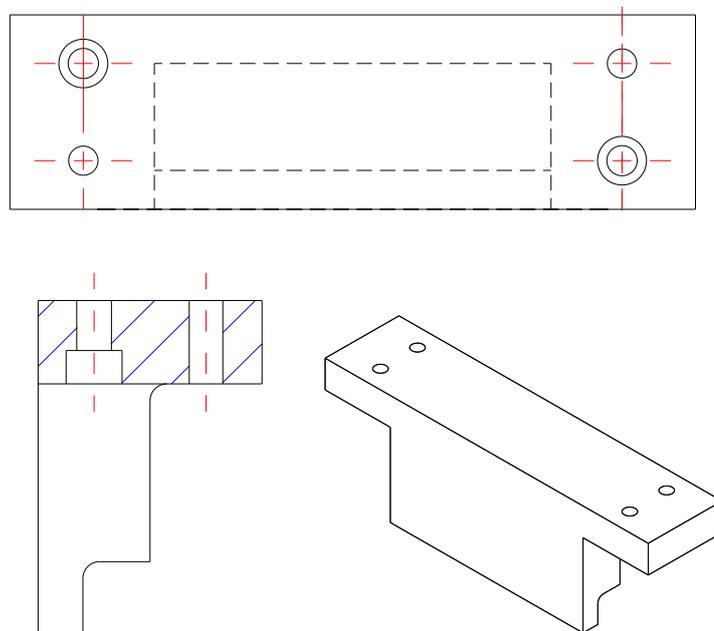


Figura 0-13 Esquema Punzón de avance automático

- **RESISTENCIA AL PANDEO** La longitud máxima que puede tener este punzón se calcula de la siguiente manera, utilizando la sección rectangular base mediante la fórmula 6.6.

Donde: E es el módulo de elasticidad que para acero de herramientas templado debe tomarse como máximo $21500 \frac{Kgf}{mm^2}$, I es el momento de Inercia para la sección rectangular $I = \frac{\pi \times d^4}{64}$, Fp es la fuerza de pandeo que es igual a la fuerza de corte para calcular la longitud máxima del punzón mediante la fórmula 6.7.

Donde: P es el Perímetro de corte del punzón de forma $P = 89$ mm, e es el espesor del chapa de aluminio $e = 0.7$ mm, R es la resistencia a la cizalladura del aluminio $R = 7 \frac{kgf}{mm^2}$

La longitud máxima del punzón sería $L = 906$ mm en la sección rectangular de 8×81 mm y $L = 3584$ mm en la sección rectangular de 20×81 mm, por lo que los factores de seguridad para pandeo del punzón utilizado son de 28 para la sección rectangular de 8×81 mm y 275 para la sección rectangular de 20×81 mm. Esto se debe a que la fuerza de corte para ese perímetro y material es pequeña.

6.4.8. ELEMENTOS DE UNIÓN

En el diseño de herramientas y matrices, los elementos de unión suelen ser el eslabón más débil. Y si no son seleccionados y aplicados correctamente pueden ser causa de fallos o averías como son: Grietas y fracturas en piezas templadas, roscas rotas, deformación por tensiones internas y deficiente alineación de agujeros.

- **SEPARACIÓN ENTRE AGUJEROS Y BORDES DE LA PIEZA** Esta distancia es particularmente importante para piezas fabricadas con acero de herramientas, si es insuficiente es muy probable que el bloque se agriete en el proceso de temple.

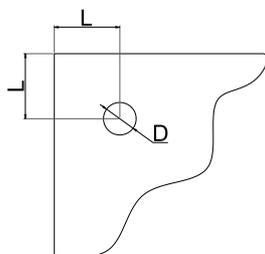


Figura 0-14 Ubicación agujeros para elementos de unión

	MATERIAL	
	Acero de Máquinas	Acero de Herramientas
L	$1 \frac{1}{8} D$	$1 \frac{1}{4} D$

Tabla 6-6 Distancia mínima borde-agujero de acuerdo al material⁵⁷

- **SEPARACIÓN ENTRE AGUJEROS** Es muy recomendable que los agujeros de los tornillos estén lo más próximos a los bordes para que las clavijas puedan estar suficientemente separadas a fin de obtener una posición exacta.

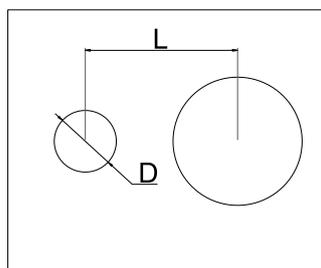


Figura 0-15 Separación entre agujeros para elementos de unión

Tabla 6-7 Separación mínima entre agujeros de elementos de unión de acuerdo al material⁵⁸

	MATERIAL	
	Acero de Máquinas	Acero de Herramientas
L	D	$1 \frac{1}{8} D$

⁵⁷ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 177

⁵⁸ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 179

6.4.8.1. Pernos

Cuando deban ser ensamblados sólidamente los componentes de un dispositivo mecánico y haya que desarmarlos ocasionalmente para las reparaciones, ajustes o sustituciones; los más apropiados son los elementos de unión roscados siendo los más comúnmente aplicados los tornillos de cabeza cilíndrica hueca.

Los tornillos se utilizan para mantener solidarios los componentes de la matriz, no están destinados a posicionarlos lateralmente.

- **SELECCIÓN** Los tornillos seleccionados son los disponibles en el mercado, Pernos Allen (Cabeza cilíndrica con hueco hexagonal) con $\Phi 6$ y $\Phi 8$ mm de Acero - 6 12.9 en diferentes longitudes dependiendo de los componentes a sujetar.

- **LONGITUD DE ROSCADO** Si la distancia de roscado es muy corta es muy posible que los filetes se rompan en el agujero roscado, en la siguiente tabla se puede observar la longitud mínima de roscado recomendada para varios materiales.

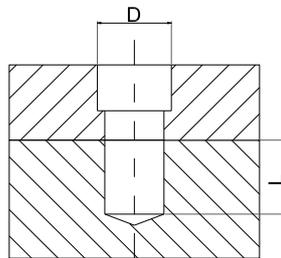


Figura 0-16 Esquema para longitud mínima de roscado

Tabla 6-8 Longitud mínima de roscado en función del diámetro y del material de la placa⁵⁹

MATERIAL	LONGITUD
Acero	$1 \frac{1}{2} D$
Fundición	$2 D$
Magnesio	$2 \frac{1}{4} D$
Aluminio	$2 \frac{1}{2} D$
Plástico	$3D$ & mas

- **APLICACIÓN Y FIJACIÓN** Para la aplicación de los tornillos, se debe hacer un agujero con las dimensiones de la cabeza del perno de modo que después del ensamblaje esta quede a la misma altura de la superficie.

Para la fijación de los tornillos en las placas lo más crítico es la unión de las placas expulsora/guía, matriz y portamatriz; la solución más aconsejable por simplicidad de diseño y facilidad de construcción es hacer pasante el tornillo a través de las dos primeras placas y roscado en la portamatriz.

⁵⁹ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 181

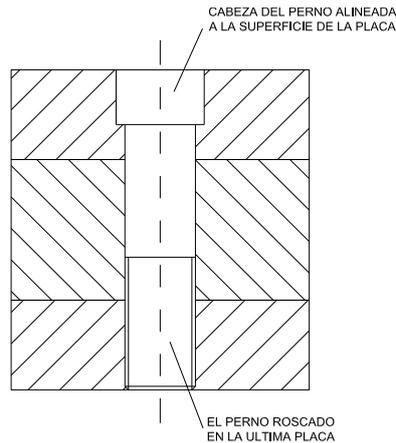


Figura 0-17 Fijación de las placas guía expulsora, matriz y portamatriz mediante perno allen

- **RESISTENCIA DE SEGURIDAD** En el diseño de matricería no interesa la resistencia del tornillo en su estado libre, sino la resistencia después de haber sido apretado. En la siguiente tabla se encuentran las resistencias efectivas de los tornillos en base a una resistencia a la rotura de 180000 lb/in²

Tabla 6-9 Carga máxima de un perno allen en función de su diámetro⁶⁰

Tamaño del Tornillo	CARGA	
	MIN	MAX
4	540	585
6	810	910
8	1250	1315
10	1565	1790
¼	2850	3260
5/16	4620	5200
3/8	6950	7900
½	12400	14000

- **FUERZAS DE SEPARACIÓN** En el siguiente cuadro se tiene la fuerza de separación y el factor de seguridad del diseño por cada componente, con respecto al tamaño y número de tornillos empleados.

Tabla 6-10 Cálculo de las fuerzas de separación y factores de seguridad para los componentes de la matriz de corte en función del perímetro de corte⁶¹

COMPONENTE	PERÍMETRO DE CORTE	FUERZA SEPARACIÓN	TORNILLOS			Factor de Seguridad
	In	lb	Tamaño	#	Resistencia lb	
Placa Matriz	27,91	657,54	M8	4	18480	28,1
Punzón de Forma	12,99	306,09	M6	2	5700	18,6
Portapunzones Rectangulares	7,01	165,13	M8	2	9240	56,0
Portapunzones Circulares	0,74	17,49	M6	2	5700	326,0
Punzón de Avance	7,17	168,84	M6	2	5700	33,8

⁶⁰ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 187

⁶¹ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 187

6.4.8.2. Clavijas/Pasadores

Las clavijas son elementos de unión que mantienen los componentes perfectamente alineados por absorción de impactos laterales. Su empleo facilita el rápido montaje y desmontaje de la matriz.

Son construidas de acero templado tratado térmicamente para obtener un exterior duro con un núcleo blando pero robusto de manera que resista la cortadura y el aplastamiento.

- **RESISTENCIA A LA CIZALLADURA** El esfuerzo máximo al que puede someterse las clavijas es el producto de la fatiga admisible por el área de la clavija. Si la resistencia a la rotura es de 160000 lb/in² y se aplica un coeficiente de seguridad de 12. En la siguiente tabla se tiene las cargas de seguridad de clavijas trabajando bajo cortadura simple, en el caso de haber doble cortadura los valores se duplican.

Tabla 6-11 Carga admisible de un pasador en función de su diámetro⁶²

Φ Clavija	Carga Admisible (lb)
1/8	164
3/16	368
1/4	655
5/16	1022
3/8	1473
7/16	2004
1/2	2618

- **APLICACIÓN Y FIJACIÓN** Para la aplicación de las clavijas, se debe hacer un agujero con ajuste forzado de modo que después del ensamblaje esta quede a la misma altura de la superficie.

Para la fijación de las clavijas la solución más aconsejable por simplicidad de diseño y facilidad de construcción es hacer pasante las clavijas a través de las dos primeras placas y semiciega en la placa portamatrix dejando un pequeño orificio desde el inferior para desarmar el conjunto.

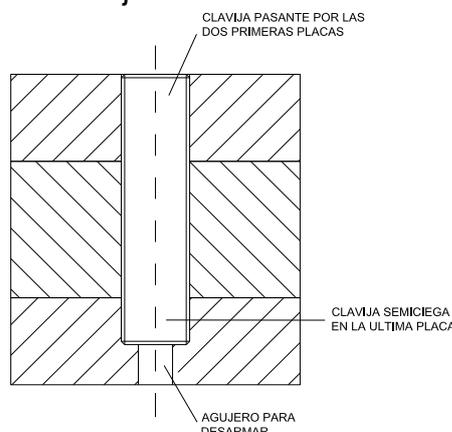


Figura 0-18 Esquema de fijación de una clavija semiciega para las placas expulsora-guía, matriz y portamatrix

⁶² MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 188

- **MECANISMO DE FIJACIÓN ENTRE COMPONENTES** En la siguiente tabla se detallan el número y tamaño de las clavijas y tornillos empleados para la fijación de los distintos componentes de la matriz de corte

Tabla 6-12 Cantidad de elementos de unión para fijar los componentes de la matriz de corte

COMPONENTE	CLAVIJAS		TORNILLOS	
	#	Tamaño	#	Tamaño
Placa Matriz	2	Φ8	4	M8
Placa Expulsora	2	Φ8	4	M8
Punzón de Forma	2	Φ6	2	M6
Portapunzones Rectangulares	2	Φ8	2	M8
Portapunzones Circulares	2	Φ6	2	M6
Punzón de Avance	2	Φ6	2	M6

6.4.9. ARMAZÓN

Después de haber sido diseñados todos los componentes y detalles de la matriz se selecciona un armazón del tamaño y forma apropiados en el catálogo de un fabricante.

En nuestro caso se tomó un catálogo del fabricante colombiano Establecimientos Molplas como base para la selección del armazón de las matrices. Por criterio de costos se decide tomar el diseño y dimensiones de los armazones para construirlos de manera local.

6.4.9.1. Placa Portamatriz

La placa o base portamatriz es el miembro inferior de trabajo del armazón que se caracteriza por tener los agujeros donde se fijan las columnas.

En esta placa se debe mecanizar a través de toda su altura los agujeros de salida para los recortes y discos de metal. También se deben mecanizar los agujeros roscados para los pernos de fijación de las placas matriz y expulsora/guía; así como los agujeros para las clavijas que deben ser semiciegas.

Además debe ser mecanizada la superficie A para el escuadrado y posicionamiento de los demás componentes de la matriz. Así como las superficies C donde en la parte superior se fijan los componentes de la matriz y en la inferior descansa sobre la placa solera de la prensa

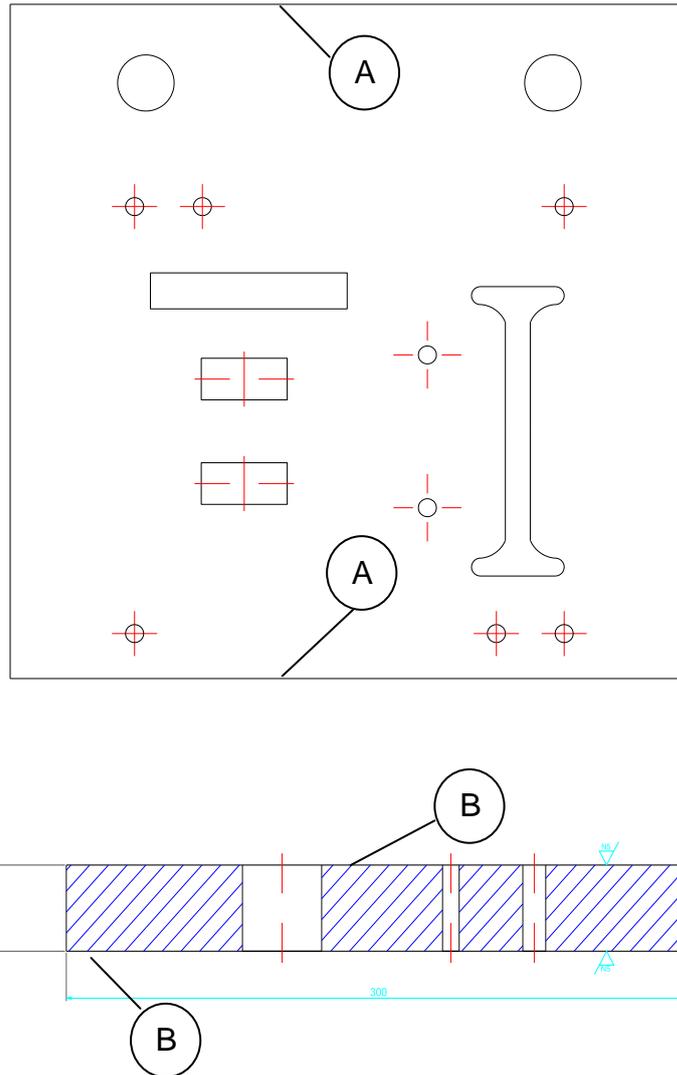


Ilustración 0-19 Esquema de la placa portamatrix y superficies de escuadrado

6.4.9.2. Placa Portapunzones

La placa o base portapunzones es el miembro superior de trabajo del armazón que se caracteriza por tener los agujeros donde se fijan los casquillos o bujes.

En esta placa se debe mecanizar los agujeros roscados para los pernos de fijación y clavijas de posicionamiento de las placas portapunzones circular y rectangular; así como los agujeros para los pernos y las clavijas para los punzones de forma y de avance.

Además debe ser mecanizada la superficie A para el escuadrado y posicionamiento de los punzones y portapunzones de la matriz. Así como las superficies B donde en la parte superior se fijan los componentes de la matriz y en la inferior descansa sobre la placa solera del pisón de la prensa.

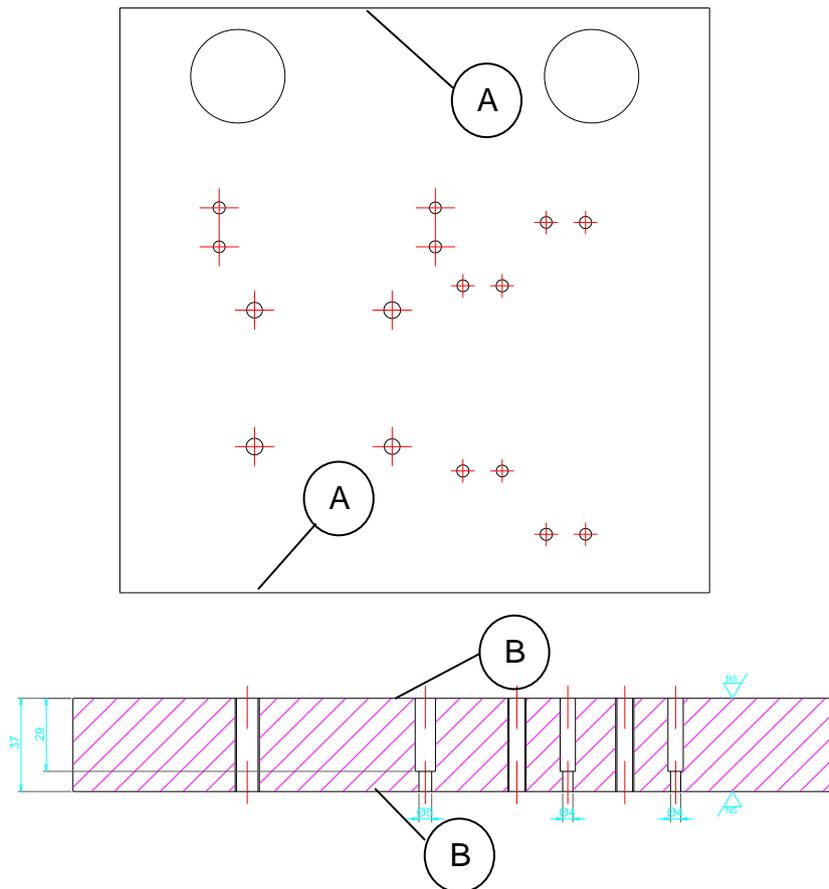


Ilustración 0-20 Esquema de placa portapunzones y superficies de escuadrado

6.4.9.3. Casquillos

Casquillos guía o bujes, se acoplan a las columnas para alinear la placa portapunzones con la portamatriz. La mayoría son fabricados de acero de herramientas aunque también se los hace de bronce.

Existen dos tipos de casquillos: Sencillos y con resalto, estos últimos recomendados para operaciones de corte. La longitud de los casquillos dependerá de la precisión requerida por la matriz, teniendo en cuenta que mientras más largo sea el casquillo más preciso será el corte.

- **SELECCIÓN** Teniendo en consideración que vamos a trabajar con una matriz de corte en aluminio de 0,7 mm de espesor y que el juego que manejamos para esta operación es de 0,03mm se seleccionó casquillos con resalto de buena longitud.
- **ENSAMBLAJE** Los casquillos son ensamblados con ajuste de contracción en agujeros taladrados en la placa portapunzones. Esto significa someterlos a un proceso de profundo enfriamiento reduciendo sus diámetros e insertarlos en los agujeros de la base portapunzones calentándolos hasta la temperatura ambiente para obtener un ajuste forzado entre los componentes.
- **MATERIAL** El material seleccionado para fabricar los casquillos es un acero de herramientas DF2 sometido a un proceso de templado para alcanzar una dureza de 50 a 55 HRC

- **DIMENSIONES** Posee un $\Phi 30$ mm interno para la columna con ajuste deslizante H7, un $\Phi 48$ mm para el ajuste forzado n6 en la placa portapunzones, un $\Phi 60$ mm de resalto y una longitud de 90mm.

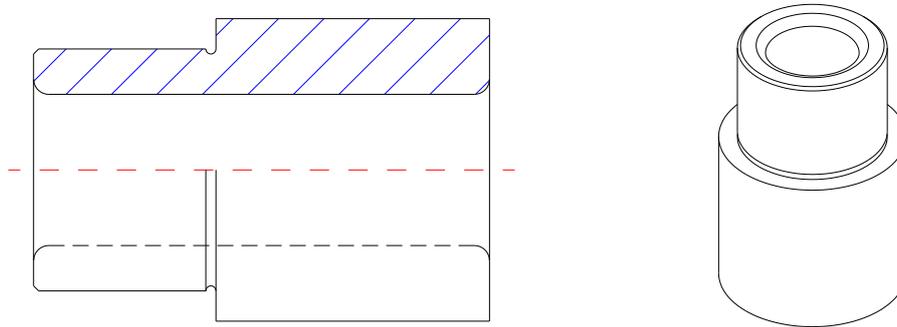


Ilustración 0-21 Esquema de los casquillos para la matriz de corte

6.4.9.4. Columnas

Las columnas guías son pasadores que se introducen en los casquillos para alinear los componentes del punzón y la matriz con un alto grado de precisión.

Existen varios tipos de columnas guía dependiendo de dos factores primordiales: El grado de precisión requerido por la matriz y la facilidad de montaje/desmontaje. Este último es muy importante considerarlo debido a que en las fases de fabricación, iniciales de acoplamiento y afilados se debe armar y desarmar las matrices y considerar que algunas tienen más de dos columnas.

- **SELECCIÓN** Teniendo en consideración que vamos a trabajar con una matriz de corte para material delgado se seleccionó columnas rectificadas después del temple con rebaje en la sección que va ensamblada en el portamatrix.
- **ENSAMBLAJE** Las columnas son ensambladas con ajuste de contracción en agujeros taladrados en la placa portamatrix. Esto significa someterlas a un proceso de profundo enfriamiento reduciendo sus diámetros e insertarlas en los agujeros de la base portamatrix calentándolos hasta la temperatura ambiente para obtener un ajuste forzado entre los componentes.
- **MATERIAL** El material seleccionado para fabricar las columnas es un acero de herramientas DF2 sometido a un proceso de templado para alcanzar una dureza de 50 a 55 HRC
- **DIMENSIONES** Posee un $\Phi 30$ mm con ajuste deslizante h6, un $\Phi 25$ mm para el ajuste forzado n6 en la placa portamatrix y una longitud total de 250mm.

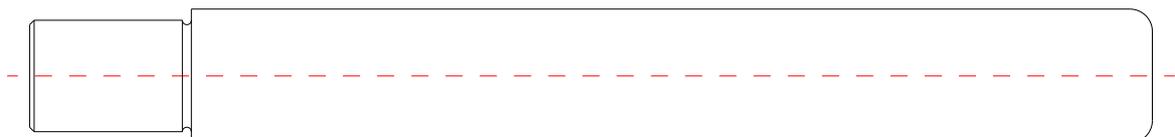


Ilustración 0-22 Esquema de la columna para la matriz de corte

6.5. MATRIZ DE EMBUTICIÓN

6.5.1. PLACA MATRIZ

Los principales factores que se consideran para diseñar la placa matriz son: Las dimensiones de la pieza, el espesor de la pieza, la profundidad del embutido y el tipo de matriz que se va a utilizar.

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

- **JUEGO** El juego más importante a considerar para la matriz de embutición es el que aparece entre los punzones y la matriz, este depende directamente del espesor, altura de embutición y dureza del material a embutir.

Para una embutición rectangular en aluminio el juego recomendado en función del espesor es de:

$$j = 1,1 \text{ a } 1,3 * e$$

Fórmula 6.9 Cálculo del juego para la matriz de embutición en función del espesor de la chapa⁶³

Con un aluminio de 0,7 mm de espesor se va a utilizar un juego de 1 mm equivalente a un factor de 1,43*e por facilidades de diseño y construcción.

- **RADIO DE BORDE** Este radio es muy importante ya que condiciona la embutición permitiendo el deslizamiento apropiado del material impidiendo la formación de pliegues. La recomendación es:

Tabla 6-13 Determinación del radio de borde en función del espesor de la chapa a embutir⁶⁴

Espesor Chapa	Radio de Borde
$e < 1 \text{ mm}$	6 @ 8 e
$1 < e < 3 \text{ mm}$	4 @ 6 e
$3 < e < 4 \text{ mm}$	2 @ 4 e

Esto quiere decir que para aluminio de 0,7 mm de espesor el radio de borde mínimo sería de 4,2 mm. Considerando que la altura total de embutición es de 5 mm hay que necesariamente reducir este radio, por facilidades de construcción se decide dejarlo en 1 mm, ya que si fuese mayor el radio no tendría una superficie de apoyo suficiente.

- **ESPESOR** El espesor de la placa matriz está determinado por dos factores: Geométricamente de forma directa y proporcional por el espesor de la chapa metálica que se va a utilizar en nuestro caso aluminio de 0.7 mm; sin embargo

⁶³ COMPILADO DE MATRICERÍA, José Guazumba, Pág. 123

⁶⁴ COMPILADO DE MATRICERÍA, José Guazumba, Pág. 123

también depende del espesor de los distintos aceros especiales disponibles en el mercado.

Tabla 6-14 Espesor de la placa matriz en función del espesor de la placa a embutir⁶⁵

Espesor de Chapa		Espesor Placa matriz	
in	mm	in	mm
0 a 1/16	1.6	15/16	23.8
1/16 a 1/8	3.2	1 1/8	28.6
1/8 a 3/16	4.8	1 3/8	35
3/16 a ¼	6.4	1 5/8	41.3
Más de ¼	Más de 6.4	1 7/8	47.6

De acuerdo con la tabla, el mínimo espesor recomendado para la placa matriz es de 24 mm, pero al ser el material de la chapa un metal dúctil como el aluminio se puede reducir el espesor a 20mm debido a que el esfuerzo requerido para embutir es menor que para cortar.

- **DESTAJE** Para el diseño de esta matriz se va a maquinar un destaje con la forma del perfil del recorte de la pieza con una profundidad de 1,5 mm. Para que sirva de guía de la pieza para la embutición.

- **DIMENSIONAMIENTO Y PROPORCIONES** La matriz es de tamaño pequeño y consta de una sola fase para embutir la pieza en toda su altura. Además de dos pernos para sujeción y dos clavijas para posicionamiento. Según la forma de las perforaciones se tiene las distancias al borde de la cara exterior de la placa matriz de acuerdo con la siguiente tabla:

Tabla 6-15 Distancia de los agujeros al borde de la pieza en función del espesor de la placa matriz⁶⁶

Espesor Placa matriz		Distancia mínima contorno – borde		
		Contorno sin ángulos	Contorno con ángulos rectos	Contorno con ángulos agudos
In	Mm	Mm	Mm	Mm
15/16	23.8	26.8	35.7	47.6
1 1/8	28.6	32.2	42.9	57.2
1 3/8	35	39.4	52.5	70
1 5/8	41.3	46.5	63	82.6
1 7/8	47.6	53.6	71.4	95.2

Teniendo todas estas consideraciones en cuenta se determina que la matriz de corte va a tener esta disposición:

⁶⁵ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 92

⁶⁶ MANUAL DEL TECNICO MATRICERO, Konnick / Gutter, Pág. 145

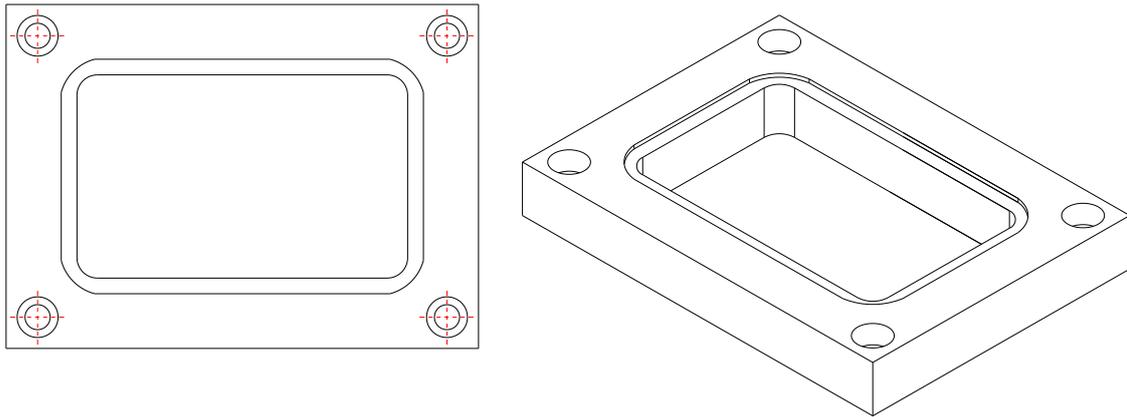


Figura 0-23 Esquema del punzón de la placa matriz de embutición

6.5.2. PUNZÓN DE EMBUTICIÓN

Este punzón cumple dos funciones: Sirve de guía de la matriz de corte y realiza la embutición propiamente dicha.

- **SUJECCIÓN** Para fijar este punzón a la placa portapunzones se van a utilizar: Dos pernos M8 para evitar su separación y dos clavijas con $\Phi 8$ mm para asegurar su posición exacta.
- **DIMENSIONES** Posee una placa base rectangular de 150 x 110 mm con un espesor de 30 mm. Tiene 3 mm x 45° de biselado para cambio de sección. Además de un punzón de embutición rectangular de 102 x 62 mm con un redondeo de R5 mm con 5 mm de altura.
- **MATERIAL** Se va utilizar acero de herramientas K100, para ser templado para conseguir entre 62 y 62 HRC de dureza.

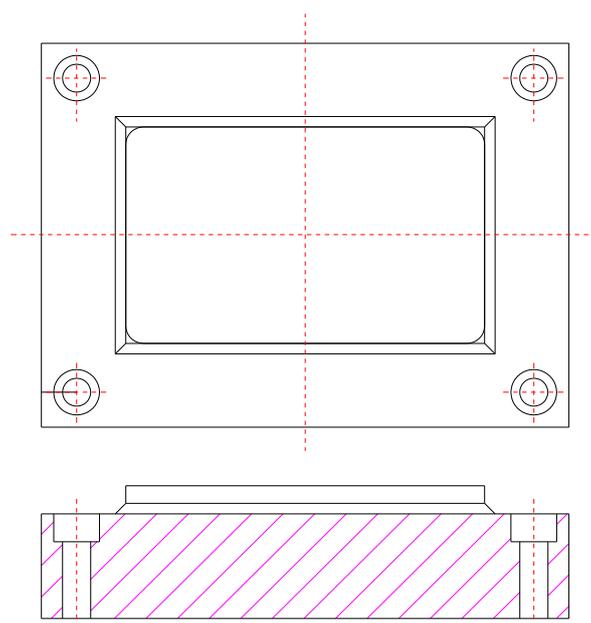


Figura 0-24 Esquema del punzón de embutición

6.5.3. CONJUNTO EXPULSOR

Es el mecanismo encargado de expulsar la pieza una vez que haya sido embutida. Se ha optado por el diseño más sencillo tanto por facilidad de construcción como por su bajo costo.

Esto es una placa expulsora con dos muelles helicoidales en su inferior; una vez embutida la pieza, el conjunto retorna a su posición inicial (alineada con la placa matriz) expulsando la pieza terminada.

6.5.3.1. Placa Expulsora

Es una placa plana que sirve de apoyo para evitar pliegues en la embutición por medio de la presión ejercida sobre el recorte por el punzón y su superficie. Tiene el mismo perfil del agujero de la matriz pero con un juego de 0.5 mm por lado.

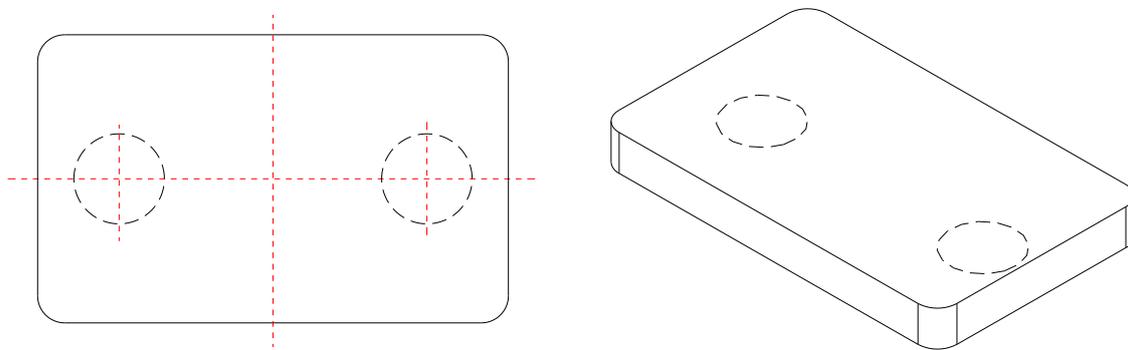


Figura 0-25 Esquema de la placa expulsora de embutición

6.5.3.2. Muelles

Se tienen dos muelles helicoidales ubicados debajo de la placa expulsora que fueron diseñados de manera que su constante de elasticidad vence la fuerza de separación generada por la embutición expulse la pieza terminada.

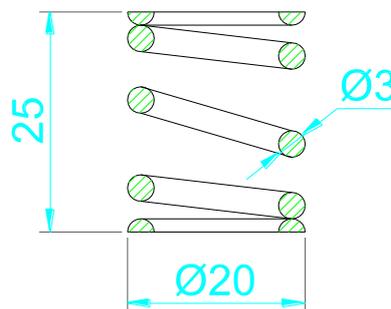


Figura 0-26 Dimensionamiento de muelles expulsores

Ver Catálogo de muelles Helicoidales Irino en el **ANEXO A**

6.5.4. ELEMENTOS DE UNIÓN

Se emplean los mismos criterios empleados en el punto 6.2.7. Mediante la observación que las fuerzas de separación se calculan para un solo punzón el de embutición.

- **MECANISMO DE FIJACIÓN** En la siguiente tabla se detallan el número y tamaño de las clavijas y tornillos empleados para la fijación de los distintos componentes de la matriz de corte

Tabla 6-16 Cantidad de los elementos de unión a utilizar para fijar los elementos de la matriz

COMPONENTE	CLAVIJAS		TORNILLOS	
	#	Tamaño	#	Tamaño
Placa Matriz	2	Φ8	2	M8
Punzón de Forma	2	Φ8	2	M8

- **PERNOS** Por lo que sea para la matriz o para el punzón de embutición se consigue un factor de seguridad muy elevado para cumplir su objetivo.

Tabla 6-17 Cálculo de la fuerza de separación y factores de seguridad en función del perímetro de embutición

COMPONENTE	PERIMETRO	FUERZA SEPARACIÓN	TORNILLOS			Factor de Seguridad
	In	lb	Tamaño	#	Resistencia lb	
Placa Matriz	12,98	305,90	M8	2	9240	30,2
Punzón de Embutición	12,71	299,59	M8	2	5700	19,0

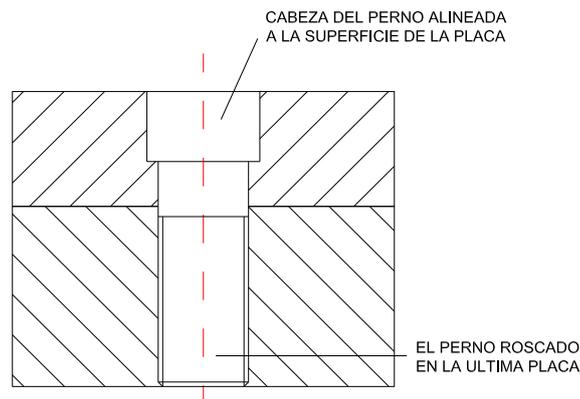


Figura 0-27 Fijación de dos placas por medio de pernos allen

- **CLAVIJAS** Las clavijas dentro de nuestro diseño cumplen la función específica de posicionar la placa matriz y el punzón de embutición sobre sus respectivas placas base.

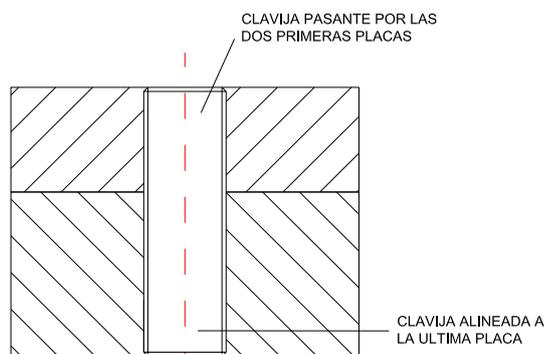


Figura 0-28 Fijación de dos placas por medio de un pasador

6.5.5. ARMAZÓN

Después de haber sido diseñados todos los componentes y detalles de la matriz se selecciona un armazón del tamaño y forma apropiados en el catálogo de un fabricante.

En nuestro caso se tomó un catálogo del fabricante colombiano Establecimientos Molplas como base para la selección del armazón de las matrices. Por criterio de costos se decide tomar el diseño y dimensiones de los armazones para construirlos de manera local.

Para esta matriz no se va a utilizar columnas para guiar la matriz, sino, se va a centrar adecuadamente el punzón de embutición con la matriz utilizando las columnas de la prensa. Esto debido a que la embutición es de solo 5 mm de profundidad.

6.5.5.1. Placa Portapunzón

Esta placa es de diseño rectangular en acero A50 donde, se deben mecanizar los agujeros roscados M8 para los pernos de fijación de la placa matriz; así como los agujeros para las clavijas $\Phi 8$ mm y un agujero M12 para centrar.

Además también incluye dos agujeros laterales M8 para fijarla por medio de bridas a la placa solera inferior para realizar la embutición.

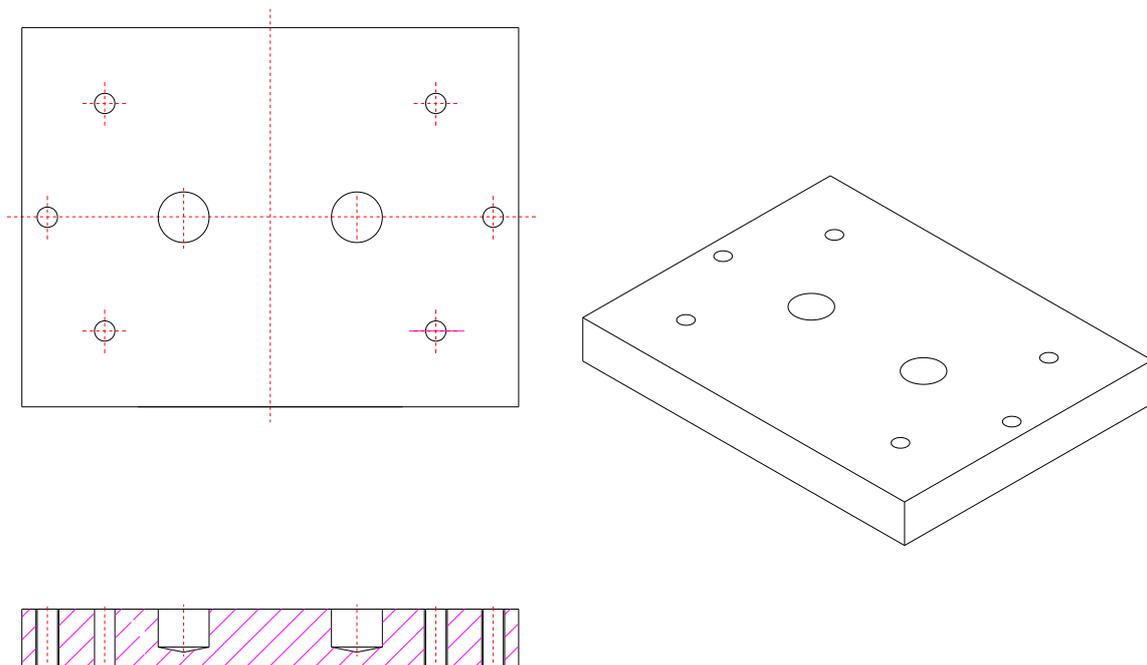


Figura 0-29 Esquema de la Placa portamatrices

6.5.5.2. Placa Portamatriz

Esta placa es de diseño rectangular en acero A50 donde, se deben mecanizar los agujeros roscados M8 para los pernos de fijación del punzón de embutición; así como los agujeros para las clavijas $\Phi 8$ mm y dos agujeros $\Phi 20$ mm para alojar los muelles.

Además también incluye dos agujeros laterales M8 para fijarla por medio de bridas a la placa solera superior para realizar la embutición.

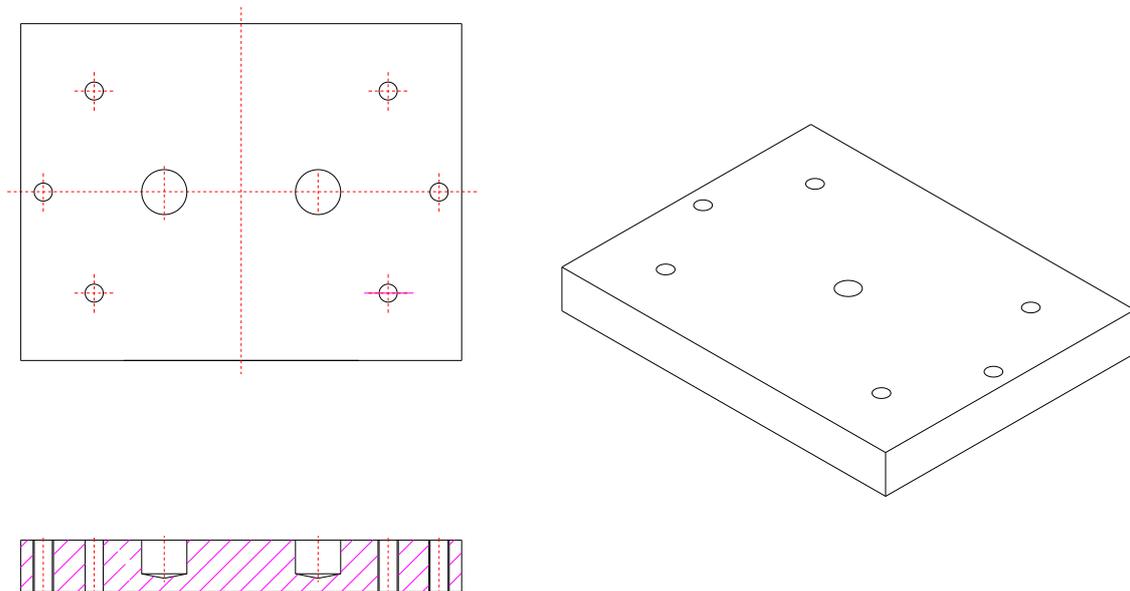


Figura 0-30 Esquema de la Placa Portamatrices

6.6. FUERZAS DE EMBUTICIÓN

Las fuerzas producida durante la embutición son determinadas utilizando el valor del límite elástico para la chapa de aluminio $S_y = 5 \text{ Kg/mm}^2$. Donde la chapa comienza a doblarse y entra en la zona plástica de deformación.

Tabla 6-18 Fuerzas de Embutición

COMPONENTE	PERIMETRO DE CORTE	FUERZA EMBUTICIÓN
	mm	kgf
Punzón de Embutición	319,42	1.117,97
Matriz de Embutición	328,84	1.150,94

Por lo que la fuerza necesaria para la embutición es de 1,2 toneladas.

6.7. MECANISMO DE ACOPLAMIENTO

El mecanismo de acoplamiento para las matrices de corte y de embutición es una aplicación de bridas y pernos modificados para calzar en la placa solera ranurada de la prensa y sujetar las placas portamatrices y portapunzones.

Se va a utilizar cuatro bridas para fijarla matriz de corte y dos bridas para fijar la matriz de embutición, solamente considerando como criterio su respectivo tamaño.

6.7.1. BRIDAS

Sirven para presionar de manera axial la superficie de las placas de los armazones de las matrices contra la placa solera por medio de la presión de un perno.

La brida es de forma rectangular de 105 x 40 mm con un chaflán de 20° en dos esquinas, tiene 15mm de espesor con una ranura de 7 mm ubicada a lo largo de la brida donde ingresa el perno.

Esta fabricada con acero A50 maquinado de forma que exista paralelismo con las placas de los armazones.

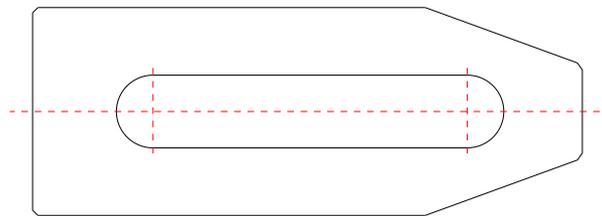


Figura 0-31 Esquema de la Brida

6.7.2. PERNOS

Son pernos comunes M19 con cabeza recortada y modificada, para que deslice en las ranuras de la placa solera, de manera que al ajustar el perno se fijen las matrices a las placas soleras de la prensa.

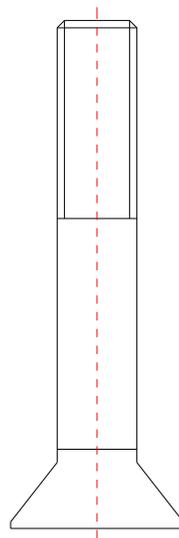
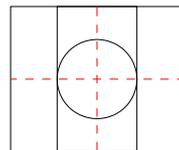


Figura 0-32 Esquema del perno con cabeza modificada

6.7.3. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO

Se coloca el perno modificado en la guía de la placa solera, luego se coloca la brida en la ranura y se nivela la brida con el alza de 15mm. Cuando se hayan ubicado todas las bridas en el lugar más apropiado, se ajusta con la tuerca hasta que la matriz quede firme con la placa solera.

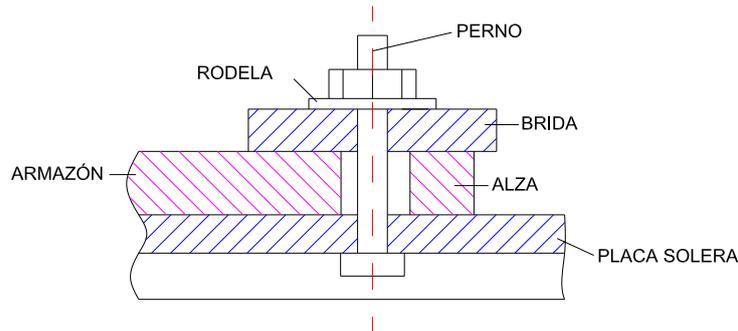


Figura 0-33 Esquema de trabajo del mecanismo de sujeción

6.8. TECNOLOGÍA CAD-CAM APLICADA AL DISEÑO DE LAS MATRICES

Las tecnologías CAD-CAM usadas para el diseño y construcción de las matrices fueron la electroerosión y el corte por electrohilo. A continuación vamos a describir cada uno de estos procesos.

6.8.1. ELECTROEROSIÓN

Este proceso fue utilizado en la construcción del punzón de forma debido a la dificultad de obtener su perfil con métodos tradicionales.

6.8.1.1. Fabricación del Electrodo

Dependiendo de la forma que se quiera dar a la pieza se debe construir un electrodo, para nuestro caso debe ser el macho del punzón de forma.

El material empleado para construir el electrodo es cobre, debido a su alta conductividad eléctrica, gran maquinabilidad y relativo bajo costo.

El espesor de la placa macho es de 20 mm, 15 de maquinado y 5mm de fondo con una manzana para ajustarlo en el portaelectrodos.

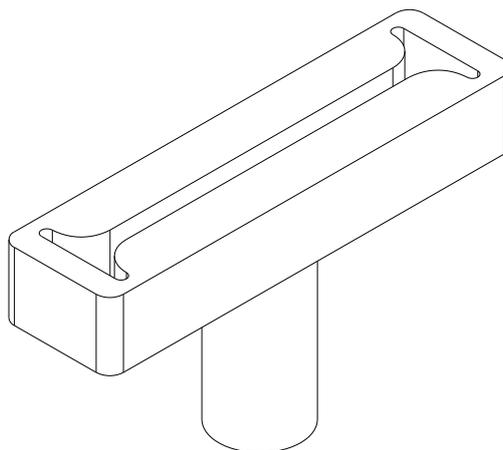


Figura 0-34 Electrodo para el punzón de forma

6.8.1.2. Maquinado Previo

La pieza previamente requiere un desbaste basto, hasta quedar con un perfil similar a la del punzón de forma.

6.8.1.3. **Desbaste**

De acuerdo a la profundidad requerida para el desbaste se diseña la altura del electrodo (15 mm). Una vez fijada la placa de acero en el portapiezas se acerca el electrodo de cobre hasta que las dos toquen el aceite dieléctrico.

La maquina crea el arco eléctrico y el acero comienza a ser eliminado con la forma del electrodo.

6.8.1.4. **Acabado**

El acabado que nos da una máquina de electroerosión por profundidad es casi perfecto a 28 VDI (siendo 40 un grado perfecto). Todo depende de la velocidad de avance que se programe. En nuestro caso 0,5 mm/min, para garantizar un buen acabado superficial y un costo moderado

6.8.2. **ELECTROHILO**

Este proceso fue utilizado para simplificar la construcción de la matriz de corte. Esto se debe a que para obtener con herramientas tradicionales las perforaciones rectangulares y de forma, se requiere subdividir la matriz en partes.

6.8.2.1. **Maquinado Previo**

En la placa rectangular de acero K100 de dimensiones 230x230x20 mm se realizan los siguientes maquinados:

- Maquinar el destaje para la caída del recorte final
- Perforar los agujeros pasantes para los tornillos
- Perforar los agujeros pasantes para las clavijas
- Perforar los agujeros pasantes para los insertos
- Perforar los agujeros pasantes de $\Phi 5$ mm en el centro de las ranuras para el punzón de forma, punzones rectangulares y punzón de forma.
- Rectificar las caras de la placa

6.8.2.2. **Templado**

Una vez maquinada la placa matriz, se envía al temple y revenido para obtener una dureza de 62-64 HRC.

6.8.2.3. **Corte**

Se elabora un plano de la placa tomando como referencia a un punto A en la esquina, se dimensiona las ranuras y la posición del centro de los agujeros.

De acuerdo al plano se programa a la máquina para los cortes de cada ranura. Se pasa el hilo en el centro O de los agujeros previamente obtenidos y se inicia el corte, siendo la velocidad de avance baja para obtener un buen acabado superficial.

Se debe considerar que corregir cualquier defecto posterior es muy complicado debido a que la placa esta templada.

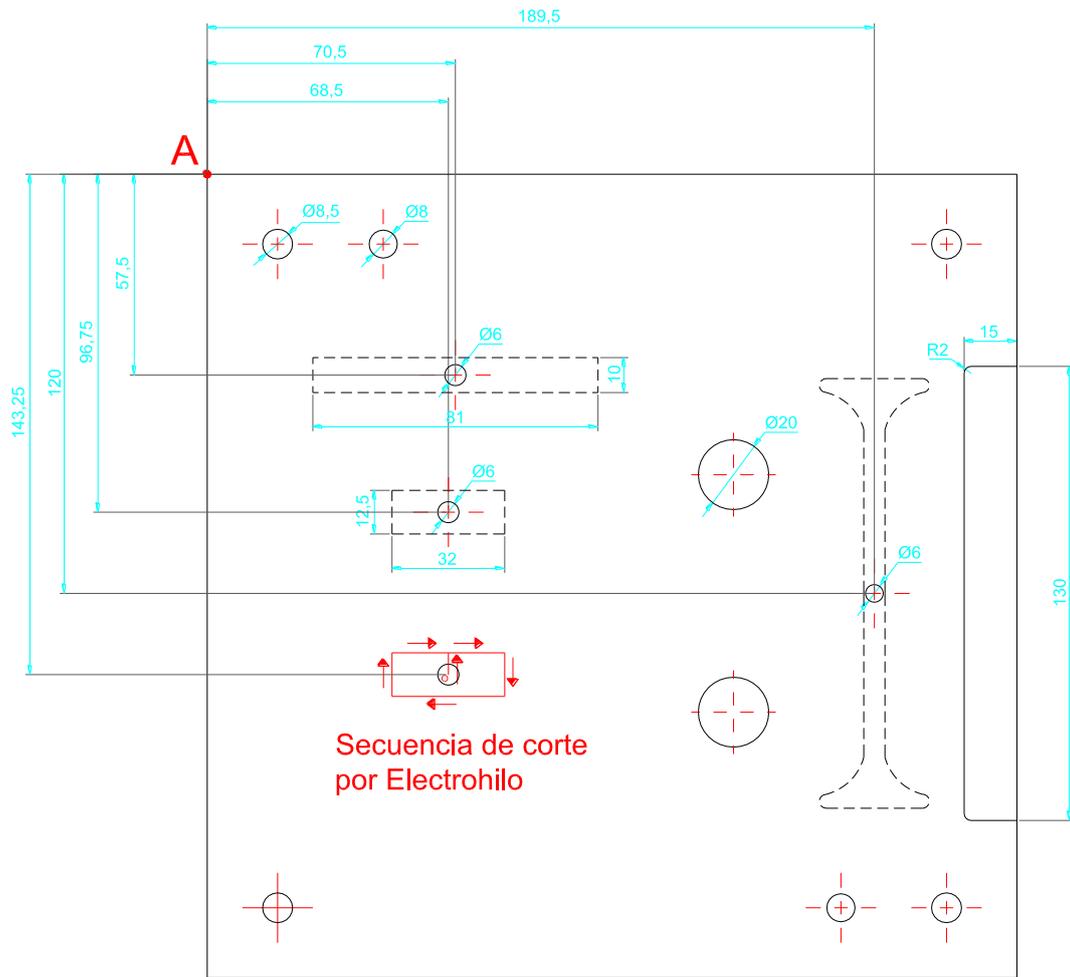


Figura 0-35 Secuencia del corte por electrohilo para la placa matriz de corte

CAPÍTULO 7

CONSTRUCCION Y PRUEBAS

7.1. LISTADO DE MATERIALES Y ESPECIFICACIONES

7.1.1. MATRIZ DE CORTE

El listado completo para todos los componentes de la matriz de corte con sus respectivos materiales y especificaciones, se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 7-1 Especificaciones de las materiales para la matriz de corte

N°	COMPONENTE	MATERIAL	TRATAMIENTO	DUREZA	OBSERVACIONES
1	Placa expulsora/guía	A50	N/A		
2	Placa matriz de corte	K100	Templado	62-64 HRC	Corte con electrohilo
3	Placa portamatriz	A50	N/A		
4	Placa portapunzones	A50	N/A		
5	Placa portapunzones rectangulares	A50	N/A		
6	Placa portapunzones circulares	A50	N/A		
7	Punzón de forma	K100	Templado	62-64 HRC	Maquinado con electroerosión
8	Punzón de avance	K100	Templado	62-64 HRC	Tolerancia del corte
9	Punzón rectangular	K100	Templado	62-64 HRC	Tolerancia del corte
10	Punzón circular	K100	Templado	62-64 HRC	Tolerancia del corte
11	Incerto circular	K100	Templado	62-64 HRC	Ajuste con golpe de martillo
12	Tope	K100	Templado	62-64 HRC	
13	Casquillo	Acero Plata	Templado	50-55 HRC	Ajuste de deslizamiento
14	Columna	Acero Plata	Templado	50-55 HRC	Ajuste de deslizamiento
15	Placa base superior	A50	N/A		
16	Pasadores	AISI 1020	Templado		M8 & M10 cortados a medida
17	Pernos	AISI 1020	N/A		M8 & M10 Acero -6 10.9

7.1.2. MATRIZ DE EMBUTICIÓN

El listado completo para todos los componentes de la matriz de embutición con sus respectivos materiales y especificaciones, se encuentra en la siguiente tabla:

Tabla 7-2 Especificaciones de los materiales para la matriz de corte

N°	COMPONENTE	MATERIAL	TRATAMIENTO	DUREZA	OBSERVACIONES
1	Placa portapunzones	A50	N/A		
2	Placa portamatriz	A50	N/A	58-60 HRC	
3	Punzón de embutición	K100	Templado	58-60 HRC	Tolerancia de embutición
4	Placa matriz de embutición	K100	Templado		Tolerancia de embutición
5	Placa soporte	A50	N/A		
6	Muelle helicoidal	AISI 1020	Templado		K=87,5 kN/m
7	Pasadores	AISI 1020	Templado		M8 & M10 cortados a medida
8	Pernos	AISI 1020	N/A		M8 & M10 Acero -6 10.9

7.2. HOJAS DE PROCESOS DE FABRICACIÓN

Se realizó una hoja de procesos de fabricación para cada uno de los componentes tanto de la matriz de corte como de la matriz de embutición, en estas hojas se contemplan las operaciones realizadas para la construcción y montaje de las dos matrices.

Las hojas de proceso de fabricación se encuentran en el **ANEXO B**.

7.3. PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

Se desarrolló un plano de construcción para cada uno de los componentes que conforman la matriz de corte, matriz de embutición y mecanismos de sujeción. Los elementos están perfectamente dimensionados, con sus respectivos acabados superficiales, tolerancias dimensionales y juegos.

Los planos de construcción se encuentran en el **ANEXO F**.

7.4. ANALISIS DE TENSIONES, DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIONES USANDO SOLIDWORKS

Para analizar los esfuerzos y deformaciones producidos en las matrices de corte y de embutición se utiliza el software SOLIDWORKS, el mismo que permite graficar los componentes mecánicos en tres dimensiones, asignar materiales y aplicar cargas y fuerzas.

El análisis que realiza el programa genera graficas sobre la figura marcando mediante una escala de colores la intensidad del esfuerzo o deformación.

Para el cálculo se utilizó porcentajes del 5 al 10% de la fuerza de corte o embutición respectivamente para cada una de las matrices, aplicando sobre cada uno de sus componentes.

Este estudio es experimental ya que no se puede determinar cuánto del esfuerzo de corte o embutición es transmitido a través de la chapa hacia la matriz.

En ninguno de los casos las graficas de tensiones, desplazamientos y deformaciones presentan fallas de los componentes de las matrices.

Los gráficos detallados con este estudio para cada componente se encuentran en el **ANEXO H**.

7.5. PLANOS DE MONTAJE

Se desarrolló un plano de montaje para la matriz de corte y otro para la matriz de embutición. Los elementos están perfectamente identificados y se indica de manera gráfica los distintos subensambles por medio de tornillos y pasadores para cada matriz.

Los planos de montaje se encuentran en el **ANEXO G**.

7.6. MONTAJE DE LOS COMPONENTES MECÁNICOS

El procedimiento para el montaje de las matrices de corte y de embutición en la prensa Norton de 60 toneladas del DECEM-LMH esta descrito en el Manual de Usuario, el cual se encuentra en el **ANEXO C**.

7.7. MANUAL DE USUARIO

En este manual se describe los pasos a seguir para la correcta instalación, calibración y operación de las matrices de corte y embutición desarrolladas para la Prensa de 60 Toneladas del DECEM-LMH.

El manual de usuario para las matrices de corte y embutición se encuentra en el **ANEXO B**.

7.8. HOJAS DE PRUEBAS

Para determinar una validación de las matrices es necesario realizar un detenido análisis dimensional, para lo cual se desarrollaron hojas de pruebas tanto para los procesos de corte como de embutición:

7.8.1. CAJETÍN MODELO

Para tener una base de las medidas a tomar en las pruebas que se realice a las piezas de corte y embutición, se desarrollo un plano con un cajetín modelo donde se indican las medidas críticas de cada pieza:

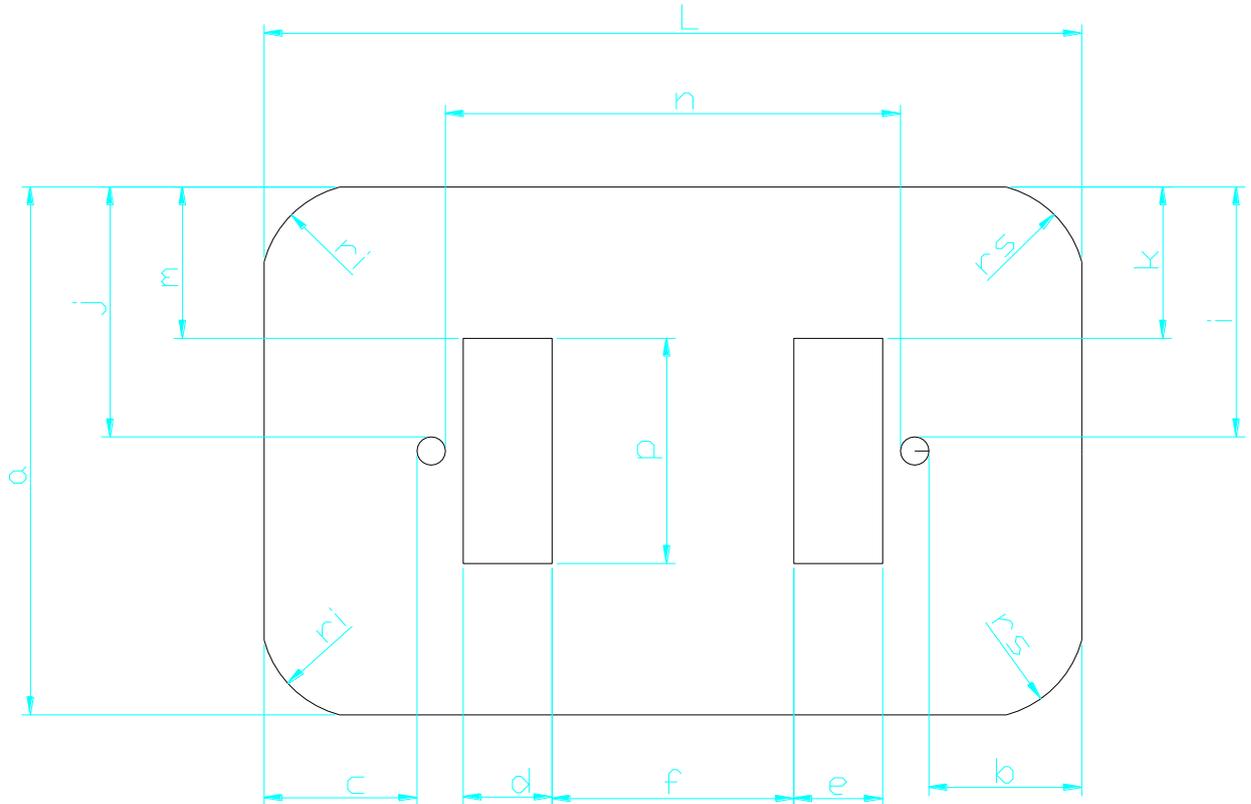


Figura 0-1 Esquema de medidas para el cajetín modelo para corte

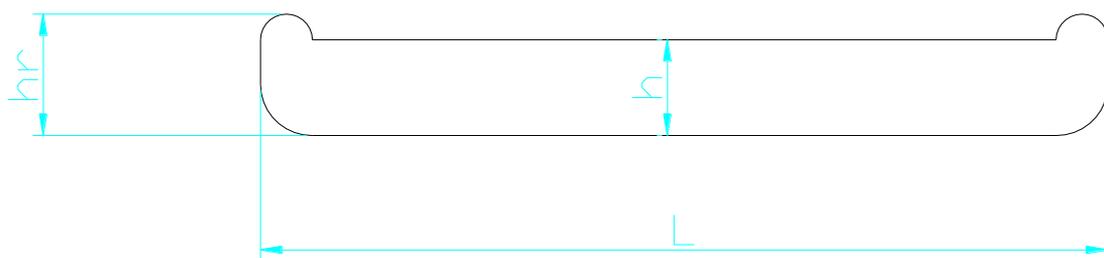


Figura 0-2 Esquema de medidas para el cajetín modelo para embutición

7.8.2. INSPECCIÓN EN EL PROCESO DE CORTE

Se desarrolló un formato de Inspección para el proceso de corte, a continuación se presenta un ejemplo de inspección de una pieza:

Tabla 7-3 Hoja de Inspección de piezas de corte

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO				
INSTRUCCIONES DE INSPECCIÓN EN: PROCESO DE CORTE				
NOMBRE DEL PRODUCTO CJE – CRT – 15		PIEZA Nº: 01	NOMBRE: CAJETIN RECTANGULAR ELECTRICO	
ETAPA DEL PROCESO: Primera Etapa Corte del Material		ELABORADO POR: Miguel Mora Alejandro Loza	REVISADO Y APROVADO POR: Ing. Pablo Figueroa Ing. José Guazumba	
ORD	CARACTERISTICA A INSPECCIONAR	METODO DE INSPECCIÓN	ENSAYADO POR	PLAN DE MUESTREO
01	Dimensiones de la pieza: L= 113.98 mm a= 73.72 mm b= 21.20 mm c= 21.50 mm d= 12.48 mm e= 12.46 mm f= 34.24 mm rs= 10,40 mm ri= 10.62 mm i= 35,10 mm j= 35,12 mm k= 21,80 mm m= 21.70 mm n= 65.40 mm p= 31.94 mm	Verificado con calibrador	Operador/ Supervisor	Lote: 15 piezas
02	Apariencia: Sin rebabas Sin defectos superficiales Correcta forma geométrica	Inspección Visual	Supervisor de Control de Calidad	
01 02	Los resultados deben ser registrados en el formato de inspección. En caso de que las dimensiones registradas no estén conforme las establecidas comunicar al Jefe de Taller de Utillaje, y tomar las acciones correctivas: - Rechazo - Corrección - Calibración de la maquina			
03 04	Las piezas rechazadas serán eliminadas del lote correspondiente. Revisar el plano de inspección (PI) para ver la designación de las medias.			

7.8.3. INSPECCIÓN EN EL PROCESO DE EMBUTICIÓN

Se desarrolló un formato de Inspección para el proceso de embutición, a continuación se presenta un ejemplo de inspección de una pieza:

Tabla 7-4 Hoja de inspección de piezas de embutición

ESCUELA POLITECNICA DEL EJERCITO				
INSTRUCCIONES DE INSPECCIÓN EN: PROCESO DE EMBUTICIÓN				
NOMBRE DEL PRODUCTO CJE – EMB – 15		PIEZA Nº: 05	NOMBRE: CAJETIN RECTANGULAR ELECTRICO	
ETAPA DEL PROCESO: Segunda Etapa Embutición de la Placa		ELABORADO POR: Miguel Mora Alejandro Loza	REVISADO Y APROVADO POR: Ing. Pablo Figueroa Ing. José Guazumba	
ORD	CARACTERISTICA A INSPECCIONAR	METODO DE INSPECCIÓN	ENSAYADO POR	PLAN DE MUESTREO
01	Dimensiones de la pieza: L = 104.76 mm a= 63.78 mm h= 6.34 mm hr= 7.34 mm	Verificado con calibrador	Operador/ Supervisor	Lote: 15 piezas
02	Apariencia: Sin rebabas Sin defectos superficiales Correcta forma geométrica	Inspección Visual	Supervisor de Control de Calidad	
01 02	Los resultados deben ser registrados en el formato de inspección. En caso de que las dimensiones registradas no estén conforme las establecidas comunicar al Jefe de Taller de Utilaje, y tomar las acciones correctivas: - Rechazo - Corrección - Calibración de la maquina			
03 04	Las piezas rechazadas serán eliminadas del lote correspondiente. Revisar el plano de inspección (PI) para ver la designación de las medias.			

7.9. CRITERIOS DE SEGURIDAD

Para la preparación, instalación, montaje y operación de las matrices de corte y embutición en la prensa hidráulica Norton de 60 toneladas del DCEM-LMH se ha considerado el mapa de riesgos, esquema que está incluido como base fundamental del Manual de Usuario.

7.10. DATOS DE PRUEBAS, ANÁLISIS Y VALIDACIÓN

7.10.1. DATOS DE PRUEBAS

Los datos medidos en las hojas de pruebas son tabulados en las tablas presentadas a continuación:

- DATOS PARA LA MATRIZ DE CORTE

Tabla 7-5 Tabulación de datos de las piezas de corte

MATRIZ DE CORTE															
PLACAS	L	a	b	c	d	e	f	rs	ri	i	j	k	m	n	p
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
1	113,98	73,72	21,20	21,50	12,48	12,46	34,24	10,40	10,62	35,10	35,12	21,80	21,70	65,40	31,94
2	113,96	73,66	21,18	21,52	12,44	12,46	34,22	10,32	10,58	35,12	35,16	21,78	21,74	65,32	31,96
3	113,94	73,64	21,16	21,46	12,46	12,44	34,22	10,48	10,80	35,09	35,10	21,82	21,78	65,30	31,98
4	113,98	73,68	21,20	21,50	12,48	12,46	34,22	10,62	10,74	35,16	35,08	21,80	21,76	65,32	31,96
5	114,02	73,54	21,23	21,48	12,42	12,44	34,24	10,80	11,00	35,12	35,18	21,76	21,80	65,30	31,98
6	114,08	73,82	21,20	21,52	12,44	12,42	34,24	10,60	10,80	35,12	35,10	21,80	21,84	65,30	31,96
7	114,04	73,68	21,18	21,52	12,46	12,46	34,22	10,58	10,68	35,12	35,12	21,84	21,82	65,38	31,96
8	114,02	73,62	21,18	21,50	12,44	12,46	34,24	10,66	10,90	35,10	35,14	21,82	21,78	65,30	31,94
9	113,93	73,64	21,24	21,48	12,46	12,44	34,22	10,58	10,72	35,14	35,08	21,78	21,79	65,26	31,92
10	113,96	73,66	21,20	21,54	12,44	12,42	34,22	10,64	10,82	35,09	35,08	21,80	21,76	65,32	31,98
11	113,96	73,62	21,18	21,52	12,46	12,44	34,24	10,60	11,00	35,14	35,10	21,84	21,82	65,30	31,98
12	114,02	73,66	21,22	21,48	12,42	12,46	34,24	10,72	10,82	35,10	35,18	21,86	21,84	65,32	31,96
13	113,96	73,78	21,20	21,50	12,46	12,42	34,22	10,64	10,76	35,12	35,20	21,80	21,82	65,30	31,98
14	113,96	73,54	21,18	21,48	12,44	12,44	34,22	10,66	10,84	35,14	35,12	21,78	21,80	65,30	31,92
15	114,04	73,72	21,21	21,52	12,42	12,46	34,24	10,56	10,66	35,16	35,10	21,80	21,72	65,30	31,94

- **DATOS PARA LA MATRIZ DE EMBUTICIÓN**

Tabla 7-6 Tabulación de datos de las piezas de embutición

MATRIZ DE EMBUTICIÓN				
PLACAS	L	a	h	hr
	mm	mm	mm	mm
1	104,74	63,80	5,94	7,18
2	104,78	63,78	5,98	7,08
3	104,76	63,82	5,98	7,16
4	104,72	63,76	6,10	7,32
5	104,76	63,78	6,34	7,34
6	104,74	63,80	6,30	7,30
7	104,70	63,74	6,28	7,68
8	104,72	63,78	6,28	7,22
9	104,72	63,80	6,34	7,46
10	104,74	63,80	6,20	7,42
11	104,74	63,80	6,36	7,38
12	104,72	63,82	6,10	7,74
13	104,76	63,84	6,62	7,72
14	104,70	63,74	6,64	7,38
15	104,74	63,78	6,32	7,32

7.10.2. ANÁLISIS DE DATOS

Para el análisis de datos se obtiene la media, la desviación estándar y se calculan los outliers de los 15 datos de las matrices de corte y embutición.

- **MATRIZ DE CORTE (Primera Parte)**

Tabla 7-7 Análisis de datos de las piezas de corte (Primera parte)

MATRIZ DE CORTE																
PLACAS	L		a		b		c		d		e		f		rs	
	mm	Outlier														
1	113,98	0,229	73,72	0,721	21,20	0,124	21,50	0,061	12,48	1,623	12,46	0,918	34,24	1,033	10,40	1,599
2	113,96	0,688	73,66	0,070	21,18	0,805	21,52	0,849	12,44	0,406	12,46	0,918	34,22	0,904	10,32	2,270
3	113,94	1,147	73,64	0,334	21,16	1,734	21,46	1,879	12,46	0,609	12,44	0,334	34,22	0,904	10,48	0,928
4	113,98	0,229	73,68	0,194	21,20	0,124	21,50	0,061	12,48	1,623	12,46	0,918	34,22	0,904	10,62	0,246
5	114,02	0,688	73,54	1,654	21,23	1,517	21,48	0,970	12,42	1,420	12,44	0,334	34,24	1,033	10,80	1,755
6	114,08	2,065	73,82	2,041	21,20	0,124	21,52	0,849	12,44	0,406	12,42	1,586	34,24	1,033	10,60	0,078
7	114,04	1,147	73,68	0,194	21,18	0,805	21,52	0,849	12,46	0,609	12,46	0,918	34,22	0,904	10,58	0,089
8	114,02	0,688	73,62	0,598	21,18	0,805	21,50	0,061	12,44	0,406	12,46	0,918	34,24	1,033	10,66	0,581
9	113,93	1,376	73,64	0,334	21,24	1,981	21,48	0,970	12,46	0,609	12,44	0,334	34,22	0,904	10,58	0,089
10	113,96	0,688	73,66	0,070	21,20	0,124	21,54	1,758	12,44	0,406	12,42	1,586	34,22	0,904	10,64	0,414
11	113,96	0,688	73,62	0,598	21,18	0,805	21,52	0,849	12,46	0,609	12,44	0,334	34,24	1,033	10,60	0,078
12	114,02	0,688	73,66	0,070	21,22	1,052	21,48	0,970	12,42	1,420	12,46	0,918	34,24	1,033	10,72	1,085
13	113,96	0,688	73,78	1,513	21,20	0,124	21,50	0,061	12,46	0,609	12,42	1,586	34,22	0,904	10,64	0,414
14	113,96	0,688	73,54	1,654	21,18	0,805	21,48	0,970	12,44	0,406	12,44	0,334	34,22	0,904	10,66	0,581
15	114,04	1,147	73,72	0,721	21,21	0,588	21,52	0,849	12,42	1,420	12,46	0,918	34,24	1,033	10,56	0,257
Mean	113,990		73,665		21,197		21,501		12,448		12,445		34,229		10,591	
SD	0,043589		0,075769		0,021536		0,021996		0,019712		0,015976		0,010328		0,119252	
# Outlier	0		0		0		0		0		0		0		0	

- **MATRIZ DE CORTE (Segunda Parte)**

Tabla 7-8 Análisis de datos de las piezas de corte (Segunda parte)

MATRIZ DE CORTE														
PLACAS	ri		i		j		k		m		n		p	
	mm	Outlier												
1	10,62	1,315	35,10	0,930	35,12	0,101	21,80	0,200	21,70	2,005	65,40	2,495	31,94	0,818
2	10,58	1,638	35,12	0,058	35,16	0,913	21,78	0,949	21,74	1,058	65,32	0,156	31,96	0,126
3	10,80	0,140	35,09	1,365	35,10	0,609	21,82	0,550	21,78	0,110	65,30	0,429	31,98	1,069
4	10,74	0,345	35,16	1,685	35,08	1,116	21,80	0,200	21,76	0,584	65,32	0,156	31,96	0,126
5	11,00	1,757	35,12	0,058	35,18	1,420	21,76	1,698	21,80	0,363	65,30	0,429	31,98	1,069
6	10,80	0,140	35,12	0,058	35,10	0,609	21,80	0,200	21,84	1,310	65,30	0,429	31,96	0,126
7	10,68	0,830	35,12	0,058	35,12	0,101	21,84	1,299	21,82	0,837	65,38	1,910	31,96	0,126
8	10,90	0,948	35,10	0,930	35,14	0,406	21,82	0,550	21,78	0,110	65,30	0,429	31,94	0,818
9	10,72	0,507	35,14	0,813	35,08	1,116	21,78	0,949	21,79	0,126	65,26	1,599	31,92	1,761
10	10,82	0,302	35,09	1,365	35,08	1,116	21,80	0,200	21,76	0,584	65,32	0,156	31,98	1,069
11	11,00	1,757	35,14	0,813	35,10	0,609	21,84	1,299	21,82	0,837	65,30	0,429	31,98	1,069
12	10,82	0,302	35,10	0,930	35,18	1,420	21,86	2,048	21,84	1,310	65,32	0,156	31,96	0,126
13	10,76	0,183	35,12	0,058	35,20	1,928	21,80	0,200	21,82	0,837	65,30	0,429	31,98	1,069
14	10,84	0,463	35,14	0,813	35,12	0,101	21,78	0,949	21,80	0,363	65,30	0,429	31,92	1,761
15	10,66	0,991	35,16	1,685	35,10	0,609	21,80	0,200	21,72	1,531	65,30	0,429	31,94	0,818
Mean	10,783		35,121		35,124		21,805		21,785		65,315		31,957	
SD	0,123720		0,022949		0,039424		0,026690		0,042235		0,034198		0,021202	
# Outlier	0		0		0		0		0		0		0	

- **MATRIZ DE EMBUTICIÓN**

Tabla 7-9 Análisis de datos de las piezas de embutición

MATRIZ DE EMBUTICIÓN								
PLACAS	L		a		h		hr	
	mm	Outlier	mm	Outlier	mm	Outlier	mm	Outlier
1	104,74	0,174	63,80	0,379	5,94	1,488	7,18	0,998
2	104,78	1,919	63,78	0,332	5,98	1,297	7,08	1,497
3	104,76	1,047	63,82	1,089	5,98	1,297	7,16	1,098
4	104,72	0,698	63,76	1,042	6,10	0,725	7,32	0,299
5	104,76	1,047	63,78	0,332	6,34	0,420	7,34	0,200
6	104,74	0,174	63,80	0,379	6,30	0,229	7,30	0,399
7	104,70	1,570	63,74	1,753	6,28	0,134	7,68	1,497
8	104,72	0,698	63,78	0,332	6,28	0,134	7,22	0,798
9	104,72	0,698	63,80	0,379	6,34	0,420	7,46	0,399
10	104,74	0,174	63,80	0,379	6,20	0,248	7,42	0,200
11	104,74	0,174	63,80	0,379	6,36	0,515	7,38	0,000
12	104,72	0,698	63,82	1,089	6,10	0,725	7,74	1,796
13	104,76	1,047	63,84	1,800	6,62	1,755	7,72	1,696
14	104,70	1,570	63,74	1,753	6,64	1,850	7,38	0,000
15	104,74	0,174	63,78	0,332	6,32	0,324	7,32	0,299
Mean	104,736		63,789		6,252		7,380	
SD	0,022928		0,028149		0,209735		0,200428	
# Outlier	0		0		0		0	

7.10.3. VALIDACIÓN DE RESULTADOS

Para la validación de resultados se realizó un análisis de capacidad del proceso, variabilidad y outliers para cada una de las medidas de las hojas de datos. Se comprobó que el proceso de corte y embutición tiene una capacidad aceptable y dentro de las tolerancias del diseño, los recortes y embuticiones están dimensionalmente validados.

Las graficas y valores de este análisis se los puede encontrar en el **ANEXO I**.

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

8.1. COSTO DEL PROYECTO

En el presente proyecto de grado, se adquirieron diversos materiales para la implementación y puesta en funcionamiento de las matrices. Los costos de estas adquisiciones se encuentran presentados a continuación, estos comprenden costos de materiales y costos de mano de obra.

8.1.1. MATERIALES

A continuación se presentan los costos de los materiales que se utilizaron en el desarrollo del proyecto.

Tabla 8-1 Costos de los Materiales utilizados para la construcción de las matrices.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
ACERO BÖHLER K100 50.00x150.00mm	13,92	11,83	164,67
Cortado al espesor			
23*123*235 mm 1 pieza			
23*115*235 mm 1 pieza			
Plano 150 mm x 50 mm x 235 mm			
ACERO AISI/SAE 4340/V155 Rd 60.00 mm	1,56	7,84	12,23
Redonda 60 mm x 70 mm			
ACERO BÖHLER K100 PLATINA 50.00x150.00mm	3,85	11,83	45,55
Plano 150 mm x 50 mm x 65 mm			
ACERO BÖHLER K100 PLATINA 50.00x200.00mm	5,13	11,83	60,69
Plano 200 mm x 50 mm x 65 mm			
ACERO BÖHLER K100 DIAM. 45 .80mm	1,82	14,79	26,92
Redonda 45,8 mm x 70 mm (2 unidades)			
ACERO BÖHLER K100 DIAM. 15 .50mm	0,19	14,79	2,81
Redonda 15,5 mm x 130 mm			
ACERO BÖHLER K100 DIAM. 25 .50mm	0,2	14,79	2,96
Redonda 25,5 mm x 50 mm			
ACERO PLATA DIAM. 65 .100mm	7	13,03	91,18
Redonda 25 mm x 100 mm			
ACERO A50	145,8	1,75	255,15
Cortado según las especificaciones			
TEMPLE Y REVENIDO	14,83	6,2	91,95
Elementos de las matrices			

Tabla 8-2 Continuación

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
PLACA BASE	1,00	80,00	80,00
Mecanismo para adaptar			
RESORTES	2,00	0,45	0,90
Matriz embutición			
TOTAL			835,00

8.1.2. MANO DE OBRA

La mano de obra se que se detalla a continuación pertenece a valores por la construcción de los elementos de las matrices, su montaje y su instalación en la prensa de 60 Ton. Norton.

Tabla 8-3 Costos de Mano de Obra

Descripción	Total
Construcción de la matriz de corte	500,00
Construcción de la matriz de embutición	250,00
Montaje de elementos corte	75,00
Montaje de los elementos de embutición	50,00
Construcción del mecanismo de acoplamiento	50,00
Instalaciones de las matrices en la prensa	75,00
TOTAL	1000,00

8.1.3. COSTO TOTAL DE LA OBRA

El costo total de la obra se obtiene cuando se da la implementación total de las matrices.

Tabla 8-4 Costo Total de la Obra

Descripción	Total
Materiales	835,00
Mano de obra	1000,00
TOTAL	1835,00

Los valores detalles en las tablas anteriores ya incluyen IVA.

8.2. RECUPERACIÓN DE LA INVERSIÓN

A continuación se detalla los diversos valores de producción, los cuales van a afectar a la producción de los cajetines eléctricos, y por tanto a sus respectivas matrices de elaboración.

8.2.1. DEPRECIACIÓN

La depreciación se la obtiene teniendo en cuenta una vida útil de las matrices de 10 años.

$$Depreciación = \frac{Inversión\ total}{10\ años} = \frac{1835,00\ USD}{10\ años} = 183,50\ USD/año$$

8.2.2. COSTO DEL CONSUMO DE ENERGÍA

Para el cálculo de consumo de energía eléctrica se han tomado en cuenta las tarifas vigentes del mercado.

Tabla 8-5 Costo de Consumo de Energía

Descripción	Costo unitario	Costo anual (1200 autos)
Energía eléctrica	0,01	151,00
	TOTAL	151,00

8.2.3. COSTO POR CAJETÍN

En la tabla 8.5 se detalla los valores de la producción de los cajetines anualmente, tanto la mano de obra, como los materiales.

Tabla 8-6 Costo de la producción de los cajetines eléctricos

Descripción	Costo	Costo anual
Mano de obra (mes por medio tiempo)	80,00	960,00
Material para la producción del cajetín (4 planchas de aluminio cortado al mes)	225,00	2700,00
	TOTAL	3660,00

8.3. PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN (PRI), VALOR ACTUAL NETO (VAN) Y TASA INTERNA DE RETORNO (TIR)

Con el análisis financiero que se realiza a continuación, se va a determinar la rentabilidad del proyecto por medio de tres indicadores principales que son: el periodo de retorno de la inversión (PRI), valor actual neto (VAN) y tasa interna de retorno (TIR). Para el cálculo de estos indicadores se va a tener en cuenta un periodo de diez años.

8.3.1. PRI (PERIODO DE RETORNO DE LA INVERSIÓN)

Se calcula este indicador para determinar la cantidad de períodos que deberá operar el proyecto para que los flujos cubran la inversión, incluido el costo de capital involucrado.

Inversión proyecto = 1835,00 USD

$$\text{Costo energía anual} = \left(\frac{\text{Costo energía total}}{\text{cajetin}} \right) \cdot \left(\frac{N^{\circ} \text{ cajetiness}}{\text{año}} \right) = 0,01 \cdot 15120 = 151,00 \text{ USD}$$

Interés bancario anual (tasa de interés de la banca privada) = 12,80 %

El valor del interés bancario se ha determinado teniendo en cuenta el capital requerido y el tipo de negocio emprendido.

$$\text{Interés anual del proyecto} = (\text{Inversión proyecto}) \cdot (\text{Interés bancario anual})$$

$$\text{Interés anual del proyecto} = (1835,00 \text{ USD}) \cdot (0,1280) = 234,88 \text{ USD}$$

Utilidad operativa por uso de la prensa anualmente:

$$(+) \text{Ventas de servicio por cajetín (anual)} = 0,40 \cdot 15120 = 6048,40 \text{ USD}$$

$$(-) \text{Costo por cajetín (al año)} = 240,00 \cdot 12 = 2700,00 \text{ USD}$$

$$(-) \text{Costo energía (anual)} = 151,00 \text{ USD}$$

$$(-) \text{Costo mano obra} = 960,00 \text{ USD}$$

$$(=) \text{Utilidad operativa} = 6048,40 - (2700,00 + 151,00 + 960,00) = 2237,40 \text{ USD}$$

$$\text{PRI} = \frac{(\text{Inversión proyecto} + \text{interés anual})}{\text{utilidad operativa}} = \frac{1835,00 + 234,88}{2237,40} = 0,92$$

$$\text{PRI} = (\text{Inversión proyecto} + \text{interés anual}) / (\text{utilidad operativa})$$

$$\text{PRI} = 0,92 \text{ años}$$

$$\text{PRI} = 11,04 \text{ meses}$$

PRI = 11 meses 12 días

La inversión inicial del proyecto se la va a recuperar en menos de un año, y por tanto pasado este tiempo se va a comenzar a obtener réditos económicos, los cálculos se los ha realizado con datos reales acordes a la situación económica actual.

8.3.2. TASA DE DESCUENTO

TMAR del Banco x 1-tasa impositiva

Tabla 8-7 Tasa de Descuento

Tasa impositiva (t) :	36,25%
TMAR del Banco :	12,80%
TMAR:	8,16%

Van=Utilidad descontada-Inversión Inicial

Tir=Excel=TIR (Utilidad Operativa*Tasa de descuento)-Inversión inicial

Ver anexo 7.1 (Programa para el cálculo de todos los valores del Análisis

Financiero y Económico).

El VAN corresponde al aumento en el capital de inicial del proyecto, después de recuperar los recursos invertidos y por sobre la rentabilidad mínima exigida a los fondos.

El TIR mide la rentabilidad como un porcentaje Y corresponde a la tasa de descuento, o costo de capital, que logra que el van del proyecto sea cero, o que la inversión inicial sea exactamente igual al valor actual del flujo neto de fondos.

Tabla 8-8 Tasa Interna de Retorno

UTILIDAD OPERATIVA	2237,40
TASA DSCTO:	8,16%
UTILIDAD DESCONTADA	2054,83
INVERSION INICIAL	1835,00
RELACIÓN BENEFICIO COSTO	8,12
VAN	13.079,39
TIR	121,89%

Datos obtenidos del archivo magnético de Excel de Análisis Económico y Financiero.

8.3.3. ANÁLISIS DE DECISIÓN DE VAN Y TIR

Los parámetros para la consideración del Valor Actual Neto son:

- Si el VAN \leq 0, el proyecto no es rentable y no se justifica su inversión
- Si el VAN $>$ 0, el proyecto ofrece rentabilidad y permite el desembolso del capital.

Los parámetros de consideración de la Tasa Interna de Retorno son:

- Si $TIR \leq 12,80\%$ esto según la tasa de la banca privada, el proyecto no es atractivo ya que la rentabilidad del dinero es igual si se decide invertir el dinero en la banca privada.
- Si $TIR > 12,80\%$ (tasa de la banca privada) el proyecto es rentable.

Los datos del análisis económico y financiero del proyecto nos muestran un valor del VAN positivo y el TIR es mayor a la tasa de la banca privada, por tanto: “ELPROYECTO ES ATRACTIVO Y RENTABLE PARA CUALQUIER TIPO DE INVERSIÓN”

CAPÍTULO IX

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1. CONCLUSIONES

- Se obtuvo el cajetín rectangular para instalaciones eléctricas en chapa de aluminio de 0.7 mm, a partir del diseño y fabricación de dos matrices. Una de corte en tres etapas y una de embutición de una sola etapa.
- Se comprobó que esta prensa cumple con las condiciones funcionales y operacionales para realizar embuticiones poco profundas (< 50 mm) y cortes repetitivos (10 piezas/min)
- Se realizó la investigación de la operación y funcionamiento de la prensa hidráulica Norton de 60 ton y se estableció un procedimiento para la instalación, calibración y operación de cualquier matriz mediante el Manual de Usuario.
- Tanto la matriz de corte como la de embutición fueron diseñadas desde el punto de vista didáctico. Son completamente desarmables y abarcan la mayoría de criterios de matricería como son: punzonado circular, punzonado rectangular, punzonado de forma, avance automático, guiado con columnas y expulsor de embutición

9.2. RECOMENDACIONES

- Aunque las placas soleras superior e inferior de la prensa tienen dos columnas para guiar el desplazamiento vertical del émbolo, estas se encontraban torcidas con 1 mm de diferencia entre esquinas. Esto es atribuible a una mala operación e instalación de las matrices, por lo que se recomienda aplicar los criterios del Manual de Usuario para su adecuado uso y así evitar complicaciones funcionales-técnicas en la prensa.
- Es muy recomendable el diseño y construcción de este tipo de tesis con enfoque didáctico en los laboratorios, ya que son un complemento importante en la formación práctica de un ingeniero mecánico.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- VALENCIA Antonio, MATRICERIA, Editorial Salesiana, Tercera Edición, Barcelona 1976
- OEHLER-KAISER, HERRAMIENTAS PARA TROQUELAR, ESTAMPAR Y EMBUTIR, Editorial Gustavo Pili, Tercer Edición
- ROSSI Mario, ESTAMPADO EN FRÍO DE CHAPA METÁLICA, Editorial Dossat, Tercera Edición, Madrid 1978
- KONINCK-GUTTER, MANUAL DEL TÉCNICO MATRICERO, Editorial José Montesó, Barcelona 1977
- LARBURU Nicolás, MÁQUINAS PRONTUARIO, Editorial Paraninfo, Décima Edición, Madrid 1998
- NORTON Robert, DISEÑO DE MÁQUINAS, Editorial Pearson, Primera Edición, México 1999
- SHIGLEY Joseph, DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA, Editorial McGraw-Hill, Quinta Edición, México 1990
- MARTINEZ-PALACIOS, ALGUNAS CONSIDERACIONES SOBRE LOS ACEROS HERRAMIENTAS, SU UTILIZACIÓN Y TRATAMIENTO TERMICO, Archivo magnético
- BLANCO Julio, PRENSAS Y PROCESOS EN MATICERIA, Editorial Prensa XXI, Barcelona 1982

DIRECCIONES DE INTERNET

- www.interempresas.net
- www.invirsl.com
- www.villarresmetals.com
- <http://issa.umh.es>
- www.wikipedia.com
- www.arissa.es
- www.intercargroup.com
- www.rayer.com.ar

TESIS

- TOSCANO José, "Diseño del sistema de matricería, determinación de maquinaria y equipos complementarios para el conformado del culote de la munición de escopeta calibre 16 en la División de Armas & Municiones para la fábrica de municiones Santa Bárbara", Tesis Ing. Mec. Quito, Escuela Politécnica del Ejército, Facultad de Ingeniería Mecánica, 2006, Pag. 137

ANEXOS

ANEXO A

CATÁLOGOS DE LOS MATERIALES

ANEXO B

DIAGRAMAS DE PROCESOS

ANEXO C
MANUAL DE USUARIO

ANEXO D
HOJAS DE PRUEBAS

ANEXO E

ANALISIS ECONOMICO Y FINANCIERO

ANEXO F
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN

ANEXO F1
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN
MATRIZ DE CORTE

ANEXO F2
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN
MATRIZ DE EMBUTICIÓN

ANEXO F3
PLANOS DE CONSTRUCCIÓN
MECANISMOS DE ACOPLAMIENTO

ANEXO G
PLANOS DE MONTAJE

ANEXO G1
PLANOS DE MONTAJE
MATRIZ DE CORTE

ANEXO G2
PLANOS DE MONTAJE
MATRIZ DE EMBUTICIÓN

ANEXO H

ANALISIS DE TENSIONES, DESPLAZAMIENTOS Y DEFORMACIONES UNITARIAS EN SOLIDWORKS

ANEXO I

ESTUDIO DE CAPACIDAD DE PROCESO, VARIABILIDAD Y OUTLIERS PARA LA VALIDACIÓN DIMENSIONAL DE LAS MATRICES