

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA SEDE QUITO

FACULTAD DE INGENIERÍAS

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TESIS PREVIA A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA FORMADORA DE GANCHOS
PARA SISTEMAS DE ESCAPE AUTOMOTRICES”**

AUTOR:

DIEGO ISRAEL MONTALVO CACHIMUEL

DIRECTOR:

ING. FERNANDO LARCO

QUITO, OCTUBRE 2013

Por medio del presente certifico que el presente trabajo de investigación, ha sido realizado en forma íntegra, por el señor Montalvo Cachimuel Diego Israel. Los conceptos y análisis del proyecto son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ing. Fernando Larco

Director de Tesis

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD

Yo Diego Israel Montalvo Cachimuel, declaro por juramentación que el presente trabajo fue desarrollado bajo mi autoría, que no ha sido previamente presentado y que se ha investigado mediante fuentes bibliográficas para la ejecución del mismo.

Por medio de la presente declaratoria de responsabilidad otorgo el derecho de propiedad intelectual correspondiente de este trabajo a la Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Politécnica Salesiana según lo establecido por la ley de propiedad intelectual y normativa vigente establecida por las leyes actuales.

Diego Israel Montalvo Cachimuel

DEDICATORIA

“Cuando la vida te deja caer, solo de ti depende si te levantas o te quedas en el piso”

Dedico todo mi esfuerzo y sacrificio a mi madre que ha sido el pilar fundamental en mi vida, que gracias a su dedicación, ejemplo y entrega, estoy culminando esta etapa de mi vida.

A Dios que me ha regalado la dicha de vivir, la inteligencia, y las ganas de seguir adelante y no rendirme, a pesar de todas las caídas que se van presentando a lo largo de la vida.

A toda mi familia que siempre me estuvo apoyando día tras día, que con sus consejos y motivación, no permitieron que dé pasos hacia atrás, y que al contrario siga siempre adelante.

A mis profesores universitarios, han sembrado en mí las bases del conocimiento y han formado mi criterio profesional, lo cual me ayudará a desempeñarme en el ejercicio de mi carrera.

A todos mis compañeros y amigos con los que compartí, la dicha de ser estudiante universitario, que me han demostrado el significado de la verdadera amistad, al compartir momentos propios de nuestra juventud.

A todas las personas que directa o indirectamente apoyaron a que hoy esté culminando mi carrera universitaria.

AGRADECIMIENTO

El más sincero agradecimiento a la empresa AMEIXT, lugar donde voy desempeñando desde hace cuatro años, y donde he aplicado todos los conocimientos adquiridos en mi carrera universitaria, a su representante y Gerente General, Sr. Xavier Tonato, quien supo depositar su confianza en mí y me permitió desarrollar este proyecto en las instalaciones de su empresa, apoyándome en lo que estuvo a su alcance para la consecución del mismo.

Al Ing. Fernando Larco, mi director, por su paciencia, dedicación y colaboración en la elaboración de esta tesis, ya que siempre estuvo pendiente del correcto desarrollo de la misma.

A mis compañeros que siempre estuvieron conmigo en todos los momentos que necesitaba, en las caídas y en los triunfos y que no permitieron que me rinda para poder culminar este proyecto.

A la Universidad Politécnica Salesiana, en sus maestros, laboratoristas, funcionarios públicos, y autoridades que hicieron de mi preparación universitaria una experiencia fructífera.

A la Carrera de Ingeniería Mecánica por acogerme en sus aulas y formarme profesionalmente con un espíritu propio de los salesianos, al formar un buen cristiano y un honrado ciudadano.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
INDICE DE FIGURAS.....	x
INDICE DE TABLAS.....	xii
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xiii
RESUMEN.....	xvii
GENERALIDADES.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	xx
ANTECEDENTES.....	xx
CAPÍTULO I.....	1
1.1 LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ ECUATORIANA.....	1
1.1.1 Desarrollo automotriz enfocado en sistemas de escape.....	2
1.2 EL SISTEMA DE ESCAPE.....	3
1.2.1 Partes que conforman el sistema de escape.....	4
1.2.1.1 El Silenciador.....	4
1.2.1.2 El Catalizador.....	5
1.2.1.3 El resonador.....	6
1.2.1.4 El tubo de cola.....	6
1.3 MATRICERÍA.....	7
1.3.1 Procedimientos de conformado.....	7
1.3.1.1 Procedimientos de doblado.....	7
1.3.1.2 Procedimientos de embutición.....	9
1.3.1.3 Otros procedimientos de conformado.....	10
1.3.2 Matricería de conformado.....	12
1.3.2.1 Componentes de las matrices.....	12
1.3.2.1.1 Procesos de construcción de una matriz.....	13

1.3.2.2.1 Armazón o base inferior.	14
1.3.2.2.2 Armazón o base superior.	15
1.3.2.2.3 Sufridera o placa de choque.	17
1.3.2.2.4 Placa porta punzones.	18
1.3.2.2.5 Placa guía punzones o prensa chapas.	20
1.3.2.2.6 Placa porta sufridera o porta matrices.	22
1.3.2.2.7 Punzones.	24
1.3.2.2.8 Sistemas de Guiado.	25
1.3.2.2.9 Elementos de sujeción y posicionamiento.	26
1.3.2.2.9.1 Pasadores de posicionamiento.	27
1.3.2.2.9.2 Tornillos de Fijación.	28
1.3.3 Troquel y Prensa.	29
1.3.3.1 Prensas Hidráulicas.	30
1.3.3.1.1 Partes de la prensa hidráulica.	31
CAPÍTULO II	33
ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO.	33
2.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS.	33
2.1.1 Alternativa 1.	34
2.1.2 Alternativa 2.	36
2.1.3 Alternativa 3.	38
2.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.	40
2.2.2 Resultados de Selección.	41
CAPÍTULO III	42
CÁLCULOS Y DISEÑO.	42
3. GENERALIDADES.	42
3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO DE LA MATRIZ.	42
3.2 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN PARA EL ACERO DE TRANSMISIÓN AISI 1018.	42
3.2.1 Acero de transmisión AISI 1018.	42
3.2.2 Análisis de deformación del acero AISI 1018.	44
3.2.2.1 Cálculo de generatriz (g).	46
3.2.2.2 Cálculo de Área del cono truncado.	46

3.2.2.3 Cálculo del Volumen del cono truncado.....	47
3.2.2.4 Cálculo de altura de conformado a partir del volumen de llenado (h0).	47
3.3 ANÁLISIS DE SUJECIÓN DE LA VARILLA.....	49
3.3.1 Cálculo de la fuerza de apriete necesaria en la mordaza.....	50
3.3.2 Cálculos para diseño de cilindro hidráulico.....	51
3.4 ANÁLISIS DE DISEÑO DE LA MATRIZ.	53
3.4.1 Placa base.....	54
3.4.1.1 Material.....	54
3.4.1.2 Forma y dimensiones.....	54
3.4.2 Placa porta mordazas.....	58
3.4.2.1 Material.....	58
3.4.2.2 Forma y dimensiones.....	59
3.4.3 Punzón de conformado.....	60
3.4.3.1 Material.....	60
3.4.3.2 Forma y dimensiones.....	60
3.4.4 Mordazas de sujeción.....	64
3.4.4.1 Material.....	65
3.4.4.2 Forma y dimensiones.....	66
3.4.5 Soporte porta punzón.....	68
3.4.5.1 Material.....	69
3.4.5.2 Forma y dimensiones.....	69
3.4.6 Guías de columna y columnas.....	71
3.4.6.1 Material.....	71
3.4.6.2 Anclado.....	72
3.4.6.3 Forma y dimensiones.....	72
3.4.7 Elementos de Unión.....	75
3.4.7.1 Separación entre agujeros.....	75
3.4.7.2 Separación entre agujeros y bordes de la pieza.....	76
3.4.7.3 Longitud de roscado.....	76
3.4.7.4 Resistencia de seguridad de pernos.....	77
3.4.7.5 Resistencia a la cizalladura de los pasadores.....	78
3.5 Análisis y Diseño del sistema electroneumático.....	79

CAPÍTULO IV	83
ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO	83
4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.....	83
4.1.1 Costos directos.....	83
4.1.2 Costos indirectos.....	85
4.1.3 Costo total de la matriz.....	85
4.2 ANÁLISIS FINANCIERO.....	86
4.2.1 Análisis de Ingresos.....	86
4.2.2 Análisis de egresos.....	87
4.2.3 Período de recuperación de la inversión inicial.....	87
4.2.4 Flujo de caja neto (FNR).....	87
CAPÍTULO V.....	89
ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS.....	89
5.1 GENERALIDADES.....	89
CAPÍTULO VI.....	93
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	93
6.1 CONCLUSIONES.....	93
6.2 RECOMENDACIONES.....	94
Bibliografía.....	95
ANEXOS	

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1.0	Sistema de escape automotriz y sus partes.....	3
Fig. 1.1	Silenciador de placas para escape.....	4
Fig. 1.2	Catalizador y sus partes.....	5
Fig. 1.3	Presilenciador de escape.....	6
Fig. 1.4	Doblado de metal.....	8
Fig. 1.5	Sistema de perfilado por rodillos.....	8
Fig. 1.6	Proceso de embutición.....	10
Fig. 1.7	Repujado de chapa metálica.....	11
Fig. 1.8	Matriz progresiva de tres pasos.....	13
Fig. 1.9	Partes principales de una matriz.....	14
Fig. 1.10	Armazón de una matriz progresiva.....	15
Fig. 1.11	Base superior para matriz de corte y embutido.....	16
Fig. 1.12 (a)	Matrices pequeñas.....	16
Fig. 1.12 (b)	Matrices grandes.....	16
Fig. 1.13	Placas sufridera superior e inferior.....	17
Fig. 1.14	Placa porta punzones de una matriz progresiva.....	19
Fig. 1.15	Varias placas porta punzones individuales.....	19
Fig. 1.16	Matriz con placa prensa chapas en procedimiento básico de perforado.....	20
Fig. 1.17	Montaje de muelles en placas prensa chapas.....	22
Fig. 1.18	Maquinado de una cajera para matriz de corte en CNC.....	23
Fig. 1.19	Punzón de corte y perforado respectivamente.....	25
Fig. 1.20 (a)	Jaula de bolas posición estática.....	26
Fig. 1.20 (b)	Jaula de bolas trabajando.....	26
Fig. 1.21	Pasador cilíndrico DIN 6325.....	27
Fig. 1.22	Tornillo Allen DIN 912.....	28

Fig. 1.23	Tornillo Allen de cabeza cilíndrica, cónica y de pasador cilíndrico con rosca interior.....	29
Fig. 1.24	Troquel de punzón.....	30
Fig. 1.25	Prensa hidráulica.....	31
Fig. 1.26	Corte de una prensa hidráulica.....	32
Fig. 2.0	Circuito típico de un pistón dentro del cilindro en un sistema hidráulico.....	35
Fig. 2.1	Varios tipos de resortes o muelles.....	37
Fig. 2.2	Matriz progresiva.....	39
Fig. 3.0	Dimensiones de cabeza según requerimiento del cliente.....	45
Fig. 3.1	Partes de un cono truncado.....	46
Fig. 3.2	Proceso de recalado en varias fases.....	47
Fig. 3.3	Diagrama del cuerpo libre para la varilla en su área de sujeción.....	50
Fig. 3.4	Diagrama de distribución de carga de la viga principal, fuerza cortante y momento flector.....	56
Fig. 3.5	Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material.....	59
Fig. 3.6	Punzón de conformado con la forma de la cabeza que se quiere obtener.....	61
Fig. 3.7	Mordazas de sujeción para varilla diámetro 10mm.....	66
Fig. 3.8	Soporte porta punzón.....	69
Fig. 3.9	Columna y guía de columna anclado en placas base y placa superior respectivamente.....	73
Fig. 3.10	Separación entre agujeros.....	75
Fig. 3.11	Ubicación de agujeros con respecto al borde.....	76
Fig. 3.12	Cotas de referencia para longitud mínima de roscado.....	77
Fig. 3.13	Circuito electro-hidráulico sistema prensa mordazas.....	80
Fig. 3.14	Accionamiento de pedal para salida de vástago del cilindro.....	81

Fig. 3.15	Accionamiento de pedal para ingreso de vástago del cilindro.....	81
Fig. 3.16	Diagrama eléctrico del tablero de control.....	82

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla. 2.0	Selección de diseño de matriz de conformado.....	40
Tabla. 2.1	Análisis de resultados.....	41
Tabla. 3.0	Propiedades mecánicas del acero AISI 1018.....	44
Tabla. 3.1	Distancia mínima de las perforaciones al borde en función del espesor de la placa matriz y del tipo de contorno.....	59
Tabla. 3.2	Aceros usuales para herramientas de recalcar y prensar en frío de temple superficial, o sea, alta resistencia al desgaste con una reducida resistencia a la compresión.....	65
Tabla. 3.3	Separación mínima de agujeros de acuerdo al material.....	75
Tabla. 3.4	Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material.....	76
Tabla. 3.5	Longitud mínima de roscado dependiendo del material.....	77
Tabla. 3.6	Cargas máximas de pernos Allen en función a su diámetro.....	77
Tabla. 3.7	Cargas admisibles del pasador en función a su diámetro.....	78
Tabla. 3.8	Cuadro de contenido para el circuito.....	80
Tabla. 4.0	Costos materia prima.....	83
Tabla. 4.1	Costos elementos varios.....	84
Tabla. 4.2	Costos de diseño e ingeniería.....	84
Tabla. 4.3	Costos de mano de obra.....	85
Tabla. 4.4	Costos indirectos.....	85
Tabla. 4.5	Costo total de la matriz.....	86
Tabla. 4.6	Análisis de ingresos.....	86
Tabla. 4.7	Análisis de egresos.....	87
Tabla. 4.8	Período de recuperación de la inversión.....	88
Tabla. 4.9	Flujo de caja neto.....	88
Tabla. 5.0	Análisis de dimensiones R&R.....	90
Tabla. 5.1	Análisis de dimensiones R&R (longitud de cabeza).....	91

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Aislante:** Hace referencia a cualquier material que impide la transmisión de la energía en cualquiera de sus formas, con masa que impide el transporte de energía.
- **Aglutinar:** Unir dos o más cosas con una sustancia de manera que se forme una masa compacta.
- **Alojar:** Colocar una cosa dentro de otra.
- **Amortiguar:** Disminuir o reducir la intensidad o fuerza de un objeto o cosa.
- **Análogo:** Que pueden adoptar aspecto semejante por cumplir determinada función, es decir, análogo significa parecido, semejante, similar, equivalente, igual, parejo, sinónimo, gemelo.
- **Bomba:** Dispositivo que convierte la energía mecánica en transmisión fluida de esta energía.
- **Brida:** Es el elemento que une dos componentes de un sistema de tuberías, permitiendo ser desmontado sin operaciones destructivas, gracias a una circunferencia de agujeros a través de los cuales se montan pernos de unión.
- **Canalizar:** Referido a un lugar, abrir canales en él, generalmente para transportar por ellos gases o líquidos.
- **Carcasa:** En general se denomina carcasa a un conjunto de piezas duras y resistentes, que dan soporte (internas) o protegen (externas) a otras partes de un equipo, construcción o ser vivo.
- **Carrocería:** La carrocería o latonería de un automóvil es aquella parte del vehículo en la que reposan los pasajeros o la carga. En los vehículos auto portantes, la carrocería sujeta además los elementos mecánicos del vehículo.
- **Colisión:** El término colisión se utiliza para hacer referencia a una situación en la cual dos o más objetos chocan de manera violenta por encontrarse en

el mismo camino. La colisión es un fenómeno físico que implica que si dos elementos son arrojados a una velocidad x en un mismo espacio, los mismos colisionarán o chocarán de manera violenta porque no puede darse que ambos ocupen el mismo espacio al mismo tiempo.

- **Convertidor Catalítico:** Es un componente del motor de combustión interna alternativo y Wankel que sirve para el control y reducción de los gases nocivos expulsados por el motor de combustión interna. Se emplea tanto en los motores de gasolina o de ciclo Otto como más recientemente en el motor diésel.
- **Concéntrico:** Los objetos concéntricos comparten el mismo centro, eje u origen. Los círculos, tubos, ejes cilíndricos, discos y esferas pueden ser concéntricos entre sí. Obsérvese que dos objetos pueden tener radios iguales y ser concéntricos y diferentes.
- **Elastómero:** Son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados.
- **Estequiometria:** Es el cálculo de las relaciones cuantitativas entre los reactivos y productos en el transcurso de una reacción química. Estas relaciones se pueden deducir a partir de la teoría atómica, aunque históricamente se enunciaron sin hacer referencia a la composición de la materia, según distintas leyes y principios.
- **Evacuar:** Expulsar o sacar una cosa, aplica a desalojar de un sitio o lugar.
- **Gas:** Se denomina gas al estado de agregación de la materia en el cual, bajo ciertas condiciones de temperatura y presión, sus moléculas interaccionan solo débilmente entre sí, sin formar enlaces moleculares, adoptando la forma y el volumen del recipiente que las contiene y tendiendo a separarse, esto es, expandirse, todo lo posible por su alta energía cinética. Los gases son fluidos altamente compresibles, que experimentan grandes cambios de densidad con la presión y la temperatura.

- **Matriz:** Es un conjunto de elementos mecánicos, que permiten realizar la producción en serie de piezas con formas distintas, mediante una máquina tal como; troqueles, prensas, plegadoras, etc.
- **Oxidación:** Es la reacción química que ocurre casi siempre en los metales a causa del agua o del aire, causando su corrosión y pérdida de brillo y otras propiedades, propias de los metales.
- **Pandeo:** Es un fenómeno de inestabilidad elástica que puede darse en elementos comprimidos esbeltos, y que se manifiesta por la aparición de desplazamientos importantes transversales a la dirección principal de compresión.
- **Propagar:** Extender o difundir algo de un sitio a varios lugares.
- **Recalcado:** Este proceso de fabricación se utiliza para dar una forma y unas propiedades determinadas a los metales y aleaciones a los que se aplica mediante grandes presiones. La deformación se puede realizar de dos formas diferentes: por presión, de forma continua utilizando prensas, o por impacto, de modo intermitente utilizando martillos pilones.
- **Rotura:** Separación de un cuerpo en trozos, de forma más o menos violenta, o producción de grietas en el mismo.
- **Sistema:** Es un objeto complejo cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; puede ser material o conceptual. Todos los sistemas tienen composición, estructura y entorno, pero sólo los sistemas materiales tienen mecanismo, y sólo algunos sistemas materiales tienen figura (forma).
- **Soportería:** Del termino soporte, será aquel apoyo o sostén que presenta un determinado objeto.
- **Torno:** Se denomina torno a un conjunto de máquinas y herramientas que permiten mecanizar piezas de forma geométrica de revolución. Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centrado) mientras una o varias

herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas.

- **Transmisión:** Se denomina transmisión mecánica a un mecanismo encargado de transmitir potencia entre dos o más elementos dentro de una máquina. Son parte fundamental de los elementos u órganos de una máquina, muchas veces clasificado como uno de los dos subgrupos fundamentales de estos elementos de transmisión y elementos de sujeción.

RESUMEN

En la actualidad los procesos productivos de conformado mecánico, son la base fundamental de la industria, 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.

La industria automotriz en el país se ha desarrollado de sobre manera en estos últimos años, tal es el caso de la empresa OBB de General Motors, la cual ha venido incursionando en la producción de automóviles desde el año 1980, hasta la actualidad, se están produciendo varios modelos casi en su totalidad, tal es el caso del Chevrolet SAIL, y de la nueva camioneta Luv DMAX RT-50, que son modelos de gran acogida en el país.

Se realizó el estudio, selección, dimensionamiento, diseño y construcción de una matriz de recalcado por conformado en deformación al frío, para la producción de cabezas en varilla lisa AISI/SAE 1018, la misma que se utiliza para la fabricación de ganchos de soportería para el sistema de escape en automóviles.

La matriz de conformado se desarrolló por medio de la proyección de planos, utilizando procesos tecnológicos actuales, como software de diseño, entre otros, se realizó además la selección de materiales, diseño de los mecanismos de montaje, pruebas de laboratorio, hojas de proceso y criterios de seguridad para el manejo de estos dispositivos.

Se obtuvo una cabeza conformada en la varilla de diámetro 10mm, las dimensiones de la cabeza están definidas bajo requerimiento directo de la casa fabricante, el diseño de cada elemento que conforma la matriz, se realizó tomando en cuenta las condiciones operacionales y funcionales de la matriz en conjunto.

En el diseño se incluye el análisis de operación del troquel en el que se va a realizar el conformado, se establecieron hojas de proceso con el procedimiento de instalación, calibración y operación de la matriz.

La matriz de conformado fue diseñada para el uso exclusivo de la fabricación de los ganchos que conforman la soportería para el escape del Chevrolet SAIL, sin

embargo el campo de aplicación de la matriz se puede extender a otros modelos de recalcado, para grandes producciones.

La apertura de la matriz para generar otros tipos de recalcado impulsa una búsqueda de nuevos proyectos para la empresa AMEIXT, ya que se realizó un análisis financiero que garantiza que el proyecto es rentable y susceptible para nuevos productos.

GENERALIDADES

INTRODUCCIÓN.

Después de los decretos de inclusión de producción en el país, la industria Ecuatoriana, ha venido desarrollando nuevos procesos productivos entre los cuales se ha destacado la metalmecánica en un gran número de aplicaciones resaltando entre estos los trabajos hechos en matriceria, es decir, producción de elementos en chapa metálica en serie.

Este tipo de producción, ofrece una gran versatilidad de aplicación, al igual que bajos costos productivos; en la fabricación de grandes cantidades de partes en serie, la mayoría de los elementos de uso diario son realizados con matrices de corte, doblado, embutido, etc., sea cual sea la necesidad, como es el caso de artefactos de uso diario en los hogares, partes de automóviles, elementos de uso industrial, entre otros.

En el caso específico de la industria automotriz, el 68% de sus partes son producidas en serie, mediante matrices de conformado, lo que ofrece mayor rapidez, costos bajos y partes con tolerancias geométricas y dimensionales óptimas.

ANTECEDENTES.

Asistencia Mecánica Industrial, AMEIXT, es una empresa metalmecánica que durante varios años ha venido incursionando en la matriceria de partes en serie, dedicado en su mayoría a piezas para sistemas de escape como soportería, silenciadores, resonadores, tubería, etc., siendo así uno de los principales proveedores de la empresa INDIMA, que se encarga de armar dichos sistemas de escape para casas automotrices, como General Motors, AYMESA, MARESA, AMBACAR, entre otros.

Uno de los principales productos que se fabrican en AMEIXT, es la soportería de los sistemas de escape, que conlleva un sin número de modelos de ganchos de sujeción directa e indirecta al chasis de los automóviles.

Tomando en cuenta la infinidad de modelos de automóviles que existen en el país, hay que aclarar que por cada uno de estos, se ven involucrados mínimo cinco tipos de ganchos diferentes, que cumplen varias funciones en el sistema de escape, tales como sujeción, fijación, posicionamiento, reducción de vibraciones, etc., y por tanto cada gancho presenta diferentes características, formas, dimensiones y propiedades, según la exigencia del modelo.

CAPÍTULO I

FUNDAMENTOS TEÓRICOS

GENERALIDADES.

1.1 LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ ECUATORIANA

La producción automotriz en el Ecuador empieza en la década de los años 50, cuando empresas del sector metalmecánico y del sector textil comienzan la fabricación de carrocerías, asientos para buses y algunas partes y piezas metálicas.

En la década de los 60, con las leyes de fomento se incursiona en la fabricación de otros elementos de alta reposición y de uso común dentro de la amplia gama de marcas y modelos de vehículos existentes en el mercado.

Para mirar objetivamente la importancia de la industria automotriz, es necesario analizar su crecimiento a partir del inicio de operaciones de las plantas existentes.

En el Ecuador se han ensamblado vehículos por más de tres décadas. En 1973 comienza la fabricación de vehículos, con un total de 144 de un solo modelo, el Andino, ensamblado por AYMESA hasta el año 1980. La producción total de vehículos superó las 5.000 unidades durante la década de los años setenta.

La industria automotriz ecuatoriana está constituida por tres ensambladoras de vehículos con las marcas Chevrolet, Kia y Mazda que conforman la cadena productiva en la que participan al menos 14 ramas de actividad económica, de acuerdo con la clasificación CIIU, entre las que se encuentran la metalmecánica, petroquímica (plástico y caucho), textil, servicios y transferencia tecnológica.

La industria de ensamblaje ha posibilitado la producción local de componentes, partes, piezas e insumos en general, lo que significa el establecimiento de bases tecnológicas para la fabricación de muchos otros productos conexos a los automotores y las maquinarias y herramientas necesarias para producirlos.

El grado de desarrollo tecnológico que la industria automotriz ecuatoriana ha alcanzado se ve reflejado en la calidad de los automotores nacionales, que involucra las más altas normas de seguridad.

En la actualidad, la presencia de empresas multinacionales en Ecuador, han liderado la transferencia y asimilación de tecnologías en empresas de autopartes y de ensamblaje de automóviles, lo cual se ve reflejado en el desarrollo tecnológico alcanzado por la industria automotriz ecuatoriana.¹

De esta manera, la industria de ensamblaje ha brindado la oportunidad de la producción local de componentes, partes, piezas e insumos en general, lo que genera a su vez un encadenamiento productivo en la fabricación de otros productos relacionados a los automotores.

La industria automotriz del país comprende los vehículos completamente armados (CBU) o en partes para ser ensamblados (CKD).

Principales productos de la industria automotriz ecuatoriana:

- Vehículos: automóviles, camionetas, todo terreno, buses, SUV's (Vehículo Deportivo Utilitario) y vans.
- Repuestos, tales como: accesorios, colisión, desgaste, eléctricos y mantenimiento.
- Llantas o neumáticos.
- Motos.

1.1.1 Desarrollo automotriz enfocado en sistemas de escape.

Dentro del desarrollo automotriz en el país, es rescatable la mención de la empresa, INDIMA S.A. la cual es una empresa certificada con la Norma ISO/TS 16949 y en implementación del Modelo de Gestión de Calidad MGC, que nace en 1984, en la ciudad de Quito-Ecuador, con el objetivo de fabricar sistemas de escape original, en ese entonces para Toyota Stout. Sin embargo, luego de darse a conocer la calidad de sus productos, se extiende su mercado a todas las ensambladoras del país.

Se ofrece así productos de primera calidad, con exigencias internacionales, produciendo sistemas de escape completos con aprobación de las casas automotrices entregando partes como silenciadores, pre silenciadores, resonadores,

¹ CINA E, http://www.cinae.org.ec/index.php?option=com_content&view=article&id=26&Itemid=302&lang=es

bridas, soportería, tubos, etc., los cuales cumplen controles de calidad bajo estándares de norma.

Actualmente producen sistemas de escape para las ensambladoras con equipo original, donde cubren el 98% a nivel nacional, y para el mercado de reposición, al que atienden mediante la cadena de Tecnoescape, donde cubren el 6% del mercado en el país, así como, el 15% del mercado en la ciudad de Quito. Convirtiéndose así en la principal productora de sistemas de escape automotrices en el Ecuador.

1.2 EL SISTEMA DE ESCAPE.

El sistema de escape automotriz, es un conjunto de varios elementos que cumplen con varias funciones, la línea de escape va desde el motor hasta la parte trasera del vehículo, que es su única parte visible. **(Fig. 1.0)**

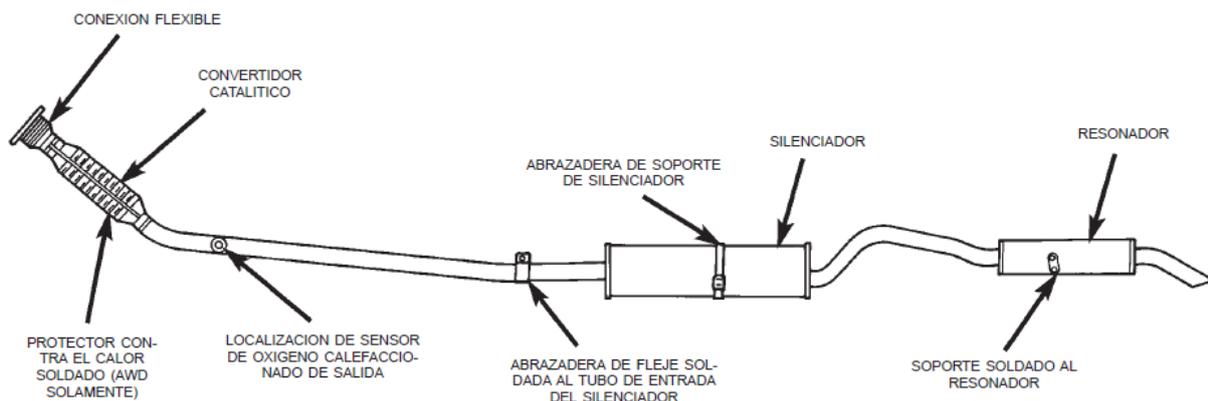


Fig. 1.0 Sistema de escape automotriz y sus partes.

Fuente. <http://es.scribd.com/doc/88760282/Caravan-Escape>

El conjunto de los elementos que constituyen la línea de escape mide aproximadamente tres metros y va enganchado bajo la caja del vehículo. Su forma varía en función de la motorización y del tipo de vehículo, sin embargo generalmente constan de las mismas partes.

El sistema de escape, cumple con cuatro funciones principales:

1. Canalizar y evacuar los gases resultantes de la combustión del combustible.
2. Asegurar la descontaminación y la reducción de los humos.
3. Reducir las emisiones térmicas.
4. Disminuir el nivel sonoro.

1.2.1 Partes que conforman el sistema de escape.

Los sistemas de escape se producen con varias configuraciones, en función del motor y del vehículo. Los vehículos con tracción en las cuatro ruedas (AWD) cuentan con un protector contra el calor montado en el convertidor catalítico. Los tubos de cola, silenciadores y resonadores tienen reglajes en función de cada combinación de vehículo y mecanismo de transmisión.

1.2.1.1 El Silenciador.

El sonido del motor, es una onda formada por pulsos alternativos de alta y baja presión que se amortiguan en el silenciador de escape. Cuando la válvula de escape se abre y el gas de escape se precipita hacia el tubo, golpea al gas de menor presión, detenido allí. Esto genera una onda que se propaga, hasta la atmósfera por la salida de escape. La velocidad de la onda es mayor que la del propio gas. **(Fig. 1.1)**

En un silenciador de escape corriente, el gas llega al fondo y es reflejado hacia la cámara principal por una ventana. Luego, por tubos con orificios, sale hacia la última porción del tubo de escape. Por otra parte, la cámara principal también se conecta a través de un orificio con otro compartimento llamado **resonador**.

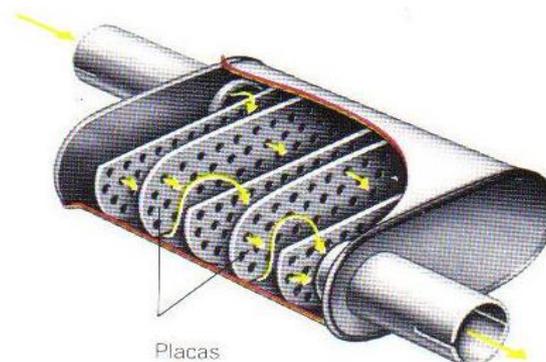


Fig. 1.1 Silenciador de placas para escape.

Fuente. <http://luisarteaga.wikispaces.com/MOFLE+SILENCIADOR>

El resonador es el que controla las ondas de presión que van y vienen dentro del tubo de escape permitiendo que tengan las características óptimas para el funcionamiento de ese motor.

Cuando el gas de escape golpea al gas confinado en el resonador, produce una onda en dirección contraria que tiene frecuencia y amplitud parecida a la que viene desde el motor. Algunos sistemas de escape están equipados con un resonador independiente, que se instala más cerca de la salida.

Algunos silenciadores son construidos de manera que la carcasa absorbe parte de las pulsaciones. Una capa metálica más gruesa en el exterior, luego una capa delgada de aislante y enseguida otra capa metálica fina.

1.2.1.2 El Catalizador.

Situado en el interior del tubo de escape, reacondiciona los gases producidos en la combustión. Acelerador de la reacción química que combina los compuestos de los gases de escape para obtener dióxido de carbono y vapor de agua como elementos finales. Utiliza platino y rodio (también paladio) como elementos aceleradores de la reacción química. En los catalizadores por oxidación el monóxido de carbono lo convierte en dióxido de carbono al volverlo a combinar con el oxígeno. Los hidrocarburos también los hace combinar con el oxígeno obteniendo de nuevo dióxido de carbono y vapor de agua. Los catalizadores por reducción convierten los óxidos de nitrógeno en nitrógeno y oxígeno libre que se utiliza en los procesos anteriores. Un catalizador de tres vías combina los sistemas anteriores pero necesita una temperatura superior a 400°C para funcionar correctamente y que la mezcla de aire y gasolina sea la estequiométrica. Tampoco puede ser utilizado con gasolina con plomo al anular este material la función de los elementos del catalizador. (Fig. 1.2)

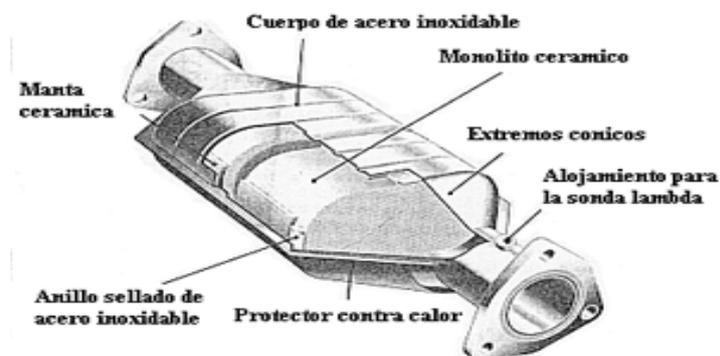


Fig. 1.2 Catalizador y sus partes.

Fuente. http://siqbstarzgirls.blogspot.com/2008_04_01_archive.html

1.2.1.3 El resonador.

El resonador no es más que otro dispositivo con un funcionamiento análogo al silenciador, y que refuerza el trabajo de eliminación de ruidos para obtener un escape más silencioso. No todos los vehículos tienen el resonador, más bien está reservado para los automóviles más caros y silenciosos. **(Fig. 1.3)**

Hay una variante del resonador que hace todo lo contrario, lo que busca es cambiar el patrón de ruido y hacerlo de mayor volumen y con una frecuencia modificada que da la impresión psicológica de un motor más potente. Estos resonadores no vienen nunca de fábrica en los automóviles, se compran y montan por los amantes a esos ruidos, generalmente jóvenes. Lo más común es que se coloquen en el lugar del tubo de cola.



Fig. 1.3 Presilenciador de escape.

Fuente. <http://www.preciolandia.com/mx/mofle-resonador-presilenciador-tipo-bala-6w2duo-a.html>

1.2.1.4 El tubo de cola.

Durante su trayectoria a lo largo de todo el laberinto anterior en el tubo de escape, los gases se enfrían, este enfriamiento, en ciertos casos de funcionamiento a poca potencia, permite que los gases puedan llegar a una temperatura menor de 100°C dentro del tubo de escape, lo que implica que el vapor de agua que contienen pueda condensarse como agua líquida, más probablemente en el tubo de cola que está al final. El agua en este estado puede formar soluciones con las otras sustancias que contienen los gases de escape, para producir agentes muy corrosivos.

Además de este factor, el tubo de cola es un elemento visible del tubo de escape, por estas dos razones esta parte final se construye de materiales vistosos y resistentes a la corrosión.

1.3 MATRICERÍA.

1.3.1 Procedimientos de conformado.

Como su nombre indica, este grupo de procesos engloba todos aquellos trabajos en los que de alguna manera se modifica la forma o volumen de una chapa. Estos procedimientos se clasifican en tres grandes grupos, a saber: doblado, embutición y otros procedimientos de conformado.²

1.3.1.1 Procedimientos de doblado.

Los procedimientos de doblado de uso más común son: el doblado (propriadamente dicho), el curvado, el enrollado, el engrapado, también conocido como engatillado, y el perfilado.

- El **doblado** consiste en modificar la geometría de una chapa lisa formando dos o más planos distintos y, en consecuencia, un ángulo o ángulos de aristas más o menos definidas entre ambos planos. Esta operación puede realizarse con una matriz, o bien, mediante una prensa plegadora para el caso de piezas de gran formato o para el procesado de series cortas y/o geometrías sencillas. **(Fig. 1.4)**
- El **curvado** consiste en un proceso de doblado cuyo radio de arista tiene un valor muy superior al del espesor de la chapa, lo que no permite definir o intuir la línea generatriz del doblado. Esta clase de operaciones pueden llevarse a cabo mediante matrices o bien con la ayuda de unas máquinas especiales curvadoras.
- El **enrollado** es una variante de los procesos de curvado en los cuales a partir de una chapa plana se consigue obtener un bucle prácticamente cerrado.
- El **engrapado** o engatillado se define como el proceso de unión de los extremos de una pieza, o de dos diferentes, mediante un doblado o pestaña a

² LOBJOIS, Charles, Conformado de las piezas (Técnicas y equipos de aplicación), CEAC, ESPAÑA, 2004.

modo de costura, con la finalidad de obtener un cuerpo generalmente cerrado, en forma de tubo o de recipiente.

- El **perfilado** es una modalidad de doblado llevada a cabo sobre un formato de chapa de gran longitud (como puede ser una tira, un fleje o incluso, una bobina). Este proceso se desarrolla mediante la acción de una máquina formada por unos trenes de rodillos, llamada perfiladora, aunque también es posible realizarlo en una prensa plegadora. En la mayoría de casos el perfil definitivo se obtiene en diferentes fases u operaciones. **(Fig. 1.5)**

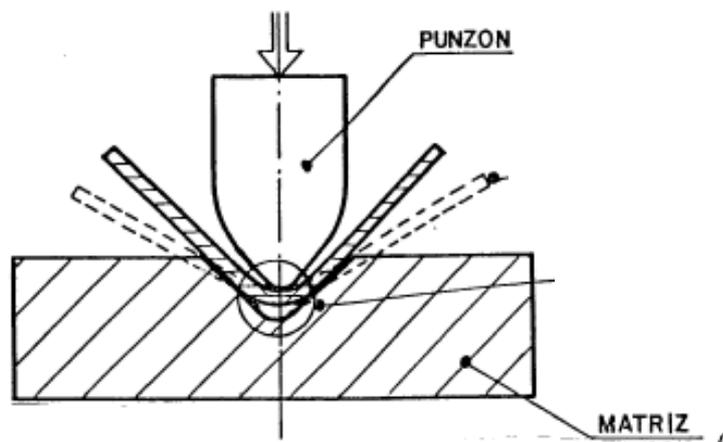


Fig. 1.4 Doblado en metal.

Fuente. Universidad América, Manufactura I, Troquelado, pág. 279

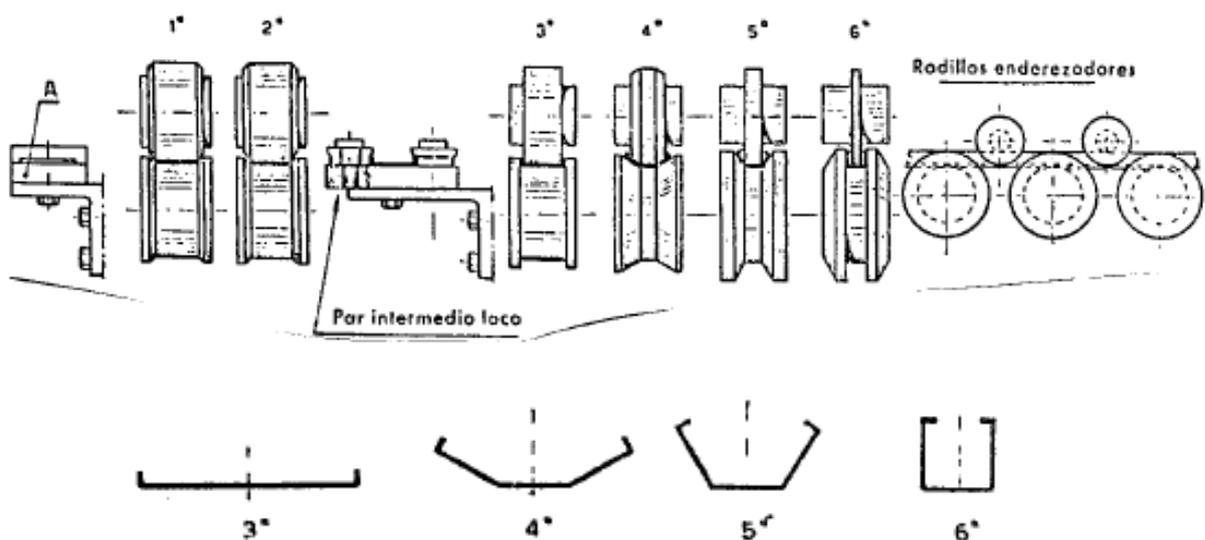


Fig. 1.5 Sistema de perfilado por rodillos.

Fuente. ROSSI, Mario, Estampado en frío de la chapa, pág. 62

1.3.1.2 Procedimientos de embutición.

Los procedimientos de embutición más habituales son: la embutición (propriadamente dicha), el bordonado, el reducido, el abombado, el abocardado, el hidroconformado o hydroforming y la extrusión.

- **Embutición:** Se define como el proceso de fabricación de cuerpos huecos recipientes mediante una matriz, por la deformación de una chapa plana previamente cortada. **(Fig. 1.6)**
- **Bordonado:** Consiste en la formación de una o varias nervaduras de perfil curvo, practicadas perimetralmente en piezas previamente embutidas, o también en tubos. La finalidad de esta operación es la de dotar a las piezas de una mayor resistencia a la deformación. Esta clase de procesos pueden llevarse a cabo mediante matrices, máquinas bordonadoras o tornos de repulsar.
- **Reducido:** También conocido como entallado se define como la operación de cerrado parcial del diámetro de la boca de un tubo o de un recipiente previamente embutido, formando geometrías a modo de cuellos o gargantas. Este proceso se realiza con el uso de diversas matrices, aunque también cabe la posibilidad de practicarlo en tornos de repulsado mediante una técnica denominada *knecking-in*.
- **Abombado:** Consiste en una operación de ensanchamiento del diámetro de un tubo o de una pieza previamente embutida. Este proceso se desarrolla mediante una matriz dotada de un punzón fabricado en material elastómero, o bien mediante aplicación de la técnica conocida con el nombre de *hydroforming*, en cuyo caso el elemento activo de conformado de la chapa consiste en un medio fluido sometido a elevada presión.
- **Abocardado:** Consiste en la embutición de la chapa circundante a un agujero, formando una especie de pestaña, mediante punzón y matriz. De este modo, es posible obtener gargantas o pestañas de material muy útiles

en piezas de reducido espesor sobre las cuales deban ir ensambladas otras piezas, ya sea por ajuste forzado, roscado o remachado.

- **Extrusión:** Se fundamenta en la elevada plasticidad y, por consiguiente, en la gran facilidad de fluencia que poseen algunos materiales metálicos. Según esta característica, en frío y mediante la acción de un rápido y potente impacto, el material en cuestión es capaz de fluir alrededor del perfil o perímetro de un punzón o de una matriz. De este modo se pueden fabricar cuerpos recipientes de considerable altura respecto de su diámetro (relación diámetro/altura hasta 1/8), además de conseguir piezas tecnológicamente difíciles de obtener por otros procedimientos.

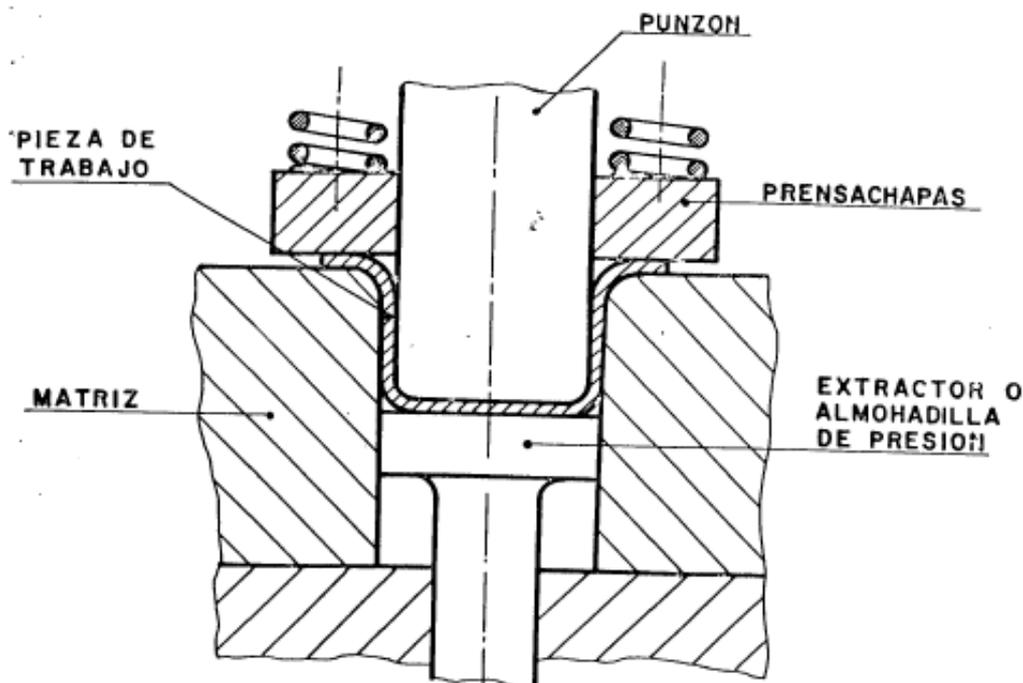


Fig. 1.6 Proceso de embutición.

Fuente. ROSSI, Mario, Estampado en frío de la chapa, pág. 71

1.3.1.3 Otros procedimientos de conformado

Existen otro tipo de procesos de conformado que involucran la deformación de la chapa metálica, los más conocidos y usados son:

- **Repujado:** Consiste en la fabricación de cuerpos huecos de rotación simétrica a partir de una chapa, de un tubo, o de una preforma embutida, mediante unas máquinas conocidas como tornos de repujar. **(Fig. 1.7)**
- **Estampado:** Se basa en la obtención de un relieve o bajorrelieve de perímetro perfectamente definido sobre la superficie de una chapa previamente matrizada. Los desniveles del perímetro estampado respecto a su plano original suelen ser ligeramente superiores al espesor de la chapa.
- **Acuñado:** Consiste en obtener mediante un troquel y a golpe de prensa una figura grabada en bajo relieve. La fabricación de monedas, medallas y otros objetos de ornamentación son trabajos característicos de acuñado.
- **Remachado:** Es un proceso de unión de dos o más piezas que se lleva a cabo haciendo recrecer el material de una de ellas sobre la/s otra/s mediante un fuerte impacto. Generalmente dichas piezas son encajadas entre sí a partir de uno o varios agujeros punzonados en una de ellas.

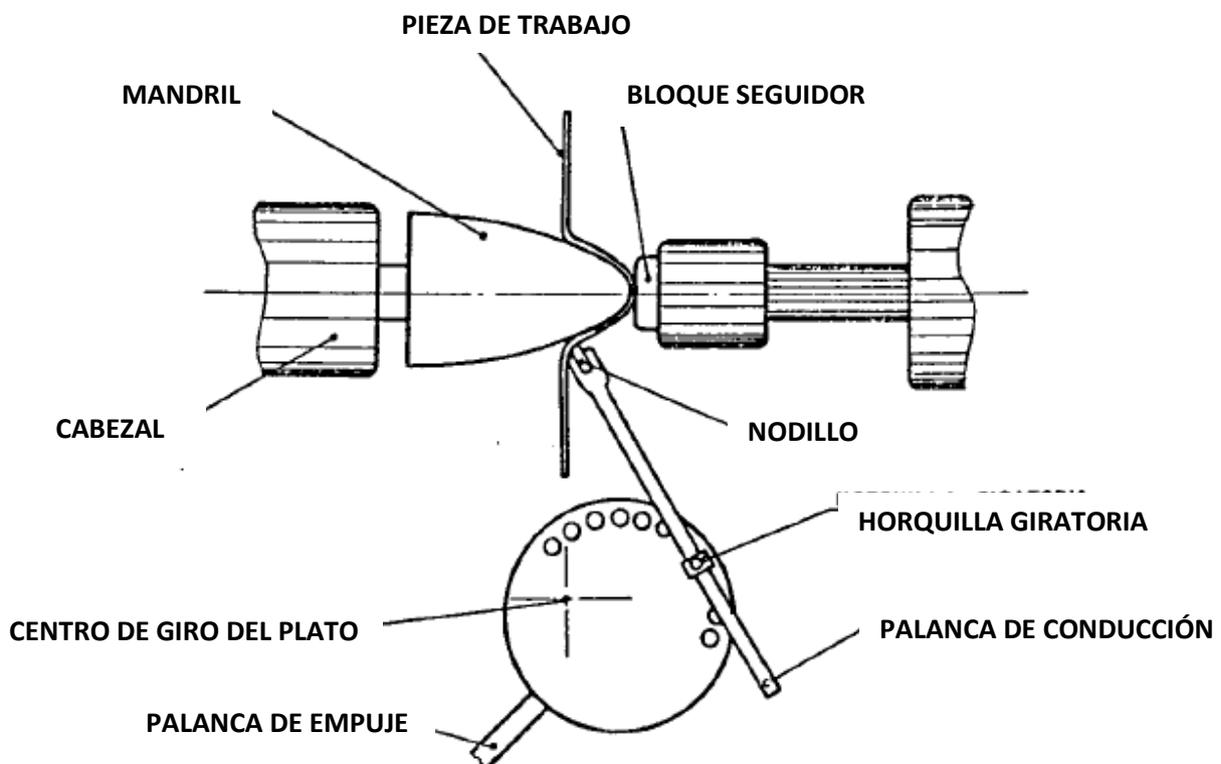


Fig. 1.7 Repujado de chapa metálica.

Fuente. ROSSI, Mario, Estampado en frío de la chapa, pág. 127

1.3.2 Matricería de conformado.

1.3.2.1 Componentes de las matrices.

Todos los elementos constructivos que forman la matriz cumplen con una misión específica dentro del conjunto general del trabajo que debe realizar y para el que ha sido diseñado.

Los materiales empleados para fabricar dichas piezas, así como los tratamientos térmicos y acabados son aspectos muy importantes a tener en cuenta que deben tratarse con atención si de verdad se quiere obtener los mejores rendimientos a lo largo de la vida del utillaje. También hay que dedicar una atención especial a los distintos elementos normalizados que con más frecuencia se utilizan en la construcción de las matrices.

El objetivo marcado, está destinado a conocer algunos de los componentes más importantes que forman las matrices, así como las condiciones de trabajo a que se ven sometidos y por supuesto como ha de ser su construcción.

En primer lugar se trata de aquellos componentes que de una u otra forma están presentes en casi todas las matrices, independientemente de su tamaño, por ejemplo:

Bases o armazones, Placa matriz, Placa porta punzones, Placa prensa chapas, Punzones, Cuchillas, Reglas guía, Sufrideras, etc. Así mismo, también se debe analizar los distintos tipos de materiales con que se construyen y los tratamientos térmicos más apropiados. **(Fig. 1.8)**

Los objetivos prioritarios de todos los componentes de la matriz son tres:

1. Hacer que su funcionamiento sea correcto
2. Que la durabilidad sea adecuada
3. Que las piezas fabricadas sean de calidad

Para lo cual amerita:

- a) Buen diseño de la matriz

- b) Buena construcción
- c) Buenos materiales de construcción
- d) Buenos tratamientos térmicos
- e) Buen mantenimiento



Fig. 1.8 Matriz progresiva de tres pasos.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 5

1.3.2.1.1 Procesos de construcción de una matriz.

Dentro de la industria de la matricería, el desarrollo técnico y tecnológico de los últimos tiempos ha hecho que las máquinas utilizadas en este campo permitan trabajar a grandes velocidades que hace solo unos pocos años eran impensables.

Esto hace que hoy en día, la programación de máquinas herramientas por medio de C.N.C., CAD-CAM sea una cosa totalmente necesaria y habitual si realmente se quiere ser competitivo en un mercado cada vez más abierto y globalizado.

1.3.2.2 Partes principales de una matriz.

Habitualmente, las matrices están formadas por un gran número de elementos que requieren ser contruidos y mecanizados con unos materiales y herramientas adecuadas a su función. No obstante también se da el caso que estos materiales o herramientas no sean los más adecuados para otros trabajos de similares características. Por todo ello conviene saber, que cada matriz o componente de la misma debe ser estudiado y tratado de forma independiente sin tener en cuenta casos similares. **(Fig. 1.9)**

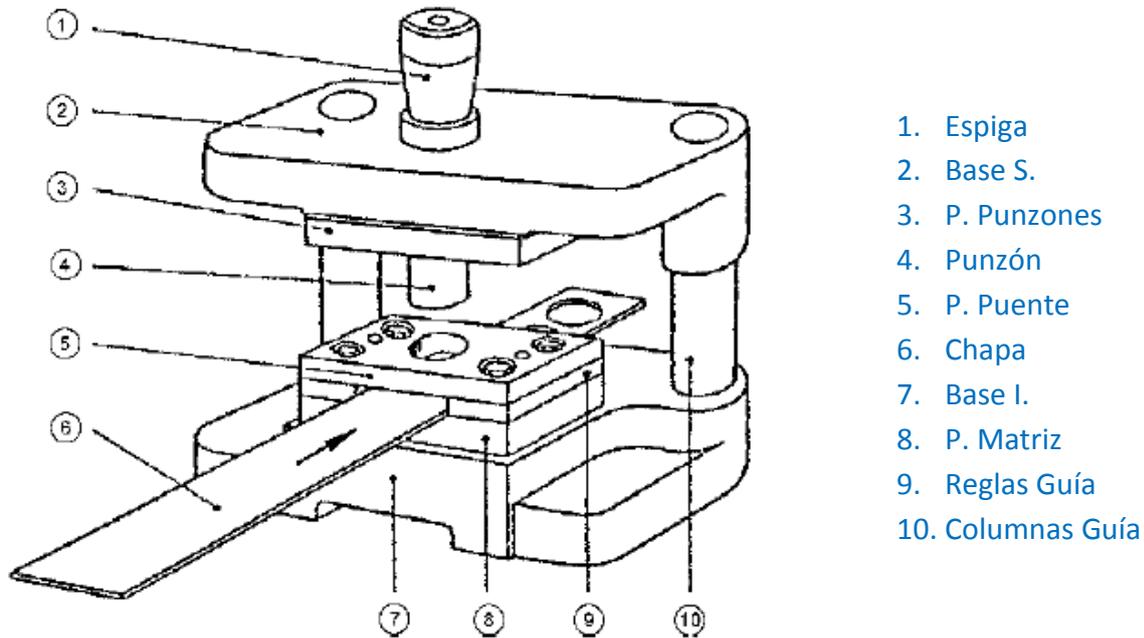


Fig. 1.9 Partes principales de una matriz.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 9

Una parte sustancial de los costes de la matriz (aprox. un 60%) están relacionados con el mecanizado de sus componentes, hay que tener presente, que la mayoría de sus piezas están sometidas a largos y costosos procesos de mecanizado que implican muchas horas de trabajo.³

Los materiales de construcción han de reunir las siguientes propiedades:

1. Dureza superficial (para resistir el desgaste y la adherencia de partículas).
2. Alto contenido de carburos (para resistir el desgaste por abrasión).
3. Tenacidad y ductilidad (para resistir la rotura y los desprendimientos).

1.3.2.2.1 Armazón o base inferior.

El armazón o base inferior de la matriz es el elemento sobre el cual van montados todos los demás componentes, y a su vez, descansa sobre la bancada de la prensa durante la fase de trabajo. Para el resto del troquel, la base y los elementos que lleva montados hacen las funciones de apoyo puesto que «recibirán» toda la fuerza de transformación que la prensa aplique sobre ella. **(Fig. 1.10)**

³ FLORIT, Sans Antonio, *Tratado de Matriceria*, Tecnofisis Global, 2008

Sobre la base inferior se montan las columnas guía que sirven como referencia de centrado entre la parte superior e inferior, **(parte móvil / parte fija)**. Asimismo, dicha base tiene la misión de absorber y neutralizar todas las fuerzas que inciden sobre su superficie durante la transformación.

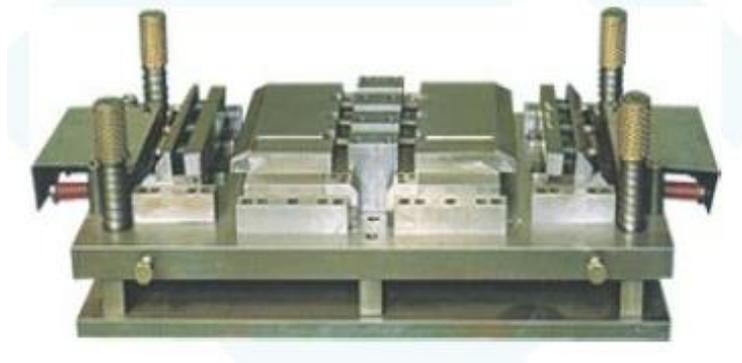


Fig. 1.10 Armazón de una matriz progresiva.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 70

La base inferior igual que la superior, han de ir fuertemente fijadas a la prensa utilizando tornillos o bridas, ambas placas han de quedar alineadas y centradas entre sí por medio de las columnas de centrado.

Cuando se trata de matrices de pequeñas y medianas dimensiones se puede emplear acero suave de construcción o armazones normalizados de fundición. Para matrices de tamaño grande siempre es más barato y práctico utilizar fundición.

Los materiales más utilizados según la norma UNE, son los siguientes:

- a) F 111: Para matrices de pequeño tamaño
- b) F 112: Para matrices de mediano tamaño
- c) Fundición: Para matrices de gran tamaño

1.3.2.2.2 Armazón o base superior.

El Armazón o base superior tiene la misión de aglutinar en su superficie todas las placas y elementos que sujetan y montan los punzones que lleva la matriz, va sujeta al carro superior de la prensa que la inmoviliza y fija durante todo el proceso de trabajo. **(Fig. 1.11)**

La base superior recibe directamente todo el movimiento de la prensa para que esta lo transmita a los punzones y estos transformen la chapa.

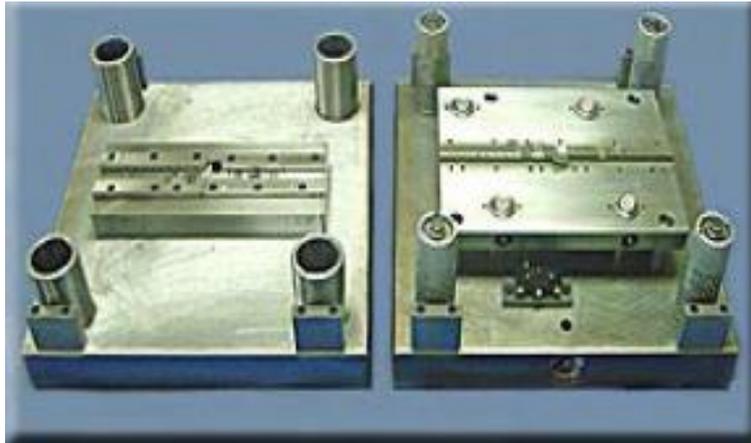


Fig. 1.11 Base superior para matriz de corte y embutido.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 73

La base superior y la inferior son las que aglutinan todos los elementos de la matriz y ambas van guiadas por las columnas guía y los casquillos correspondientes.

En matrices de pequeño o mediano tamaño, los materiales más utilizados son:

- a) Acero F 111: Para matrices de pequeño tamaño.
- b) Acero A F 112: Para matrices de mediano tamaño.
- c) Fundición: Para matrices de gran tamaño.

La fijación de la base al porta punzones siempre va unida por medio de tornillos y pasadores. En el caso de matrices de pequeño tamaño la orientación de los tornillos acostumbra a ser de arriba abajo **Fig. 1.12 (a)** y en el caso de matrices grandes se hace en sentido contrario. **Fig. 1.12 (b)**

Este cambio de sentido tiene su razón de ser en el hecho de facilitar el montaje y desmontaje de los punzones sin necesidad de voltear la matriz.

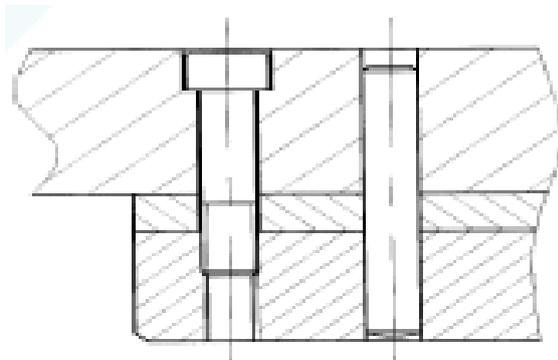


Fig. 1.12 (a) Matrices pequeñas

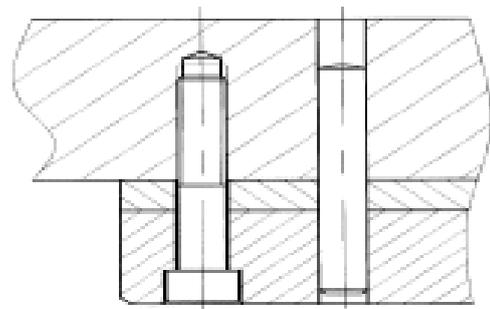


Fig. 1.12 (b) Matrices grandes

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 75

1.3.2.2.3 Sufridera o placa de choque.

La función básica de la placa de choque o sufridera consiste en absorber sobre su superficie los sucesivos impactos que recibe de los elementos que golpean sobre ella. Estos impactos se producen cada vez que los punzones cortan o doblan la chapa. **(Fig. 1.13)**

Cuando el punzón impacta contra la chapa, la resistencia que opone el material es transmitida a la superficie de la placa sobre la que se apoya.

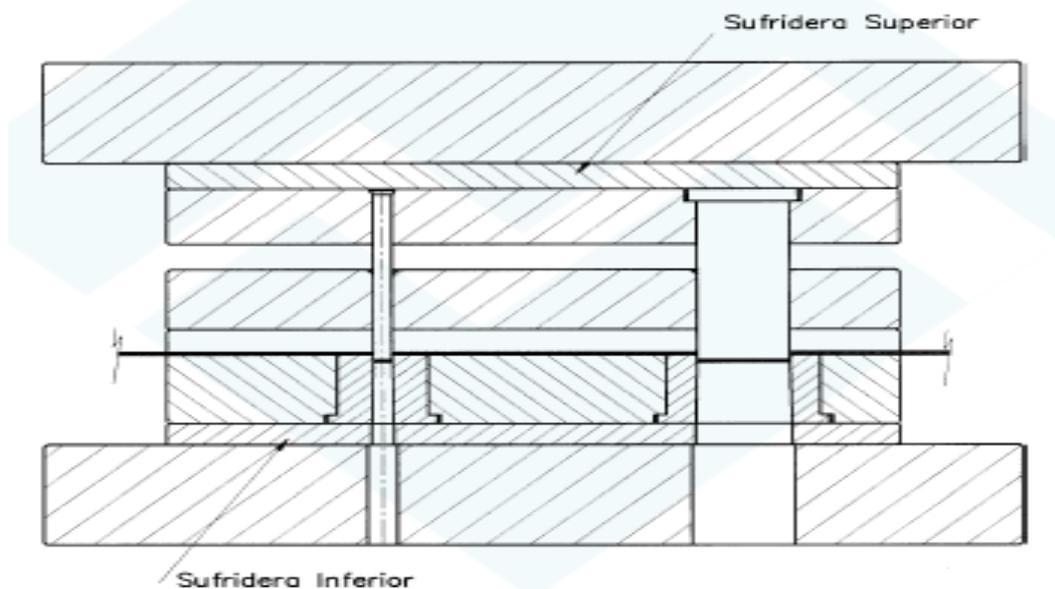


Fig. 1.13 Placas sufrideras superior e inferior

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 76

Un requisito imprescindible de todas las placas sufrideras es que tengan una superficie generosamente mayor que los punzones o casquillos sobre los que descansan. En el caso de sufrideras de muy pequeño tamaño, los punzones o casquillos se clavarán sobre estas y a su vez sobre las bases.

Este fenómeno se puede agudizar siempre que se tenga punzones o casquillos de cabeza pequeña y estos estén sometidos a fuertes impactos por razones de corte, doblado u otras transformaciones.

Para la construcción de las placas de choque se empleará materiales que admitan el temple y que conserven asimismo tenacidad y cohesión en el núcleo. Un material

adecuado y muy empleado es el acero al carbono del tipo F 522 y el F 114 debidamente templados a una dureza de HRc. 54-58.

Algunos matriceros optan por la elección de un acero indeformable de 100 a 120 kg.mm². para evitar el tratamiento térmico y el rectificado posterior de la placa.

Los materiales según norma UNE y tratamientos son:

- a) F-114 (Bonificado): Para tamaños grandes
- b) F-522 (Temp. y Revenido HRc.56- 58): Para tamaños pequeños
- c) F-524 (Temp. y Revenido HRc.56- 58): Para tamaños medianos.

Considerando que las sufrideras del tipo a son de tamaño grande, es aconsejable que el tratamiento térmico a baja dureza, se realice antes del mecanizado para evitar las deformaciones posteriores al temple y el necesario rectificado.

1.3.2.2.4 Placa porta punzones.

La finalidad de la placa porta punzones es la de alojar y fijar en su interior todos los punzones que lleve la matriz. Estos punzones pueden ser de cualquier tipo o tamaño pero han de tener una sola característica en común: han de estar sujetos y guiados en el interior de dicha placa impidiendo que puedan moverse o desprenderse. **(Fig. 1.14)**

La fijación y posicionamiento del porta punzones a la base superior se hace por medio de tornillos y pasadores, teniendo especial cuidado en guardar un total paralelismo y perpendicularidad entre los punzones y sus respectivos alojamientos en la placa guía.

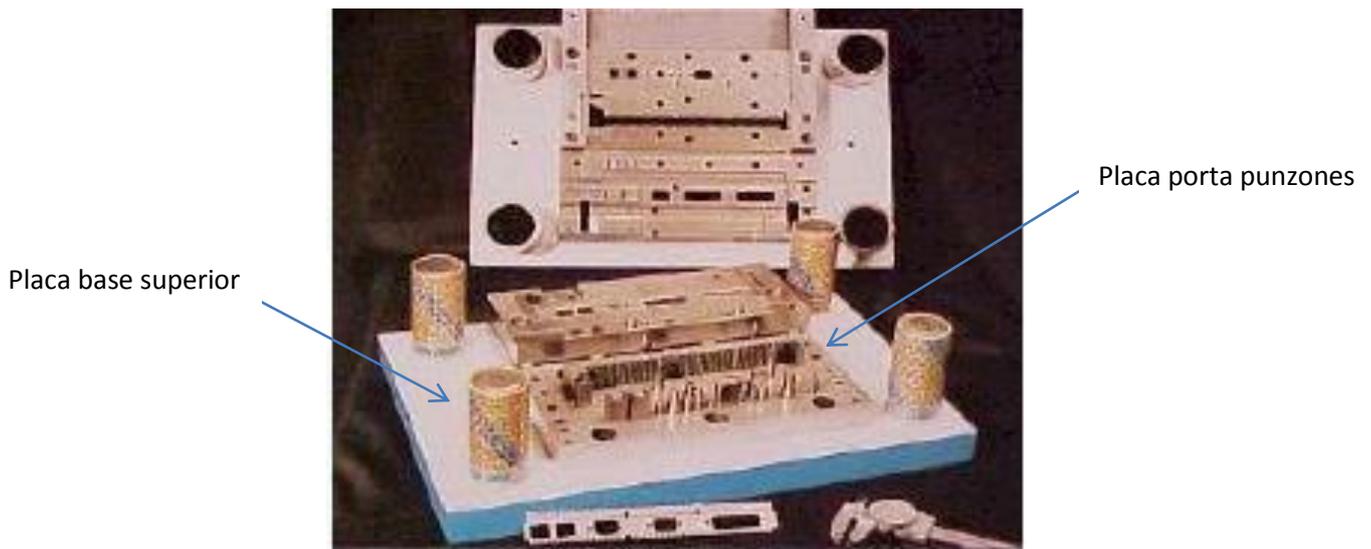


Fig. 1.14 Placa porta punzones de una matriz progresiva

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 89

Para matrices de gran tamaño, no es aconsejable utilizar un solo porta punzones de grandes dimensiones sino varios de menor tamaño (**Fig. 1.15**) que facilitarán su construcción y mantenimiento. Siempre es más aconsejable, disponer de varios porta punzones adaptados al tamaño de los punzones con lo cual se facilita su posterior montaje y desmontaje cada vez que se manipule la matriz.



Fig. 1.15 Varias Placas porta punzones individuales.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 90

Pese a la gran exactitud que han de tener los vaciados donde se han de alojar los punzones, así como un buen control geométrico y dimensional, el porta punzones nunca se somete a tratamiento térmico de temple y revenido, pues, en ningún caso ha de soportar desgaste por rozamiento o fatiga.

Los materiales más adecuados según norma UNE son:

- a) F- 114 / F- 522 Para placas de tamaño pequeño
- b) F- 112 Para placas de tamaño mediano
- c) F- 111 Para placas de tamaño grande.}

1.3.2.2.5 Placa guía punzones o prensa chapas.

La placa guía punzones ejerce tres funciones muy importantes; 1ª guiar los punzones, 2ª pisar la banda y 3ª extraer la banda de los punzones después de cortar. Con estas tres premisas mencionadas se evita el pando de los punzones, las ondulaciones de la banda y la extracción de esta de los punzones.

Una vez cortada la chapa, la misión del prensa chapas es mantenerla plana hasta que los punzones hayan salido de ella, de lo contrario, los punzones la arrastrarán hacia arriba y quedará sujeta a ellos, con el riesgo de rotura que ello comporta. **(Fig. 1.16)**

En matrices con producciones elevadas, es aconsejable que la zona del pisador en contacto con la chapa se haga con un postizo templado, de manera que no llegue a marcarse y sea de fácil mantenimiento.

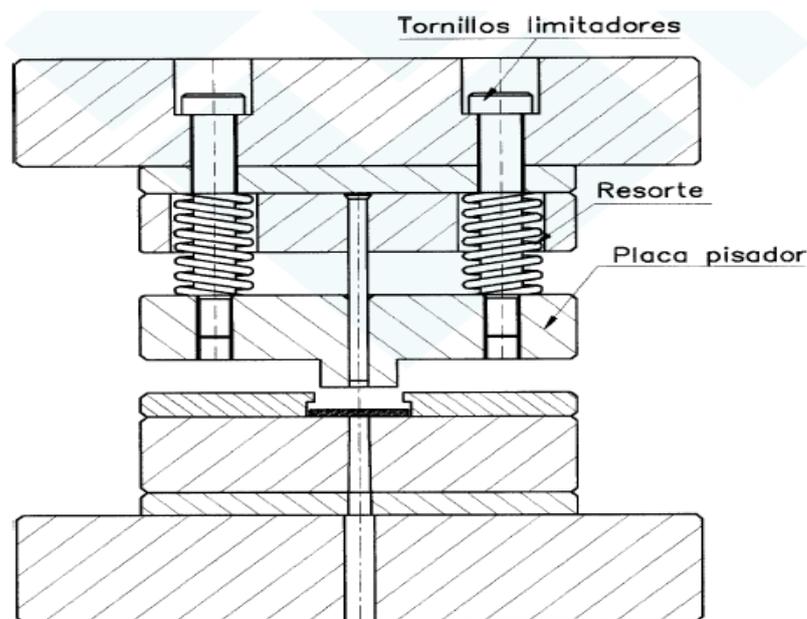


Fig. 1.16 Matriz con placa prensa chapas en procedimiento básico de perforado.
Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág.

Existen variadas formas sobre la construcción de las placas pisadoras, puesto que estos elementos no tienen una normativa de carácter universal capaz de ser válida para todo tipo de matriz. Cada situación requiere su propia valoración y en función de ello se ha de diseñar y dimensionar la placa.

Medidas y tolerancias de acabado:

1. Espesor aconsejable: $e = 0.4 \times h$

Siendo: e = Espesor de la placa

h = Altura del punzón

2. Planitud $\leq 0.005\text{mm}$ por 100mm en la cara de pisado
3. Perpendicularidad de $\leq 0.005\text{mm}$ entre cara de pisado y punzones
4. Ajuste H7/g6 para guía y punzones
5. Fuerza de extracción (entre 7 y 10% de la fuerza de corte)

La fuerza que el pisador ejerce sobre la banda la se consigue por medio de muelles o resorte que van montados sobre su cara superior. El montaje de los muelles se realiza de varias formas distintas que son perfectamente fiables y correctas. **(Fig. 1.17)**

La diferencia entre la placa puente y la placa pisadora radica en que la segunda si que mantiene la chapa presionada durante toda la fase de trabajo de la matriz, mientras que la primera no lo hace en ningún momento.⁴

⁴ Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico.

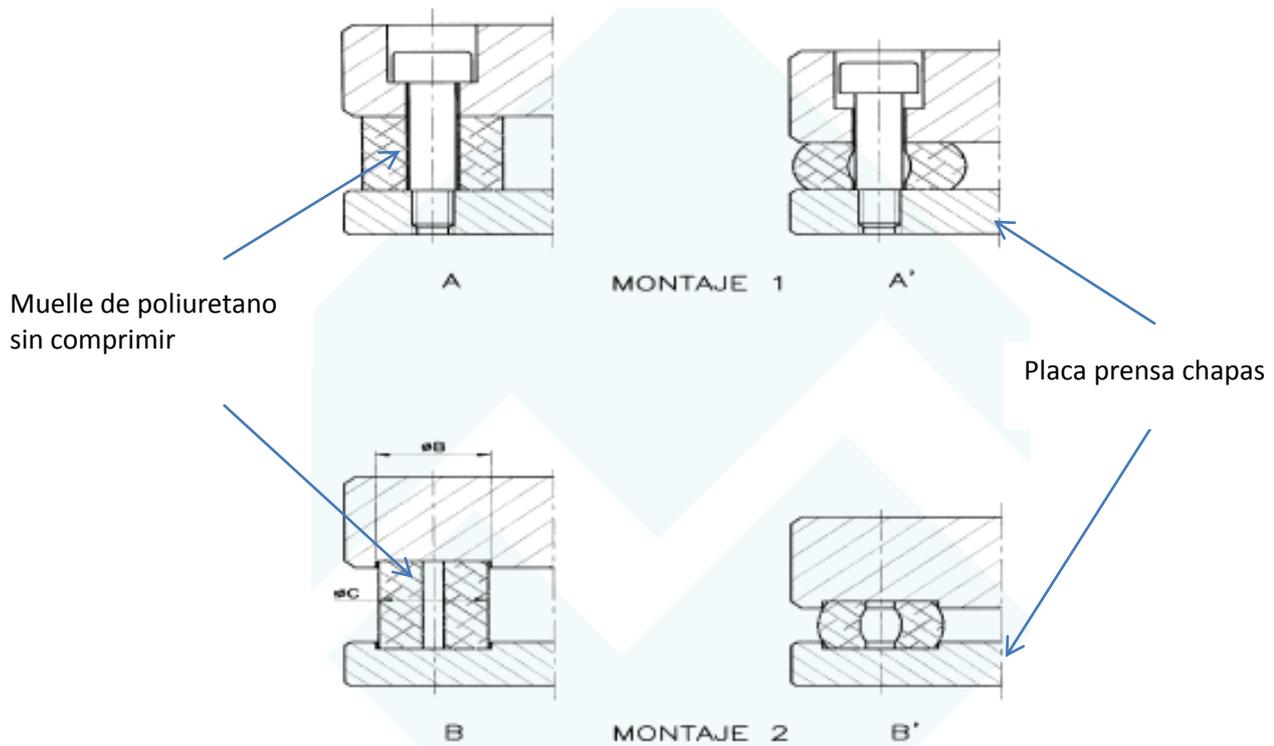


Fig. 1.17 Montaje de muelles en placas prensa chapas.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 95

Los materiales más aconsejables según norma UNE para la correcta fabricación de las placas prensa chapas son:

- a) F- 114 o F- 522: Para placas de tamaño pequeño
- a) F-114 o F-112: Para placas de tamaño mediano
- b) F-112 o Fundición: Para placas de tamaño grande

1.3.2.2.6 Placa porta sufridera o porta matrices.

La placa porta matrices o cajera tiene por misión alojar y posicionar en su interior todos los postizos o segmentos de pequeñas dimensiones que lleve la propia matriz, de esta manera dichos componentes quedarán ajustados en su interior.

Con ello se pretende conseguir una matriz donde los elementos sujetos a desgaste o roturas sean de un tamaño reducido y fácil de sustituir, al mismo tiempo se pueden construir con un material o tratamiento más adecuado de acuerdo a su aplicación.

Se entiende por tanto, que dicha placa porta matrices, no necesitará de un tratamiento térmico puesto que no estará sujeta a contacto directo entre los punzones y la chapa. **(Fig. 1.18)**. El proceso de trabajo de la placa matriz o cajera se reduce a alojar en su interior todos los segmentos o postizos de la matriz, todos ellos deberán estar sujetos y posicionados adecuadamente de forma que no puedan moverse o desplazarse en ningún caso.

Sólo en casos muy concretos de poca producción, la placa porta matrices se convertirá directamente en placa matriz para que después de un tratamiento térmico adecuado pueda ser utilizada para realizar directamente sobre su superficie las transformaciones que sean necesarias.

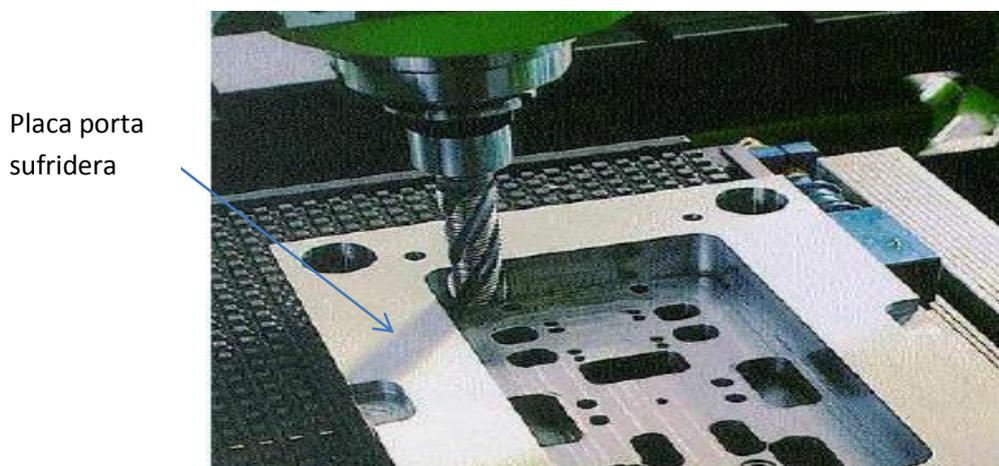


Fig. 1.18 Maquinado de una cajera para matriz de corte en CNC.
Fuente. Montalvo Diego

Las medidas de anchura y longitud de una placa matriz van en función de las magnitudes y separaciones de las figuras que lleve en ella. Como norma orientativa se puede decir que la separación mínima desde el rebaje de la cajera hasta cualquiera de sus caras externas será de 2 veces aproximadamente su propio espesor.

Como medidas orientadoras se puede decir que pueden oscilar entre 40 y 80 mm y que siempre dependerán del tamaño, de los esfuerzos que deba soportar y del criterio del proyectista.

Materiales de construcción, según la norma UNE:

- a) F- 112 Para placas de tamaño grande

- a) F- 114 Para placas de tamaño mediano
- b) F-522 Para placas de tamaño pequeño

En el caso de matrices o placas matrices hechas para cortar directamente sobre su superficie los materiales más apropiados según la norma UNE pueden ser:

- a) F- 522 Tem. y Rev. HRc. 60-62, matrices de poca producción.
- b) F- 521 Tem. y Rev. HRc. 60-62, matrices de mediana producción.
- c) 1.3344 Tem. y Rev. HRc. 62-64, matrices de alta producción.
- d) Carburo de Tungsteno, Matrices de gran producción.

1.3.2.2.7 Punzones.

En general los punzones son pequeñas herramientas de formas sencillas que sirven para agujerear, cizallar, cortar, doblar o embutir las chapas. Por éste motivo su diseño y construcción tendrán que reunir las mejores condiciones de calidad y acabados para facilitar las transformaciones y la propia vida de la matriz. **(Fig. 1.19)**

El punzón o punzones de cualquier matriz son los elementos más característicos de todos los troqueles, otro de los más importantes son la matriz o matrices de dar forma, todos ellos, son los encargados de las transformaciones y de dar las formas a las piezas que se matrizan.

El perfil de los punzones cortantes que lleve la matriz siempre serán igual a la geometría de las piezas que han de fabricar, pero tanto en estos como en los de doblar o embutir deberán dimensionarse de forma apropiada a las características de su trabajo.

Las características más importantes son:

- a) Buena sujeción y posicionamiento en la matriz
- b) Dimensionado acorde a las fuerzas a que está sometido
- c) Buenos materiales de construcción
- d) Adecuados tratamientos térmicos

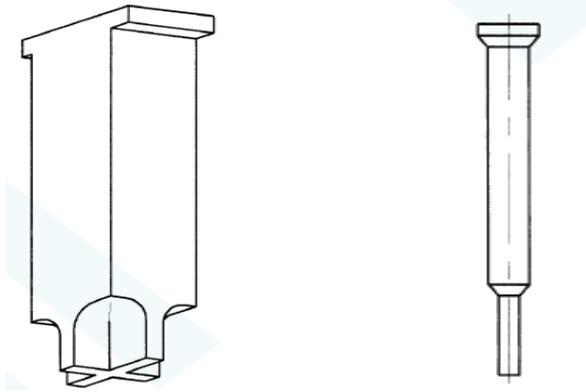


Fig. 1.19 Punzón de corte y perforado respectivamente.

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 104

Según la necesidad y el tipo de trabajo que se requiera hacer, la fabricación de punzones involucra una infinidad de procesos, así como de materiales, formas y características diferentes.

1.3.2.2.8 Sistemas de Guiado.

Las dos partes más importantes del troquel (superior e inferior) necesitan ser guiadas en todo momento para garantizar una total concentricidad entre ambas. Esta labor importante se deja en manos de varias columnas de guiado que van montadas en una de las partes y que se encargan de posicionarlas y centrarlas.

En la **Fig. 1.20 (a)** se puede ver un sistema de guiado mediante jaula de bolas y su casquillo correspondiente.

Este sistema de guiado se utiliza preferentemente en matrices de pequeño tamaño, que trabajan con altas velocidades y que las fuerzas que se produzcan en su interior sean lo más compensadas posibles.

En caso de que no se den estas circunstancias, las jaulas estarán sometidas a diferentes fuerzas laterales de trabajo que harán perder los rodamientos en poco tiempo.

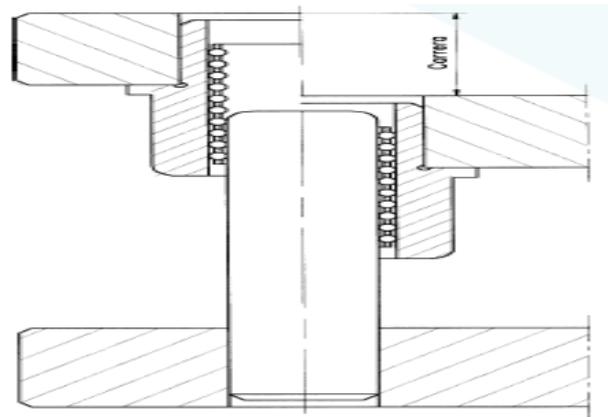
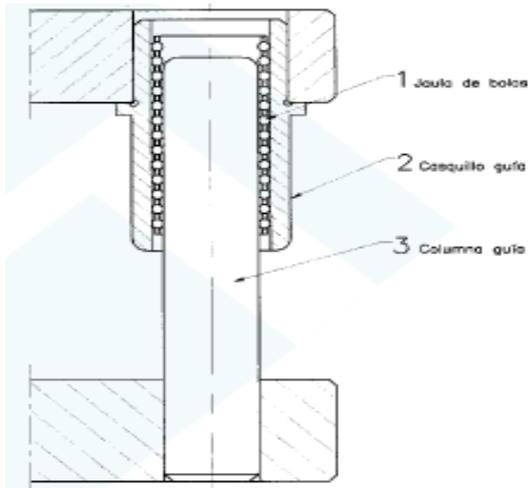


Fig. 1.20 (a) Jaula de Bolas posición estática

Fig. 1.20 (b) Jaula de bolas trabajando

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 122

En la **Fig. 1.20 (b)** se puede ver las dos posiciones de trabajo de la matriz; la primera con la matriz abierta y con la jaula precentrada en la columna guía, y la segunda con la matriz cerrada y la jaula guiada en toda la columna.

Las columnas y los casquillos guía se suele realizar con acero de cementación para templarlos a una dureza de HRc.60-62. Lo más habitual es comprarlos normalizados y montarlos en los armazones de las matrices.

En otras ocasiones los casquillos guía también se construyen en bronce fosforoso con o sin lubricación de tipo grafitado.

Los materiales utilizados según la norma UNE, son:

- Columnas y casquillos: Acero F155 Cementados, templado y revenido HRc 60-62
- Casquillos guía: Bronce o bronce con grafito
- Jaulas de bolas: Acero, aluminio o bronce

1.3.2.2.9 Elementos de sujeción y posicionamiento.

Se puede decir que durante la operación de conformado de la matriz (cortar, doblar, embutir, aplanar, etc.), los elementos activos de la matriz han de estar debidamente sujetos para que nada pueda moverse o desplazarse. En muchos casos existen

fuerzas no deseables que pueden actuar negativamente en contra del troquel y de las piezas, algunas de estas fuerzas son:

- a) Fuerzas longitudinales de compresión y tracción, las primeras originadas por la resistencia del material y las segundas al ser extraído este de los punzones.
- b) Fuerzas horizontales de expansión, originadas por el impacto de los machos sobre la matriz que tienden a desplazarla según la resultante de las diferentes fuerzas que actúan sobre ella.

1.3.2.2.9.1 Pasadores de posicionamiento.

Estos elementos son utilizados para posicionar e inmovilizar las piezas implicadas en los esfuerzos de expansión mencionados anteriormente; no obstante, en ciertos casos, estas fuerzas son muy elevadas y para asegurarse se encastará en una placa o cajera que hará las funciones de reacción. **(Fig. 1.21)**

De esta manera, no se obliga a los pasadores a soportar totalmente las fuerzas de expansión, sino que es la propia placa cajera la que se encarga de hacerlo. En este detalle se puede apreciar la importancia que tiene el dimensionar adecuadamente el diámetro de los pasadores de posicionamiento.

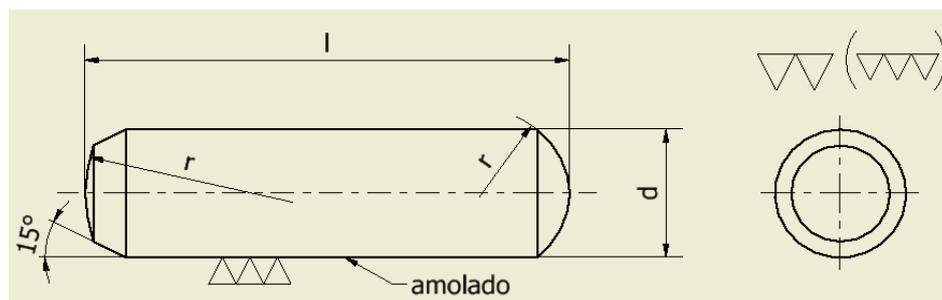


Fig. 1.21 Pasador cilíndrico DIN 6325.

Fuente. LOVATI, Piero, Artículos sobre matrices, pág. 135

Los pasadores cilíndricos de posicionamiento se encuentran normalizados en cualquier proveedor de normalizados. En todos los casos, su forma es casi la misma y los más comunes son dos:

- a) Pasadores cilíndricos DIN 6325

b) Pasadores cilíndricos DIN 7979 con rosca interior

Los primeros son los más generalizados, pudiéndose utilizar en cualquiera de los casos que se presenten, aunque en agujeros ciegos no se recomiendan pues es imposible su extracción.

Los del segundo grupo son ideales para posicionarlos en agujeros ciegos, pues en caso de necesidad pueden extraerse fácilmente atornillando un extractor en su rosca. Estos modelos han de tener un pequeño canal a lo largo de su generatriz para facilitar la salida de aire que se encierre en el agujero.

1.3.2.9.2 Tornillos de Fijación.

El tipo de tornillo más utilizado en matriceria es el tornillo Allen DIN 912 con hexágono interior y cabeza cilíndrica. La forma y dimensiones de estos tornillos están normalizadas, siendo este modelo y el de cabeza cónica los que mejor se adaptan a las necesidades de las matrices. **(Fig.1.22)**

Se fabrican en diferentes longitudes y los podemos encontrar en cualquier catálogo desde M3 a M22.

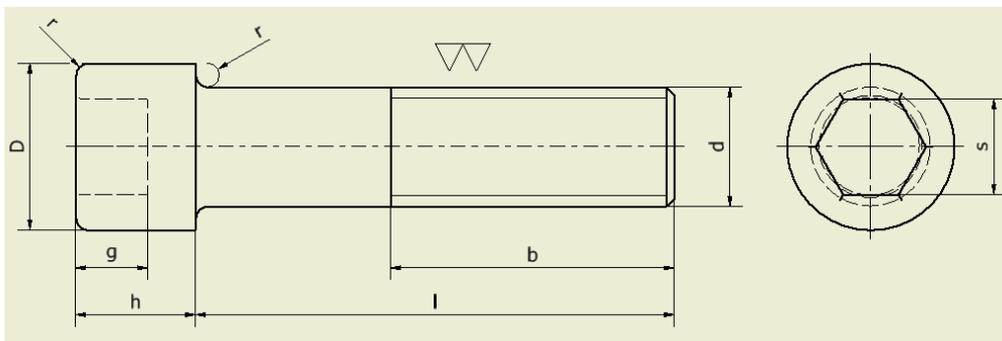


Fig. 1.22 Tornillo Allen DIN 912.

Fuente. LOVATI, Piero, Artículos sobre matrices, pág. 143

Son muy adecuados para resistir fuertes cargas de tracción y para ser montados en zonas de poco espacio. **(Fig. 1.23)**

Son fabricados por estampación en frío y laminado de rosca, y el material utilizado es un acero al carbono de 80 a 125 km/mm² de resistencia a la tracción.

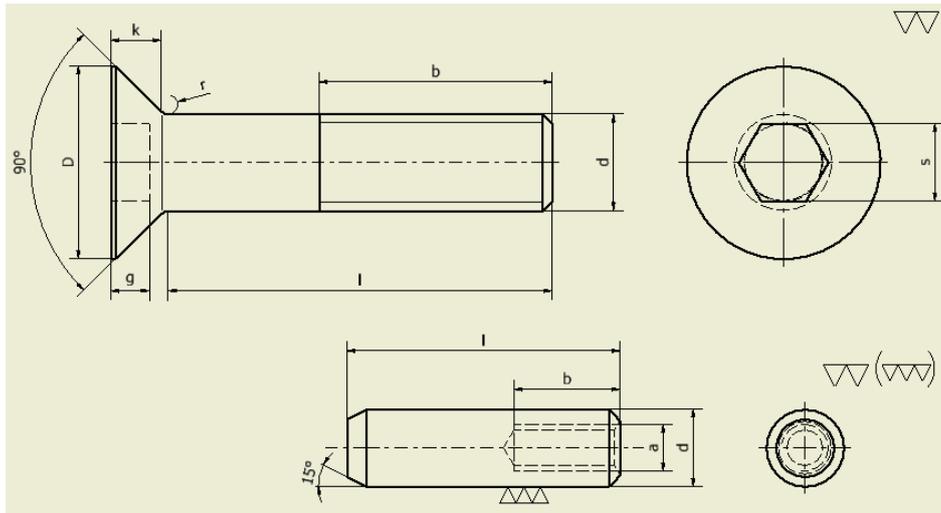


Fig. 1.23 Tornillo Allen de cabeza cilíndrica y cónica y de pasador cilíndrico con rosca interior
Fuente. LOVATI, Piero, Artículos sobre matrices, pág. 137

Para el proceso de conformado de metal, en matricería, se emplean varios métodos de fabricación, muchos de ellos dependientes de la forma o diseño de la matriz de conformado, sin embargo para poder realizar todo este proceso, es necesario la intervención fundamental de una fuerza externa, la cual solamente puede ser alcanzada mediante una máquina: prensa o troquel.

1.3.3 Troquel y Prensa.

Es una máquina herramienta en la que son puestas en acción las matrices para ejecutar varias operaciones de corte y formado. En la **Fig. 1.24** se observa que **A** es una gruesa placa de acero, llamada de solera, fijada al bastidor de la máquina. La matriz se sujeta firmemente sobre la placa de solera. La parte superior de la matriz se fija al carro o pisón **B** al cual un cigüeñal comunica un movimiento vertical alternativo.

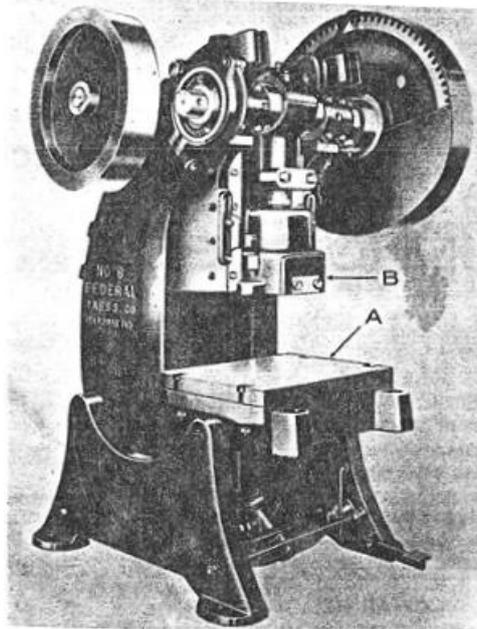


Figura 1.24 Troquel de punzón.

Fuente. ROSSI, Mario, Estampado en frío de la chapa, pág. 193

Cuando el material de la tira es impulsado a través de la matriz, los punzones superiores fijados al pisón de la máquina, obtienen las piezas de aquélla.

El sistema de potencia se refiere a la clase de fuerza que usa, ya sea mecánica o hidráulica, así como al tipo de transmisión empleada para enviar la potencia al pisón.

1.3.3.1 Prensas Hidráulicas

Las prensas hidráulicas tienen características por las cuales su acción es diferente de las correspondientes a las prensas mecánicas. En funcionamiento, el pisón se desplaza rápidamente hasta la pieza de trabajo, tiene un intervalo de detención controlado y retorna rápidamente. **(Fig. 1.25)**

Pueden regularse de modo que desarrollen una fuerza predeterminada al establecer contacto con la pieza. Cuando alcanzan esta fuerza, el pisón retrocede. Esta propiedad las hace de particular utilidad para operaciones de ensambladura en que la altura de la pieza de trabajo puede variar. Las características siguientes de las prensas hidráulicas las hacen particularmente adaptables para ciertos trabajos.

1. La máxima fuerza obtenible puede alcanzarse en toda la carrera del pisón.

2. La fuerza ejercida durante una parte de la carrera de trabajo puede ser predeterminada y ajustada exactamente.
3. La velocidad o ritmo de desplazamiento se puede ajustar de acuerdo con los requisitos de trabajo.
4. La carrera de trabajo se ajusta automáticamente según las exigencias.

Las prensas hidráulicas son especialmente apropiadas para ensambladura, marcado, dentado, conformación en frío, enderezamiento y operaciones análogas. Las prensas hidráulicas grandes son de uso común para operaciones de conformación y embutido.

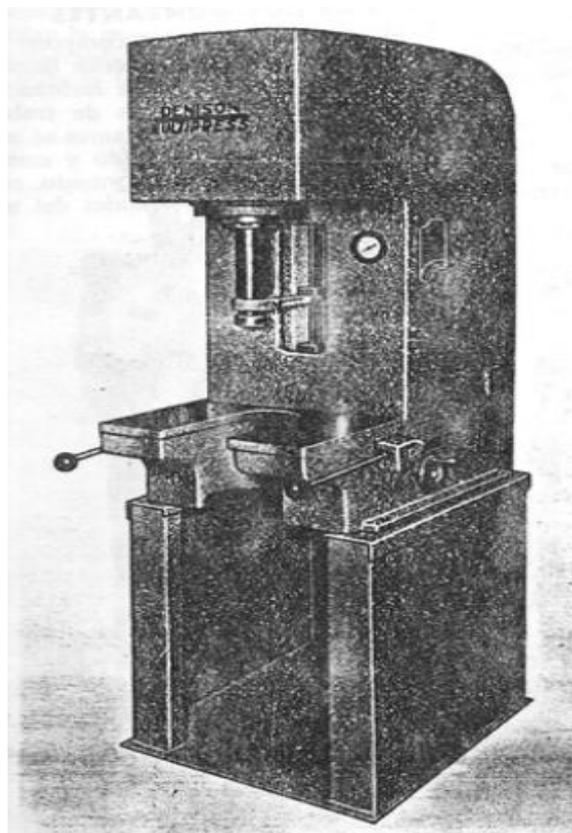


Fig. 1.25 Prensa hidráulica

Fuente. ROSSI, Mario, Estampado en frío de la chapa, pág. 200

1.3.3.1.1 Partes de la prensa hidráulica

En la **Fig. 1.26** se muestra la construcción de una prensa hidráulica de excéntrica. Obsérvese que la base es el depósito del fluido hidráulico (1). Un motor montado en la parte superior (2) derecha impulsa directamente a una bomba situada inmediatamente debajo de él (3) para transferir el fluido a la cara superior o a la cara inferior del pistón o émbolo situado en la parte superior izquierda (4). El émbolo es

el pistón de la prensa. Cuando el líquido es impulsado al cuerpo de bomba superior el pistón baja, y cuando es impulsado a la parte inferior, sube.

El sentido de circulación del líquido y su presión son controlados por válvulas hidráulicas.

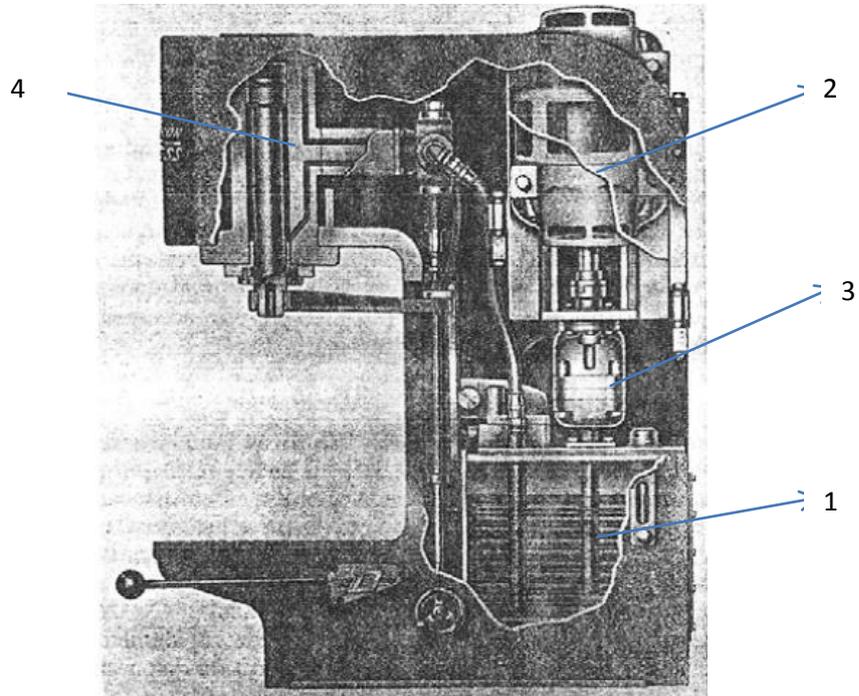


Fig. 1.26 Corte de una prensa hidráulica

Fuente. ROSSI, Mario, Estampado en frío de la chapa, pág. 210

CAPÍTULO II

ALTERNATIVAS PARA EL DISEÑO.

Tomando en cuenta que el principio de deformación de una varilla de diámetro 10mm, en acero A1018, según norma AISI/SAE, se va a realizar mediante la fuerza de un troquel de 100 Toneladas, los parámetros de diseño se van a enfocar en la selección de los materiales y tratamientos térmicos necesarios para un correcto funcionamiento de la máquina.

La forma y dimensiones de las cabezas y arandelas a conformar en las varillas vienen dadas bajo especificaciones técnicas de las mismas casas automotrices, por lo que no es necesario un análisis de diseño para dichas características, sin embargo se debe cumplir con las tolerancias exigidas por cada parte. Para poder controlar estas características se va hacer uso de calzos formadores según el modelo de cada gancho.

Por tal motivo se van a seleccionar entre un grupo de tres alternativas la más idónea para dicho requerimiento, esto debe implicar reducción de costos, tiempos de producción más cortos, el menor esfuerzo físico por parte del operario, exigencias de mantenimiento continuo y el constante cambio de partes mecánicas por desgaste o por falla.

2.1 DESCRIPCIÓN DE ALTERNATIVAS.

Se incluyen tres alternativas de diseño y se va a seleccionar la más idónea según la exigencia del trabajo. Dentro del requerimiento se analizaron varios factores de selección en los que por sus características se seleccionó las siguientes alternativas.

- Matriz de conformado con mordazas de sujeción hidráulica y calzos formadores.
- Matriz de conformado mediante mordazas cónicas accionadas por el efecto de compresión de resortes transmitida por la misma fuerza del troquel.
- Matriz de conformado mediante calzos formadores progresivos, con deformación simultanea por golpe.

2.1.1 Alternativa 1.

Matriz de conformado con mordazas de sujeción hidráulica y calzos formadores.

Un sistema hidráulico es un conjunto de varios elementos que ejecutan una función específica en su actuar, cada uno de estos ocupa un lugar indispensable para el accionamiento del otro.

Los elementos que resaltan en un sistema hidráulico, son los cilindros actuadores, válvulas, bombas, tanques, etc.

La inclusión de un sistema hidráulico, implica conexiones eléctricas, el fluido motriz, que por lo general suele ser aceite, que son factores indispensables en el correcto funcionamiento de estos sistemas.

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. En la **(Fig. 2.0)** se representa el movimiento típico de un pistón dentro del cilindro gracias a la energía proporcionada por un sistema hidráulico formado por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización.

Dentro de estos sistemas se encuentran los motores hidráulicos con velocidades que abarcan desde 0,5 rpm hasta 10.000 rpm y el par que proporcionan va desde 1 Nm (baja velocidad) hasta 20.000 Nm (alta velocidad).

Los sistemas hidráulicos se aplican típicamente en dispositivos móviles tales como maquinaria de construcción, excavadoras, plataformas elevadoras, aparatos de elevación y transporte, maquinaria para agricultura y simuladores de vuelo.

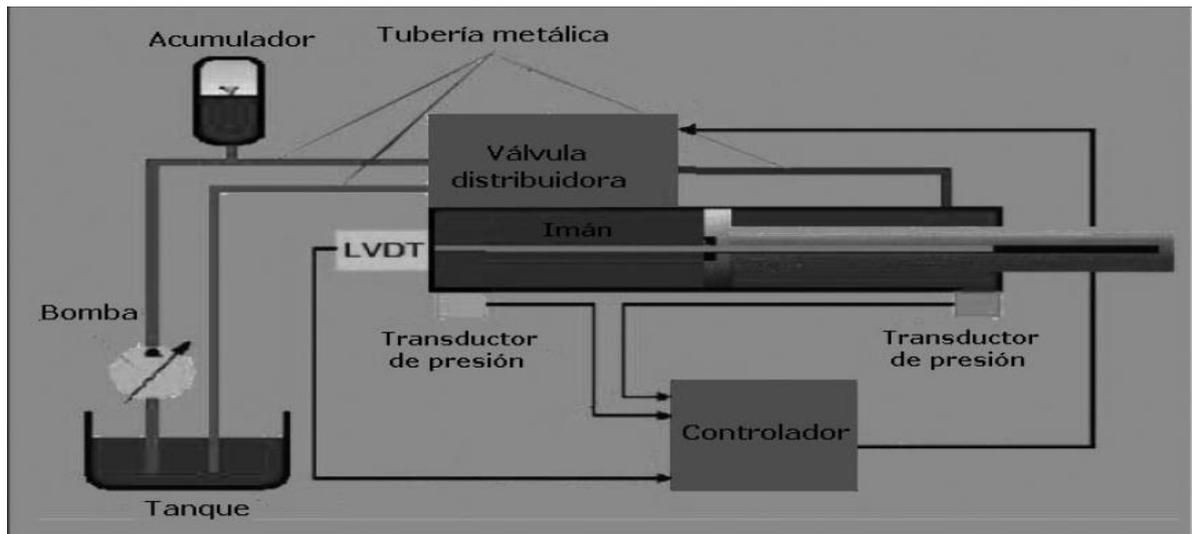


Fig. 2.0 Circuito típico de un pistón dentro del cilindro en un sistema hidráulico

Fuente. [http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714206-](http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714206-Neum%C3%A1tica_e_hidr%C3%A1ulica/primer_capitulo_neumatica_e_hidraulica.pdf)

[Neum%C3%A1tica_e_hidr%C3%A1ulica/primer_capitulo_neumatica_e_hidraulica.pdf](http://www.marcombo.com/Descargas/9788426714206-Neum%C3%A1tica_e_hidr%C3%A1ulica/primer_capitulo_neumatica_e_hidraulica.pdf)

Sus aplicaciones en dispositivos fijos abarcan la fabricación y montaje de máquinas de todo tipo, líneas transfer, aparatos de elevación y transporte, prensas, máquinas de inyección y moldeo, máquinas de laminación, ascensores y montacargas.

Tienen las siguientes ventajas:

Gran potencia transmitida con pequeños componentes, posicionamiento preciso, arranque con cargas pesadas, movimientos lineales independientes de la carga ya que los líquidos son casi incompresibles y pueden emplearse válvulas de control, operación suave e inversa, buen control y regulación y disipación favorable de calor.

Y entre sus desventajas figuran:

Polución del ambiente con riesgo de incendio y accidentes en el caso de fuga de aceite, sensibilidad a la suciedad, peligro presente debido a las excesivas presiones, dependencia de la temperatura por cambios en la viscosidad.

Análogamente a los sistemas neumáticos, los sistemas hidráulicos se complementan con los eléctricos y electrónicos mediante dispositivos tales como válvulas solenoide, señales de realimentación de interruptores magnéticos, sensores e interruptores eléctricos de final de carrera. Es fácil, en particular en sistemas complejos, acoplarles un PLC (programmable logic controller) que les permite programar la lógica de funcionamiento de varios cilindros.

En determinadas aplicaciones, tales como en movimientos de aproximación rápido y avance lento, típicos de las fresadoras y rectificadoras, en la sujeción de piezas utilizada en los cortes a alta velocidad sobre materiales duros y en la automatización de procesos de producción, se combinan los sistemas neumático, hidráulico y eléctrico en la forma siguiente:

- *Circuito electroneumático* – Accionamiento eléctrico – Actuador neumático.
- *Circuito oleoneumático* – Accionamiento neumático – Actuador hidráulico.
- *Circuito electrohidráulico* – Accionamiento eléctrico – Actuador hidráulico.

2.1.2 Alternativa 2.

Matriz de conformado mediante mordazas cónicas accionadas por el efecto de compresión de resortes transmitida por la misma fuerza del troquel.

El efecto de impacto generado por el troquel, aplica una fuerza de 100 Ton, por golpe, si se puede utilizar esta misma fuerza de deformación, como fuerza de sujeción, se estaría disminuyendo un paso en todo el proceso, para esto se deberán utilizar mordazas cónicas con la idea de que las mismas se desplacen en un acople liso, con la forma del cono.

El golpe del troquel deberá dividirse en dos pasos, el primero que accionará una prensa chapa que empujará las mordazas cónicas dentro de su acople liso, al mismo tiempo que deberán accionarse unos muelles de compresión, los cuales deberán comprimirse al punto de permitir que se active el segundo paso, el mismo deberá permitir que descienda el calzo formador y se pueda generar la deformación de la varilla sin que la misma se desplace o resbale. Todo esto deberá producirse con cada golpe del troquel.

El uso y selección de los muelles de compresión, es el punto más crítico dentro de esta alternativa, puesto que si no se elige los muelles correctos, no se generara la presión necesaria, y por ende la varilla se puede desplazar lo cual generaría que la varilla no se pueda conformar según las exigencias requeridas.

Se conoce como resorte o muelle a un operador elástico capaz de almacenar energía y desprenderse de ella sin sufrir deformación permanente cuando cesan las

fuerzas o la tensión a las que es sometido, en la mecánica. Son fabricados con materiales muy diversos, tales como acero al carbono, acero inoxidable, acero al cromo-silicio, cromo-vanadio, bronce, plástico, entre otros, que presentan propiedades elásticas y con una gran diversidad de formas y dimensiones. **(Fig. 2.1)**

Se les emplean en una gran cantidad de aplicaciones, desde cables de conexión hasta disquetes, productos de uso cotidiano, herramientas especiales o suspensiones de vehículos. Su propósito, con frecuencia, se adapta a las situaciones en las que se requiere aplicar una fuerza y que esta sea retornada en forma de energía. Siempre están diseñados para ofrecer resistencia o amortiguar las sollicitaciones externas.



Fig. 2.1 Varios tipos de resortes o muelles.

Fuente. http://resortesyaccesorios.com.mx/177582_RESORTES-DE-COMPRESION.html

De acuerdo a las fuerzas o tensiones que puedan soportar, se distinguen tres tipos principales de resortes:

- Resortes de tracción: Estos resortes soportan exclusivamente fuerzas de tracción y se caracterizan por tener un gancho en cada uno de sus extremos, de diferentes estilos: inglés, alemán, catalán, murciano, giratorio, abierto, cerrado o de dobles espira. Estos ganchos permiten montar los resortes de tracción en todas las posiciones imaginables.

- Resortes de compresión: Estos resortes están especialmente diseñados para soportar fuerzas de compresión. Pueden ser cilíndricos, cónicos, bicónicos, de paso fijo o cambiante.
- Resortes de torsión: Son los resortes sometidos a fuerzas de torsión (momentos).

Existen muelles que pueden operar tanto a tracción como a compresión. También existen una gran cantidad de resortes que no tienen la forma de muelle habitual; quizás la forma más conocida sea la arandela grower.

El análisis de selección de los resortes depende de muchos factores, de los que se resaltan:

- Material.
- Diámetro exterior, como diámetro de espira.
- Longitud, comprimida y libre.
- Área de sección transversal.
- Tipo o forma.
- Numero de espiras.
- Paso libre.
- Factores de diseño, etc.

2.1.3 Alternativa 3.

Matriz de conformado mediante calzos formadores progresivos, con deformación simultánea por golpe.

Se entiende por transformación progresiva, la serie de operaciones sucesivas que realiza una matriz para transformar una chapa plana, una tira, o una cinta, en un objeto o pieza con una forma geométrica propia.

Un trabajo o transformación progresivo realizado con una matriz, comprende un mínimo de dos fases o pasos, en los cuales pueden hacerse todo tipo de deformaciones de la chapa como por ejemplo: cortar, doblar, etc. con la única

limitación real del espacio disponible que exista en la matriz de acuerdo sus medidas. **(Fig. 2.2)**

La capacidad productiva en éste tipo de matrices y en piezas de pequeño tamaño puede llegar a ser de hasta 1600 golpes por minuto. Ello obliga a realizar un diseño muy esmerado y meticulado además de una construcción precisa y de calidad garantizando un buen acabado de las piezas fabricadas y la durabilidad de las mismas.

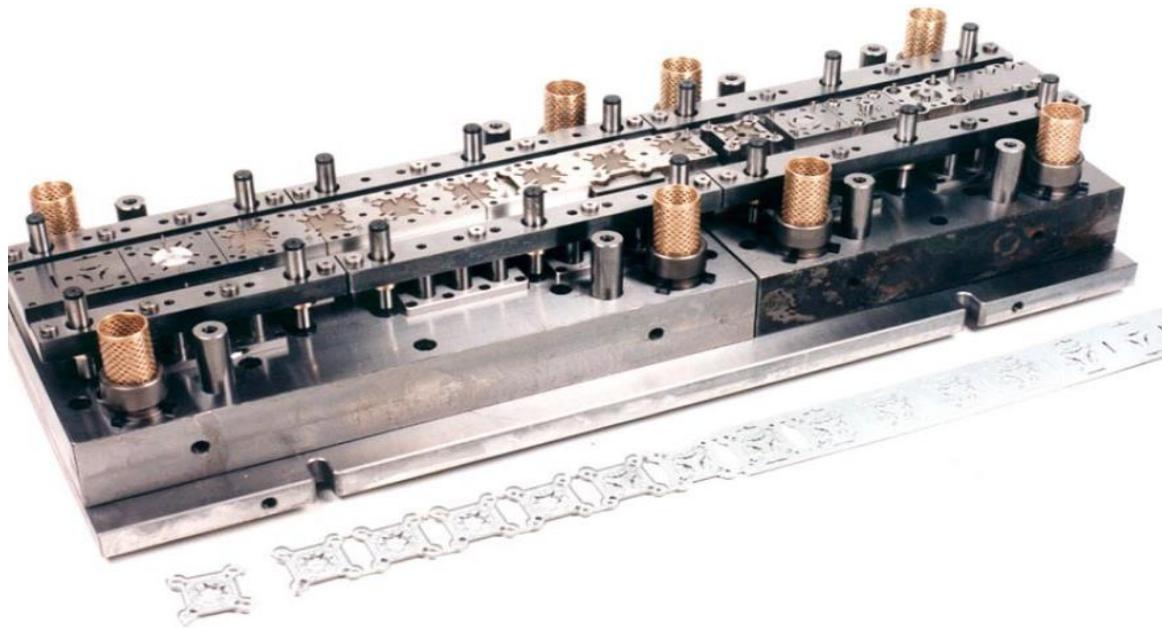


Fig. 2.2 Matriz progresiva

Fuente. Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico, pág. 268

Las matrices mixtas o progresivas permiten fabricar piezas sin limitación de formas o perfiles siempre que dichas operaciones puedan hacerse mediante punzones con movimientos verticales, horizontales o inclinados, aunque las piezas tengan algunas de sus partes cortadas, dobladas, embutidas o cizalladas.⁵

En la mayoría de casos en que se realicen operaciones de embutición en matrices progresivas, éstas, probablemente, también llevarán elementos cortantes con el fin de vaciar de material el perímetro exterior de la zona donde se ha de embutir la pieza.

⁵ Seminario sobre tecnología de matrices 2, Fundación ASCAMM, Centro Tecnológico.

Éste vaciado, se realiza con el fin de disminuir el contorno perimetral de material que permanece unido alrededor de la pieza y con ello facilitar su fluidez hacia el interior de la matriz, en el momento de ser embutido. De no hacerse así, podría provocarse una retención excesiva del material en el contorno cercano a la embutición que ocasionaría su rotura e impediría la embutición de la pieza.

Las operaciones de embutición hechas en matrices progresivas, acostumbran a presentar una gran dificultad debido al elevado número de factores que afectan durante su transformación.

Es importante, que la construcción de la matriz se haga de forma que las zonas de corte y embutición (placas y punzones) sean independientes entre sí y de fácil mantenimiento, de manera que la rotura de alguna de ellas no afecte a la otra.

2.2 ANÁLISIS DE ALTERNATIVAS.

Tomando en cuenta la información de las tres alternativas, se realiza un cuadro comparativo, poniendo en discusión factores muy importantes de selección, como es el caso económico, productivo y de diseño, para seleccionar la opción más idónea a la hora de fabricación. **Tabla. 2.0.**

Criterios	Ponderación	Alternativas		
	%	1	2	3
Rapidez en el proceso	15	15	8	5
Sujeción firme	15	15	8	5
Desgaste de partes críticas	10	10	3	0
Facilidad de operación	10	10	5	0
Mantenimiento	15	12	15	5
Facilidad de construcción	10	10	5	0
Menor costo	15	5	15	10
Facilidad de diseño	10	5	10	0
TOTAL	100%	82	69	25

Tabla 2.0. Selección de diseño de matriz de conformado.

Fuente. Montalvo Diego

2.2.2 Resultados de Selección.

ALTERNATIVAS	PORCENTAJE
ALTERNATIVA 1	82%
ALTERNATIVA 2	69%
ALTERNATIVA 3	25%

Tabla 2.1. Análisis de resultados.
Fuente. Montalvo Diego

Según los resultados finales, mostrados en la **Tabla 2.1**, se demuestra que la opción más beneficiosa para el desarrollo de la matriz es la alternativa 1, ***“Matriz de conformado con mordazas de sujeción hidráulica y calzos formadores”***.

CAPÍTULO III

CÁLCULOS Y DISEÑO

3. GENERALIDADES.

En este capítulo se enfocará el diseño de la matriz de conformado, según las características de requerimiento, enfocados en la selección de materiales para cada parte, elementos de fijación, análisis de deformación, circuitos hidráulicos y circuitos eléctricos. A la vez se respaldará la información del diseño con los diferentes cálculos para justificar la realidad del diseño de cada elemento y su factibilidad.

A la vez se indicaran los circuitos electro-hidráulicos necesarios para el correcto funcionamiento de la matriz y sea parte de un mejor desempeño de la misma.

3.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL DISEÑO DE LA MATRIZ.

Para el diseño de la matriz de conformado de varilla se ha dividido en tres partes principales para el diseño:

- Análisis de deformación para el acero de transmisión AISI 1018.
- Diseño de la matriz, involucrando selección de materiales elementos de sujeción, tratamientos térmicos, etc.
- Diseño de los circuitos electro-hidráulicos.

3.2 ANÁLISIS DE DEFORMACIÓN PARA EL ACERO DE TRANSMISIÓN AISI 1018.

3.2.1 Acero de transmisión AISI 1018.

Este acero de bajo - medio carbono tiene buena soldabilidad y ligeramente mejor maquinabilidad que los aceros con grados menores de carbono. Se presenta en

condición de calibrado (acabado en frío). Debido a su alta tenacidad y baja resistencia mecánica es adecuado para componentes de maquinaria.

- **Normas Involucradas.**

AISI	1018
SAE, ASTM, NMX	1018
UNS	G10180

- **Propiedades mecánicas.**

- Dureza 126 HB (71 HRb).
- Esfuerzo de fluencia 370 MPa (53700 PSI).
- Esfuerzo máximo 440 MPa (63800 PSI).
- Elongación máxima 15% (en 50 mm).
- Reducción de área 40%.
- Módulo de elasticidad 205 GPa (29700 KSI).
- Maquinabilidad 76% (AISI 1212 = 100%).

- **Propiedades físicas.**

Densidad 7.87 g/cm³ (0.284 lb/plg³)

- **Propiedades químicas.**

- 0.15 – 0.20 % C
- 0.60 – 0.90 % Mn
- 0.04 % P máx
- 0.05 % S máx

- **Características.**

Entre los aceros de bajo carbono, el 1018 es el más versátil por sus características; análisis controlado, mejores propiedades mecánicas que otros aceros del mismo tipo por su alto contenido de manganeso, buena soldabilidad, buena maquinabilidad. Cuando se requiere una superficie muy dura pero un centro tenaz, este acero

cementado cumple perfectamente. Estirado en frío mejora sus valores de resistencia mecánica y su maquinabilidad, haciéndose muy popular para un sin número de aplicaciones.

- **Aplicaciones.**

Se utiliza en la fabricación de partes para maquinaria; automotriz, línea blanca, equipo de proceso, etc.; que no estén sujetas a grandes esfuerzos. Por su ductilidad es ideal para procesos de transformación en frío como doblar, estampar, recalcar, etc... Sus usos típicos son flechas, tornillos, pernos, sujetadores, etc., ya cementado en engranes, piñones, etc.

- **Propiedades mecánicas mínimas estimadas según norma SAE J1397.⁶**

TIPO DE PROCESO Y ACABADO	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN			LIMITE DE FLUENCIA			ALARGAMIENTO EN 2" %	REDUCCIÓN DE ÁREA %	DUREZA BRINELL	RELACIÓN DE MAQUINABILIDAD 1212 EF= 100%
	Mpa (Kgf/mm ²)	Ksi		Mpa (Kgf/mm ²)	Ksi					
CALIENTE Y MAQUINADO	400	41	58	220	22	32	25	50	116	70
ESTIRADO EN FRIO	440	45	64	370	38	54	15	40	126	

Tabla 3.0 Propiedades mecánicas del Acero AISI 1018

Las propiedades enlistadas se tomaron de los certificados de calidad, que se encuentran con detalle en el anexo A del presente documento de investigación.

Con estos datos se van a realizar los cálculos necesarios para garantizar que la fuerza generada por el troquel de 100 Ton, es suficiente para obtener la deformación que se necesita para lograr la forma deseada en la varilla.

3.2.2 Análisis de deformación del acero AISI 1018.

“La mayoría de los materiales metálicos pueden conformarse mediante fuerzas exteriores sin perjudicar con ellas las relaciones del material. Esta conformabilidad de los metales se debe a que las series de átomos dentro de cada uno de los

⁶ Información otorgada en certificados de proveedor ACSER LOGISTIC, según requerimiento empresa AMEIXT.

cristales puede desplazarse entre sí al sobrepasar una determinada tensión límite, sin romper por ello la cohesión interna”.⁷

Dentro del análisis de recalado y prensado de cuerpos sencillos, intervienen una serie de factores que varían en función de características, tales como forma, dimensiones, materiales, acabados, tolerancias, entre otras, las cuales deben ser determinadas según la necesidad de requerimiento.

Como análisis inicial se debe partir de la forma y dimensiones exigidas por el cliente, las mismas que se indican en la hoja de inspección de producto enviada por General Motors OBB, la cual se detalla en el anexo B.

Las dimensiones con las que se va a partir los cálculos de recalado se indican en la **Figura 3.0**.

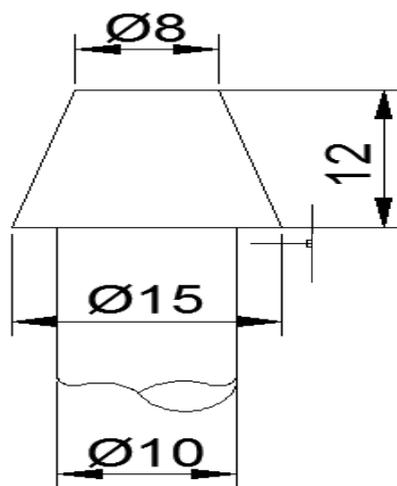


Fig. 3.0 Dimensiones de cabeza según requerimiento del cliente.
Fuente. Montalvo Diego

Datos.

$D= 15\text{mm}$

$d= 8\text{mm}$

$h= 12\text{mm}$

⁷ BILLIGMANN, Josef, Estampado y prensado a máquina, pág. 73

Tomando en cuenta que la forma final a obtener es un cono truncado, se va a partir de los datos que son entregados por requerimiento del cliente.

3.2.2.1 Cálculo de generatriz (g).

La generatriz es el segmento que unes dos puntos del borde de dos bases. (Fig. 3.1)

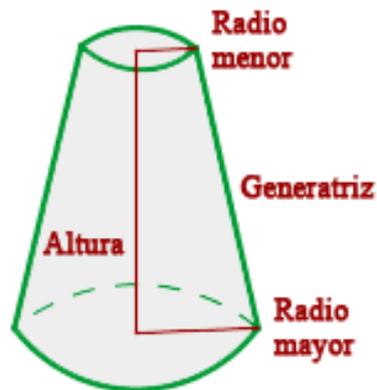


Fig. 3.1 Partes de un cono truncado.

Fuente. http://www.geoka.net/poliedros/cono_truncado.html

$$g = \sqrt{h^2 + (R - r)^2} \quad (\text{Ecuación 3.1})$$

$$g = \sqrt{12^2 + (7.5 - 4)^2}$$

$$g = \sqrt{156.25}$$

$$g = 12.5\text{mm}$$

3.2.2.2 Cálculo de Área del cono truncado.

$$A = \pi [g(R + r) + R^2 + r^2] \quad (\text{Ecuación 3.2})$$

$$A = \pi [12.5(7.5 + 4) + 7.5^2 + 4^2]$$

$$A = \pi [216]$$

$$A = 678.58\text{mm}^2$$

3.2.2.3 Cálculo del Volumen del cono truncado.

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot h(R^2 + r^2 + R + r) \quad (\text{Ecuación 3.3})$$

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot 12(7.5^2 + 4^2 + 7.5 + 4)$$

$$V = \frac{1}{3} \pi \cdot 12(102.25)$$

$$V = 1284.914 \text{mm}^3$$

3.2.2.4 Cálculo de altura de conformado a partir del volumen de llenado (h0).

El h0, es la altura necesaria para poder obtener la forma final deseada, de igual manera el d0, es el diámetro inicial de la varilla donde se va a realizar el recalado.

(Fig. 3.2)

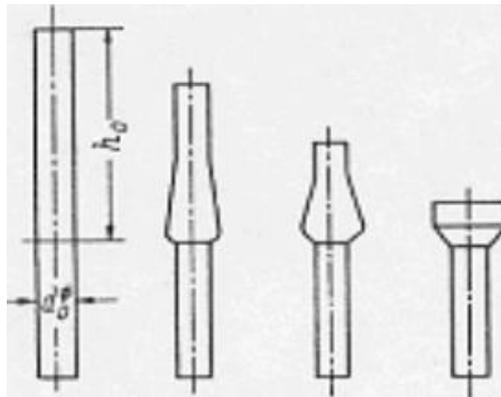


Fig. 3.2 Proceso de recalado en varias fases.

Fuente. BILLIGMANN, Josef, Estampado y prensado a máquina, pág. 149

- **Volumen del cilindro.**

$$V = A \cdot h \quad (\text{Ecuación 3.4})$$

$$V = \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \cdot h$$

$$1284.914 = \frac{10^2 \cdot \pi}{4} \cdot h$$

$$1284.914 \text{mm}^3 = 78.54 \text{mm}^2 \cdot h$$

$$h = \frac{1284.914}{78.54}$$

$$h = 17.35\text{mm} \approx 18\text{mm} \approx h_0$$

3.2.2.5 Cálculo de la relación de recalado.

$$s = \frac{h_0}{d_0} \quad (\text{Ecuación 3.5})$$

$$s = \frac{18}{10}$$

$$s = 1.8\text{mm}$$

3.2.2.6 Cálculo de la fuerza necesaria de recalado.

$$F_{max} = A_E \cdot K_{we} \quad (\text{Ecuación 3.6})$$

donde.

A_E , es la superficie comprimida.

K_{we} , es la resistencia real a la deformación, al final del recalado.⁸

$$F_{max} = A_E \cdot K_{we}$$

$$F_{max} = 678.58\text{mm}^2 \cdot 100K_p/\text{mm}^2$$

$$F_{max} = 67858.56 K_p \approx 67.8 \text{Ton}$$

Tomando en cuenta que se va a trabajar por recalado en frío, y con la fuerza de conformado ya determinada, otro factor muy importante para el desarrollo es la relación de recalado que determina, en primer lugar, en cuantas fases de trabajo puede obtenerse la forma deseada. En ello la forma de la cabeza en sí no tiene gran importancia.

⁸ BILLIGMANN, Josef, Estampado y prensado a máquina, (tabla 2.6), pág. 103

Para asegurar que el recalado se va a realizar en una sola fase de trabajo se indica que su relación de recalado máxima admisible debe ser de hasta 2.4 con lo que se asegura que no se van a formar pliegues en la disposición de las fibras en la pieza recalada.

De esta manera se deduce que para el proceso que se va a realizar es suficiente un conformado de una sola fase.

3.3 ANÁLISIS DE SUJECIÓN DE LA VARILLA.

Una vez analizada la fuerza necesaria para poder obtener el resultado deseado de conformado, es fundamental el sistema de sujeción de la varilla, para con ello evitar que la misma se puede resbalar o desplazar y por ende no permita obtener un correcto funcionamiento de la matriz.

Según los planos entregados por parte del cliente, General Motors OBB, los mismos que se detallan en el anexo C, se puede tomar en cuenta que cada gancho es diferente el uno del otro, esto implica que las longitudes de la varilla para conformado son distintas una de otra.

Esta variación de longitudes, obliga a que el diseño de la matriz sea de sufridera abierta, es decir que no puede existir un tope fijo, por ello se va a trabajar con mordazas de sujeción hidráulica, las mismas que usaran una fuerza la misma que deberá ser calculada a partir de la interacción de la fuerza de conformado.

Para poder calcular la fuerza de apriete o sujeción de la varilla se va a partir de la fuerza de conformado, $F_{max} = 67.8 \text{ Ton}$ y de un análisis de presión interna por superficie de contacto. **(Fig. 3.3)**

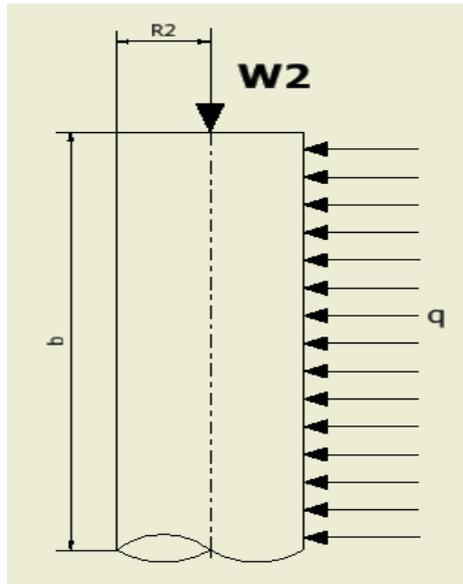


Fig. 3.3 Diagrama del cuerpo libre para la varilla en su área de sujeción.
Fuente. Montalvo Diego

Datos.

$$W_2 = 67858 K_p$$

$$b_1 = 60\text{mm} \text{ (superficie lineal de contacto, longitud de mordaza de apriete)}$$

$$R_2 = 5\text{mm} \text{ (radio de la varilla a conformar)}$$

3.3.1 Cálculo de la fuerza de apriete necesaria en la mordaza.

$$W_2 = \frac{q \cdot b_1^2}{2R_2} \quad \text{(Ecuación 3.7)}$$

$$67858 = \frac{q \cdot 60^2}{2(5)}$$

$$q = \frac{67858 K_p \cdot 10\text{mm}}{(60\text{mm})^2}$$

$$q = 188.5 K_p/\text{mm}$$

q = es la presión que se distribuye sobre la superficie de contacto de la mordaza, si lo que se desea obtener es la fuerza puntual se debe realizar el producto entre la magnitud lineal que define la superficie de contacto y dicha presión, así se obtiene que:

$$F_{ax} = q \cdot b_1 \quad (\text{Ecuación 3.8})$$

$$F_{ax} = 188.5 \text{ K}_p/\text{mm} \cdot 60\text{mm}$$

$$F_{ax} = 11310 \text{ K}_p \approx 11 \text{ Ton}$$

A partir de esta fuerza se va a determinar las dimensiones del cilindro hidráulico que será utilizado para el sistema de sujeción de la varilla.

3.3.2 Cálculos para diseño de cilindro hidráulico.

Para la fabricación del cilindro hidráulico que se necesita se va a tomar en cuenta las dimensiones arrojadas por los cálculos obtenidos a partir de la fuerza necesaria, sin embargo dichos valores, servirán únicamente como referencia al momento de seleccionar las dimensiones del cilindro, puesto que se debe trabajar con los materiales existentes en el mercado.

El principio de los cilindros hidráulicos es el tener un rendimiento que varía entre un 85 % y un 95 %.

La fuerza total F , que debe vencer el cilindro si se desprecia el rozamiento, depende principalmente de la presión del fluido y de la sección del émbolo.

$$F = P \cdot A \quad (\text{Ecuación 3.9})$$

Datos.

$$F = 11310 \text{ K}_{gf}$$

$$P = 2000 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \approx 1.41 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$A = \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$, donde D , es el diámetro interno del cuerpo del cilindro.

$d =$ diámetro del vástago.

$$F = P \cdot A$$

$$11310 \text{ Kg} = 1.41 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{D^2 \cdot \pi}{4}$$

$$11310 \text{ Kg} = 4.43 \frac{\text{kg} \cdot D^2}{4}$$

$$45240 \text{ Kg} = 4.43 \text{ kg} \cdot D^2$$

$$D^2 = 10235.3 \text{ mm}^2$$

$$D = 101.2 \text{ mm}$$

$$F_r = P \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot 0.9 \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

Donde,

$F_r =$ Es la fuerza de retorno del émbolo, la cual será la misma que la de extensión.

$$F_r = P \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot 0.9$$

$$P = 2000 \frac{\text{lb}}{\text{plg}^2} \approx 1.41 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$d =$ diámetro del vástago.

0,9 = Coeficiente de rozamiento de rodamientos, juntas y partes móviles del cilindro.

$$F_r = P \cdot \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4} \cdot 0.9$$

$$F_r = (D^2 - d^2) \cdot P \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.9$$

$$F_r = (106^2 - d^2) \cdot 1.41 \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.9$$

$$11310K_g = (11236mm^2 - d^2) \cdot 1.41 \frac{kg}{mm^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot 0.9$$

$$11310K_g = (11236mm^2 - d^2) \cdot 1.24 \frac{kg}{mm^2}$$

$$11310K_g = 13932.6kg - d^2 \cdot 1.24 \frac{kg}{mm^2}$$

$$d^2 \cdot 1.24 \frac{kg}{mm^2} = 13932.6K_g - 11310kg$$

$$d^2 \cdot 1.24 \frac{kg}{mm^2} = 2622.6 kg$$

$$d^2 = 2115 mm^2$$

$$d = 46 mm$$

Una vez calculados los datos del cilindro hidráulico, se enviarán al proveedor (NEUMAC), para su respectiva fabricación.

Los valores obtenidos servirán de referencia para la construcción, esto en función de los elementos que existen en el mercado, la variación de medidas variará entre más tres mm y menos un mm a los diámetros calculados, valores que no alteran significativamente la presión final calculada.

3.4 ANÁLISIS DE DISEÑO DE LA MATRIZ.

Una vez analizadas las fuerzas y esfuerzos que van a involucrarse en el desarrollo de la matriz de conformado, es necesario la selección de materiales de cada elemento tomando en cuenta el dimensionamiento, características técnicas, tratamientos térmicos, métodos de sujeción entre otros.

Es así que se va hacer un análisis independiente de las partes más importantes en el desempeño de la matriz.

3.4.1 Placa base.⁹

La necesidad de la base se justifica ya que va a estar sometida a grandes esfuerzos, hay que tener muy en cuenta que si se la fabrica relativamente delgada y se apoya directamente sobre la prensa, existe riesgo de rotura, y si se la hace muy robusta da lugar a un excesivo empleo de acero y dinero.

Las medidas de anchura y longitud de una placa base, varían y van en función de las magnitudes y separaciones de las figuras en ella talladas, así como de los espacios libres previstos para la posición y anclaje de elementos secundarios. Como norma orientadora se puede decir que para útiles sometidos a pequeños esfuerzos de trabajo, la separación mínima de las figuras mecanizadas en la placa matriz a los cantos correspondientes, no ha de ser inferior a 30mm, siendo muy utilizada las placas de espesores de 40 a 50mm

3.4.1.1 Material.

Para la función que debe cumplir la placa base se necesitara un acero suave al carbono, en el mercado local se puede contar con el ASTM-A36, el cual es un material que cumple con las características requeridas, más información sobre este material se puede analizar en el anexo D.

3.4.1.2 Forma y dimensiones.

La forma y dimensiones depende directamente de la matriz, hay que tomar en cuenta que la placa base es la que va a soportar toda la fuerza de impacto generado por el troquel, según la necesidad, la forma de la placa será rectangular y para las dimensiones, se puede establecer el espesor de placa requerida, en función de la ecuación 3.11, la cual ofrece un mínimo de espesor de requerimiento en función de la fuerza a la que va a estar sometida.

$$a = 0,6 * \sqrt[3]{F} \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

Dónde:

a= espesor de la placa matriz.

⁹ J. BLANCO A., Profundos conocimientos de matriceria, pág. 75.

$F =$ fuerza de corte, en kgf/mm^2

$$a = 0,6 * \sqrt[3]{F}$$

$$a = 0,6 * \sqrt[3]{67858.6}$$

$$a = 24.47 \text{ mm}$$

Por lo tanto el espesor mínimo recomendado es de 25 mm, sin embargo hay que tomar en cuenta que la base debe abastecer al cilindro hidráulico, por tanto las dimensiones deben ser mayores, por lo que el espesor de placa a utilizar será de 50mm, la cual se encuentra sin problema en el mercado.

Para garantizar que el material seleccionado, es el adecuado en función a las dimensiones de la placa se va a realizar un análisis, tomando en cuenta que se comporta como una viga a flexión, simplemente apoyada. El diagrama de distribución de carga se muestra en la **Figura 3.4**.

Datos.

$$F_{dis} = 67800 \text{ kgf}$$

$$h_{vig} = 50 \text{ mm}$$

$$b_{vig} = 280 \text{ mm}$$

$$L_{vig} = 350 \text{ mm}$$

Acero ASTM A-36

$$S_y = 40.76 \text{ Kgf/mm}^2$$

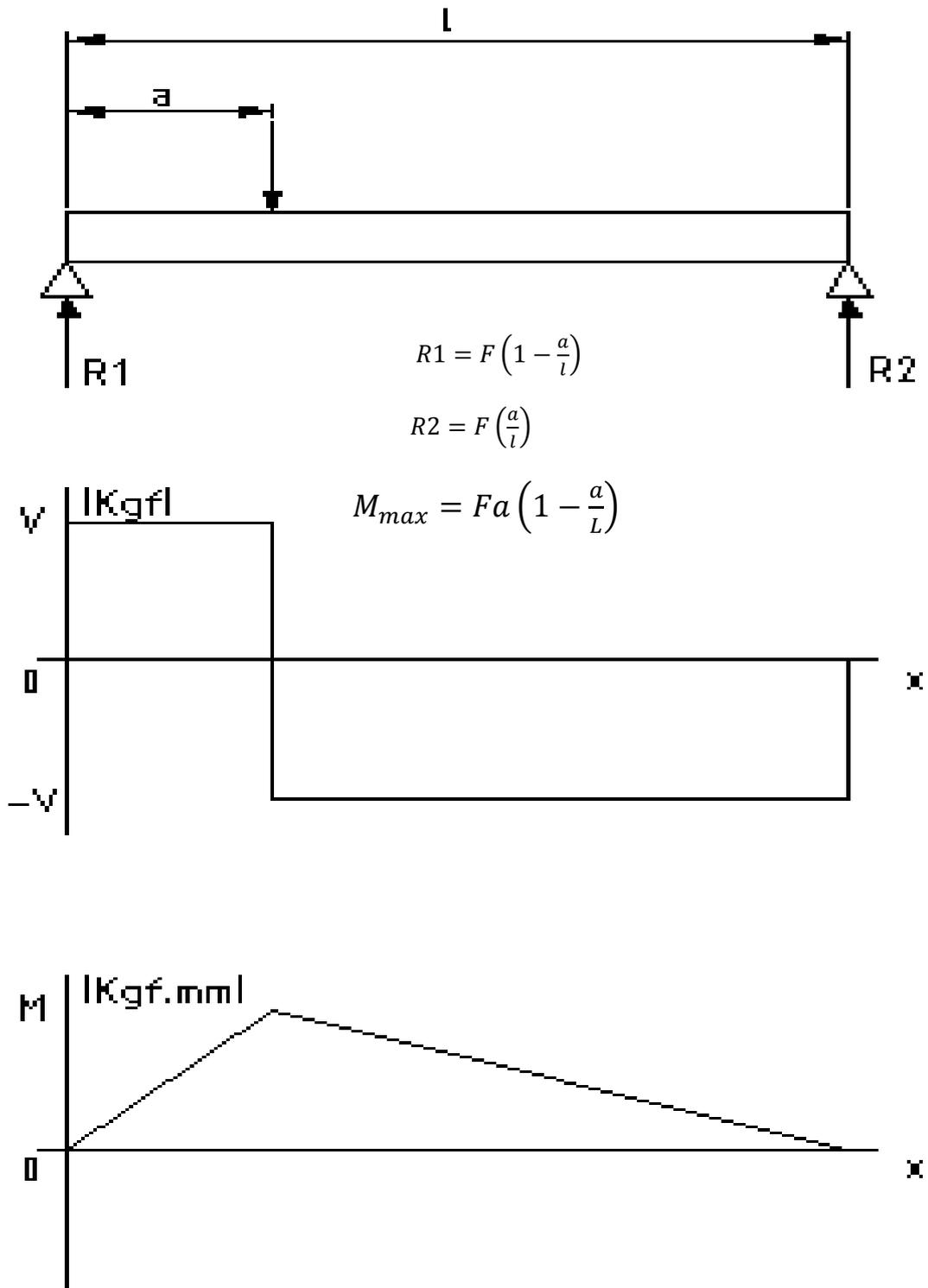


Fig. 3.4 Diagrama de distribución de carga de la viga principal, fuerza cortante y momento flector.

Fuente. Montalvo Diego

- Primero se debe determinar el Momento Flector.

$$M = Fa \left(1 - \frac{a}{L}\right) \quad (\text{Ecuación. 3.12})$$

$$M = 67800 \cdot 100 \left(1 - \frac{100}{350}\right)$$

$$M = 474600 \text{ Kgf} \cdot \text{mm}$$

El segundo momento de inercia de la placa base se calcula mediante la **ecuación 3.13**.

$$I = \frac{bv_{vig} \cdot hv_{vig}^3}{12} \quad (\text{Ecuación. 3.13})$$

$$I = 630000 \text{ mm}^4$$

C_{vig} , es la distancia desde la fibra neutra a la fibra más alejada de la sección transversal rectangular de la viga principal, y se determina mediante la **ecuación 3.14**.

$$C_{vig} = \frac{h_{vig}}{2} \quad (\text{Ecuación. 3.14})$$

$$C_{vig} = 25 \text{ mm}$$

Para calcular el esfuerzo máximo de flexión aplicado a la placa base, se utiliza la **ecuación 3.15**.

$$\sigma_{f_{max}} = \frac{M \cdot C_{vig}}{I} \quad (\text{Ecuación. 3.15})$$

$$\sigma_{f_{max}} = \frac{474600 \cdot 25}{630000}$$

$$\sigma_{f_{max}} = 18.83 \text{ kgf/mm}^2$$

Para garantizar que el acero seleccionado es el correcto, se multiplica el esfuerzo máximo de flexión calculado por un factor de seguridad referencial de 1.5, para

condiciones de medio ambiente razonables constantes y así poder determinar la resistencia a la fluencia del mismo.

$$S_y = 1.5(\sigma_{f_{max}}) \quad (\text{Ecuación. 3.16})$$

$$S_y = 28.25 \text{ Kg}f/\text{mm}^2$$

Para este acero, se determina el factor de seguridad calculado, dividiendo la resistencia a la fluencia (S_y) para el esfuerzo máximo de flexión ($\sigma_{f_{max}}$) calculado.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{f_{max}}} \quad (\text{Ecuación. 3.17})$$

$$FS = \frac{40.76 \text{ Kg}f/\text{mm}^2}{18.83 \text{ Kg}f/\text{mm}^2}$$

$$FS = 2.15$$

Al obtener un factor de seguridad calculado mayor al factor de seguridad de referencia, se puede deducir que no existe riesgo de fallos en el diseño, por ende la placa base no va a fallar, bajo ninguna consideración.

3.4.2 Placa porta mordazas.

Tomando en cuenta la forma de la matriz, es necesario una placa en la cual se van a colocar y poder desplazar las mordazas de sujeción, dicha placa será un apoyo extra para la placa base, y permitirá, tener mayores características de posicionamiento y facilidad de mantenimiento por desgaste o averías.

3.4.2.1 Material.

La placa porta punzones únicamente va a ser un apoyo para la placa base, por lo que se utilizara un acero de bajo contenido de carbono, y en este caso será el ASTM-A36.

Este material es idóneo para el trabajo a realizar.

3.4.2.2 Forma y dimensiones.

Para la forma de la placa porta mordazas hay que tomar en cuenta que, se necesita una base donde se puedan desplazar las mismas sin ningún inconveniente y que a la vez permita mantenerlas en un estado de sujeción en función del cilindro hidráulico, que será el que ejerza la fuerza de apriete de la varilla.

Esta placa deberá ir sujeta directamente sobre la placa base, para generar un espacio de trabajo estrictamente definido para el correcto funcionamiento de las mordazas de sujeción.

Con el cálculo realizado anteriormente, se definió el espesor mínimo de la placa para la fuerza ejercida, sobre la misma, sin embargo para la placa porta mordazas, se va a utilizar una placa de 38mm de espesor, ya que la placa base es de 50mm.

Para la sujeción de la placa porta mordazas a la placa base, se va a utilizar la **Tabla 3.1**, como referencia donde se especifica las consideraciones tomadas para dimensionar la posición de los pernos en función del borde de la placa. **(Fig. 3.5)**.

	MATERIAL	
	ACERO DE MÁQUINAS	ACERO DE HERRAMIENTAS
L	$1 \frac{1}{8} D$	$1 \frac{1}{4} D$

Tabla 3.1 Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material.¹⁰

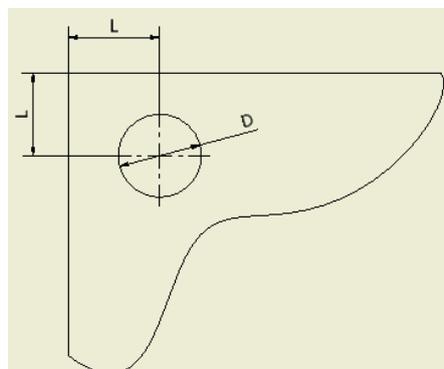


Fig. 3.5 Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material.

¹⁰ KONNICK/GUTTER, Manual del técnico matricero, Pág. 177

Como se indica en la **Tabla 3.1**, la longitud recomendada entre el centro de la perforación y el filo de la placa a sujetar está directamente relacionada con el diámetro de la perforación, para este caso se tomará la referencia de $1 \frac{1}{8}D$, para sujetar la placa base.

3.4.3 Punzón de conformado.

El punzón cumple el papel de formar la cabeza en la varilla, es por ello que su importancia es fundamental para el desarrollo de la matriz, el punzón deberá tener la forma que se desea obtener y debe garantizar que no fallará durante el proceso de conformado.

3.4.3.1 Material.

El punzón de conformado debe tener las mismas propiedades y características que las mordazas de sujeción, ya que al igual que estas, el punzón va a distribuir la fuerza generada por el troquel y será el responsable del conformado de la varilla, según la forma deseada.

Para la selección del material se va a utilizar el mismo W 320, con temple obteniendo una dureza de 56 HRC, ya que las propiedades que se obtienen con este material, son las requeridas para el trabajo que se quiere realizar.

3.4.3.2 Forma y dimensiones.

Primero hay que tomar en cuenta que existen varias formas de cabezas, por lo que el punzón deberá tener una forma que permita cambiarlo sin ningún inconveniente, como el caso de tener que desmontar toda la matriz para cambiarlos, por lo que el punzón deberá tener rosca para poder cambiarlo únicamente desenroscándole de su base fija.

Cada punzón deberá tener en su forma la cabeza que se quiere conformar, estas medidas y formas, como ya se mencionó con anterioridad, vienen establecidas directamente por parte de las casas automotrices.

La forma establecida para los punzones se muestra con más detalle en la **Figura 3.6**.

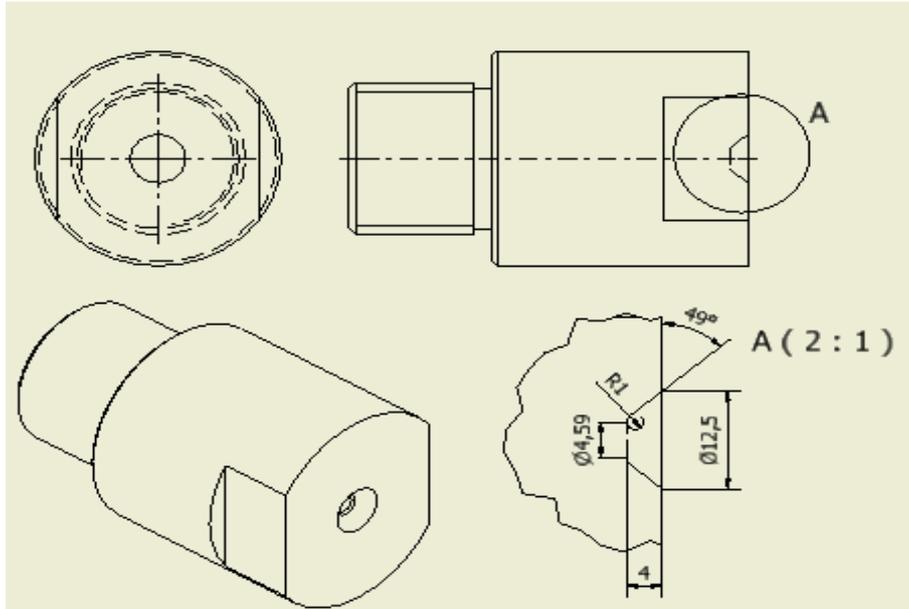


Fig. 3.6 Punzón de conformado con la forma de la cabeza que se quiere obtener.
Fuente. Montalvo Diego

El punzón de conformado al ser accionado contra las mordazas tiende a comprimirse axialmente por lo cual se encuentra sometido a un esfuerzo normal de compresión (σ_c).

Datos.

D= 55mm

Acero Bohler W-320

L= 89mm

$S_y = 70.3 \text{ Kg}f/\text{mm}^2$

$E = 207 \text{ GPa} \approx 21108.126 \text{ Kg}f/\text{mm}^2$

P=67800 kgf

- Área de sección transversal.

$$A_{st} = \frac{\phi^2 \cdot \pi}{4} \quad (\text{Ecuación. 3.18})$$

$$A_{st} = \frac{(55)^2 \cdot \pi}{4}$$

$$A_{st} = 2375.83 \text{ mm}^2$$

- Esfuerzo normal de compresión. (σ_c).

$$\sigma_c = \frac{P_{dis}}{A_{st}} \quad (\text{Ecuación. 3.19})$$

$$\sigma_c = \frac{67800 \text{ Kgf}}{2375.83 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_c = 28.54 \text{ Kgf/mm}^2$$

Para el acero del punzón de conformado, se multiplica el esfuerzo normal de compresión (σ_c) por un factor de seguridad de referencia de 1.5 para determinar la resistencia a la fluencia del mismo.

$$S_y = 1.5(\sigma_c) \quad (\text{Ecuación. 3.20})$$

$$S_y = 42.806 \text{ Kgf/mm}^2$$

Para este acero, se determina el factor de seguridad calculado, dividiendo la resistencia a la fluencia (S_y) para el esfuerzo normal de compresión (σ_c) calculado.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_c}$$

$$FS = \frac{42.806 \text{ Kgf/mm}^2}{28.54 \text{ Kgf/mm}^2}$$

$$FS = 2.46$$

Al obtener un factor de seguridad calculado mayor al factor de seguridad de referencia, se puede deducir que no existe riesgo de fallos en el diseño, por ende el punzón no va a fallar.

El punzón de embutición, al ser un elemento vertical cargado axialmente se verifica que no falle debido a pandeo, por lo cual se realiza el siguiente análisis para poder determinar la máxima carga axial que puede resistir sin pandearse.

El segundo momento del área para una sección transversal circular es:

$$I = \frac{\phi^4 \cdot \pi}{4} \quad (\text{Ecuación. 3.21})$$

$$I = \frac{(55)^4 \cdot \pi}{4}$$

$$I = 7186884.068 \text{ mm}^4$$

El radio de giro de pandeo del punzón de conformado es:

$$Rc = \sqrt{\frac{I}{Ast}} \quad (\text{Ecuación. 3.22})$$

$$Rc = \sqrt{\frac{7186884.068 \text{ mm}^4}{2375.83 \text{ mm}^2}}$$

$$Rc = 54.995 \text{ mm}$$

Al estar un extremo fijo al porta punzón, y el otro extremo libre se considera el valor de la constante de esbeltez para columnas cargadas axialmente (k).

$$K=2$$

Para determinar si existe pandeo debido a la carga axial aplicada al punzón de embutición, es necesario antes determinar los valores tanto de la relación de esbeltez del punzón (E_{pun}), como la relación de esbeltez crítica del elemento con relación al material con el cual es fabricado (E_{cr}).

$$E_{pun} = \frac{K \cdot L_{pun}}{Rc} \quad (\text{Ecuación. 3.23})$$

$$E_{pun} = \frac{2 \cdot 89 \text{ mm}}{54.999 \text{ mm}}$$

$$E_{pun} = 3.24$$

$$E_{cr} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot E}{Sy}} \quad (\text{Ecuación. 3.24})$$

$$E_{cr} = \sqrt{\frac{2 \cdot \pi^2 \cdot 21108.126}{70.3}}$$

$$E_{cr} = 76.98$$

Como se puede observar, la relación de esbeltez del punzón es menor que la relación de esbeltez crítica; por lo tanto para determinar el esfuerzo de compresión permisible del punzón se debe aplicar la ecuación 3.25.

$$\sigma_{per} = \frac{Sy \left(1 - \frac{E_{pun}^2}{2 \cdot E_{cr}^2}\right)}{\left[\left(\frac{5}{3}\right) + \left(\frac{3}{8} \cdot \frac{E_{pun}}{E_{cr}}\right) - \left(\frac{E_{pun}^3}{8 \cdot E_{cr}^3}\right)\right]} \quad (\text{Ecuación 3.25})$$

$$\sigma_{per} = \frac{70.3 \left(1 - \frac{3.24^2}{2 \cdot 76.98^2}\right)}{\left[\left(\frac{5}{3}\right) + \left(\frac{3}{8} \cdot \frac{3.24}{76.98}\right) - \left(\frac{3.24^3}{8 \cdot 76.98^3}\right)\right]}$$

$$\sigma_{per} = 41.8 \text{ Kgf/mm}^2$$

El esfuerzo de compresión permisible, se lo multiplica por el área de la sección transversal circular, y se obtiene la carga axial de compresión permisible en el punzón de conformado.

$$F_{perm} = \sigma_{per} \cdot A_{st} \quad (\text{Ecuación. 3.26})$$

$$F_{perm} = 41,8 \text{ Kgf/mm}^2 \cdot 2375.83 \text{mm}^2$$

$$F_{perm} = 99309.7 \text{ Kgf} \approx 109.47 \text{ Ton}$$

Como se puede observar la carga axial de compresión permisible en el punzón de conformado es de 109 Ton, mientras que la fuerza de conformado de diseño del equipo es únicamente de 67 toneladas, con lo cual se puede comprobar que el punzón no va a fallar.

3.4.4 Mordazas de sujeción.

Las mordazas de sujeción, son la parte más crítica de la matriz de conformado, ya que están serán las que tengan que soportar todo el impacto del punzón sin

deformarse, permitiendo formar la figura deseada, además son las que deberán sujetar la varilla, durante todo el proceso de recalado, es decir estas mordazas cumplen parte fundamental del correcto funcionamiento de la matriz.

3.4.4.1 Material.

Como ya se recaló anteriormente las mordazas son una parte fundamental de la matriz, por lo que la selección del material a ser utilizado para la fabricación de las mordazas, debe ser muy minucioso y detallado, ya que de no hacerlo bien, se corre el riesgo de que al impacto del punzón, estas se rompan o fisuren o que sufran deformaciones que eviten un correcto funcionamiento de la matriz.

Las herramientas necesarias para el recalado y prensado en frío pueden fabricarse con aceros sin alear o con aceros aleados (aceros para trabajo en frío).

En la **Tabla 3.2** se indican los aceros más usuales de temple total para la conformación en frío; se distinguen por su tenacidad y su resistencia a la compresión y al desgaste.

Tipo de acero Abreviación	C 100 W 1	145 V 33	100 V 1	X 32 Cr Mo V 33
Número del material	1.154	1.2838	1.2833	1.2365
Dureza HRC	56...61	58...62	59...63	58...62
Aplicaciones	Cizalla Matrices de corte Mordazas Matrices Caja de prensado Recalador previo Estampa de acabado Punzón Anillos de guía		Matrices de corte Mordazas Matrices Caja de prensado Recalador previo Estampa de acabado Punzón	

Tabla 3.2 Aceros usuales para herramientas de recalcar y prensar en frío de temple superficial, o sea, alta resistencia al desgaste con una reducida resistencia a la compresión.¹¹

¹¹ BILLIGMANN, Josef, Estampado y prensado a máquina, (tabla 5.6), pág. 354

Tomando en cuenta varias características mostradas en la tabla, el acero a ser seleccionado es el: X 32 Cr Mo V 33, que se encuentra en el mercado bajo la nomenclatura de W 320, además puede alcanzar una dureza de 56HRC con temple, en el anexo E se detallan las características de este acero.

3.4.4.2 Forma y dimensiones.

Tomando en cuenta que las mordazas son la parte que van a sufrir mayor desgaste, la forma de estas deberán garantizar que su vida útil debe ser aprovechada de la mejor manera posible, es por eso que la forma seleccionada para estas serán de cavidad frontal.

Las matrices abiertas, mordazas de recalcar divididas con mordazas cuadradas con canales semicilíndricos en cada lado, se utilizan principalmente en la fabricación de piezas de forma con espárragos muy largos.¹²

Estas mordazas serán guiadas a calzos porta mordazas mediante un pasador cilíndrico de diámetro 6mm, para facilitar el ensamble de las mismas, y serán sujetas a la vez a la placa porta mordazas mediante un perno M10x1.5, como se puede verificar en la **Figura 3.7**.

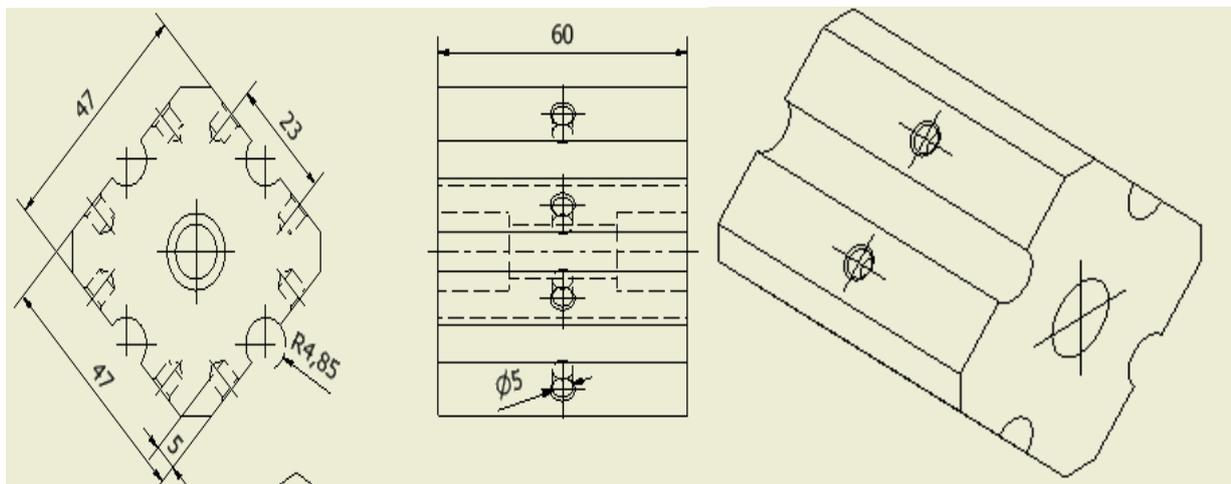


Fig. 3.7 Mordazas de sujeción para varilla diámetro 10mm.
Fuente. Montalvo Diego

¹² BILLIGMANN, Josef, Estampado y prensado a máquina, pág. 330

Las mordazas deben soportar dos cargas diferentes, es decir la de contacto una con otra para sujetar la varilla, así como la fuerza de golpe vertical generada por el punzón de conformado.

Al estar diseñadas de W-320 y tener dimensiones similares a las del punzón, el esfuerzo normal de compresión vertical, va a ser el mismo previamente calculado para el punzón, lo que asegura que las mordazas tampoco van a fallar, sin embargo se va hacer el análisis de esfuerzo normal de compresión (σ_c), generada por el cilindro hidráulico.

Datos.

$$L1 = 50\text{mm}$$

$$L = 60\text{mm}$$

Acero Bohler W-320

$$S_y = 70.3 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$E = 207 \text{ GPa} \approx 21108.126 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$P = 11000 \text{ Kgf}$$

- Área de sección transversal.

$$A_{st} = L1 \times L \quad (\text{Ecuación. 3.27})$$

$$A_{st} = 50\text{mm} \times 60\text{mm}$$

$$A_{st} = 3000\text{mm}^2$$

- Esfuerzo normal de compresión. (σ_c).

$$\sigma_c = \frac{P_{dis}}{A_{st}}$$

$$\sigma_c = \frac{11000 \text{ Kgf}}{3000 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_c = 3.667 \text{ Kgf/mm}^2$$

Para el acero de las mordazas, se multiplica el esfuerzo normal de compresión (σ_c) por un factor de seguridad de referencia de 1.5 para determinar la resistencia a la fluencia de las mismas.

$$S_y = 1.5(\sigma_c)$$

$$S_y = 5.501 \text{ Kgf/mm}^2$$

Para este acero, se determina el factor de seguridad calculado, dividiendo la resistencia a la fluencia (S_y) para el esfuerzo normal de compresión (σ_c) calculado.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_c}$$

$$FS = \frac{70.3 \text{ Kgf/mm}^2}{3.667 \text{ Kgf/mm}^2}$$

$$FS = 19.170$$

Al obtener un factor de seguridad calculado de 19.2, se podría asumir que las mordazas están sobredimensionadas, sin embargo hay que tomar en cuenta que las mordazas fueron diseñadas para soportar el golpe del troquel que es la mayor carga a la que van a estar expuestas.

3.4.5 Soporte porta punzón.

Este elemento cumple la función de sostener al punzón en su parte inferior, y se encuentra unido a la placa superior, su sección transversal es circular hueca, similar a un tubo de pared gruesa y como la carga se aplica únicamente en toda su sección transversal, se somete a esfuerzo normal de compresión.

3.4.5.1 Material.

Este elemento está expuesto a compresión entre la placa superior y el punzón, por lo que debe ser fabricado de un acero de alta resistencia a la deformación, no es necesario un tratamiento térmico.

Según las características de este elemento, el acero a ser seleccionado es un AISI/SAE 4340, conocido en el mercado como V-155, este acero posee excelentes propiedades para el requerimiento de fabricación de este elemento, dichas propiedades, pueden ser mejor apreciadas en el anexo F.

3.4.5.2 Forma y dimensiones.

Al ser la parte que va a sostener al punzón, el cual es un elemento de sección circular, la forma del soporte debe permitir, cambiar el punzón con facilidad y sin generar ningún inconveniente al operario, es por esto que su forma será circular hueca con rosca interna, y empotrada mediante cuatro pernos 3/8 UNC equidistantes entre sí a la placa superior. **(Fig. 3.8)**

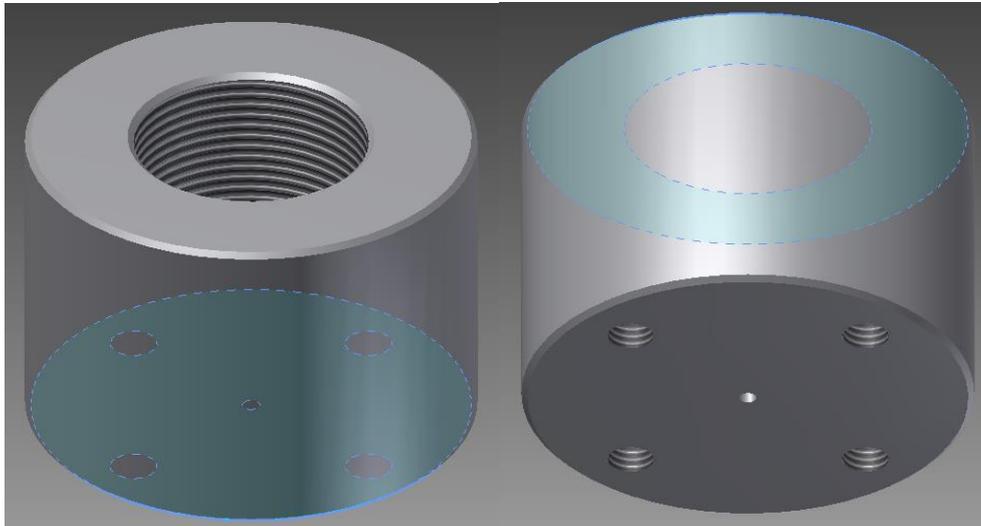


Fig. 3.8 Soporte porta punzón.
Fuente. Montalvo Diego

Datos.

D= 75mm

L= 60mm

d= 41mm

Acero Bohler V-155

$$S_y = 49.15 \text{ Kgf/mm}^2$$

$$P_{dis} = 67800 \text{ kgf}$$

$$E = 20389 \text{ Kgf/mm}^2$$

- Área de sección transversal circular hueca del porta punzón es:

$$A_{st} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (D^2 - d^2) \quad (\text{Ecuación. 3.28})$$

$$A_{st} = \left(\frac{\pi}{4}\right) \cdot (75^2 - 41^2)$$

$$A_{st} = 3097.62 \text{ mm}^2$$

- Esfuerzo normal de compresión. (σ_c).

$$\sigma_c = \frac{P_{dis}}{A_{st}}$$

$$\sigma_c = \frac{67800 \text{ Kgf}}{3097.62 \text{ mm}^2}$$

$$\sigma_c = 21.9 \text{ Kgf/mm}^2$$

Para este acero, se multiplica el esfuerzo normal de compresión (σ_c) por un factor de seguridad de referencia de 1.5 para determinar la resistencia a la fluencia del mismo.

$$S_y = 1.5(\sigma_c)$$

$$S_y = 32.85 \text{ Kgf/mm}^2$$

Para este acero, se determina el factor de seguridad calculado, dividiendo la resistencia a la fluencia (S_y) para el esfuerzo normal de compresión (σ_c) calculado.

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_c}$$

$$FS = \frac{32.85 \text{ Kgf/mm}^2}{21.9 \text{ Kgf/mm}^2}$$

$$FS = 2.25$$

El factor de seguridad calculado aplicado al soporte porta punzón es mayor que el factor de seguridad de referencia, lo que asegura que es un diseño seguro.

Para determinar la deflexión máxima (contracción) en el porta punzón se utiliza la ecuación 3.29.

$$\delta_{max} = \frac{P_{dis} \cdot L}{A_{st} \cdot E} \quad (\text{Ecuacion 3.29})$$

$$\delta_{max} = \frac{67800 \text{Kgf/mm}^2 \cdot 60 \text{mm}}{3097.62 \text{mm}^2 \cdot 20389 \text{Kgf/mm}^2}$$

$$\delta_{max} = 0.06 \text{mm}$$

Se puede apreciar que la deflexión máxima generada, es de 0.06mm lo que no implica una variación en el correcto desempeño de la matriz, por lo que se puede deducir que esta parte no va a fallar.

3.4.6 Guías de columna y columnas.

Las guías de columna, se acoplan a las columnas para alinear la placa superior, porta punzón y punzón con la placa inferior base y placa matriz. La mayoría son fabricados de acero de herramientas aunque también se los hace de bronce por tener un bajo coeficiente de rozamiento. Existen varios tipos de casquillo entre los cuales dos son los más comunes; los sencillos y con resalto, estos últimos encomendados para operaciones de corte. La longitud de los bujes dependerá de la precisión requerida por la matriz, teniendo en cuenta que mientras más largo sea el casquillo más preciso será el corte.

3.4.6.1 Material.

Antes que nada hay que tomar en cuenta que esta matriz va a tener varias horas de jornada de trabajo diario, por lo que las columnas y las guías de columna, van a estar expuestas constantemente a fricción una con otra, por lo que es necesario que sean de un material resistente al desgaste y además llevar un tratamiento térmico para evitar que las columnas se agripen y esto ocasione que se suelden en frío las columnas con las guías.

Para columnas que van a estar sometidas a varias horas de trabajo, es recomendable utilizar un acero bonificado con temple, alcanzando durezas de hasta 56 HRC.¹³

Por ello para las guías de columna se va a utilizar un acero AISI/SAE 4140, equivalente en el mercado como V 320, con temple y una dureza de 54HRC, y un acero AISI/SAE 4340, conocido como V 155, con temple y dureza de 56HRC, para las columnas, las características del acero V-320 se puede apreciar de mejor manera en el anexo G.

3.4.6.2 Anclado

El montaje y fijación de las guías y de las columnas se realizan mediante ajuste a presión en prensa en agujeros taladrados en la placa base inferior y superior, generando un ajuste forzado entre los componentes.

El ajuste entre el diámetro externo de los bujes y el agujero de alojamiento de ambas placas será de H6-k7, el cual asegurara la inmovilización de estos con respecto a sus alojamientos.

3.4.6.3 Forma y dimensiones.

Las guías de columna llevan un cambio de sección circular, la primera con ajuste en relación a la placa superior, y con el diámetro interno de más 0.02mm en relación al diámetro de la columna, para garantizar una ajuste deslizante, de igual manera las columnas tendrán una reducción de diámetro en su parte inferior para realizar el anclado con la placa base, en su cuerpo llevara unas ranuras de lubricación, para ayudar a que no exista resecamiento entre la superficie de las guías con relación a la superficie de las columnas. La **figura 3.9**, muestra de manera más detallada la forma de las guías de columna y las columnas, tomando en cuenta el anclado final.

¹³ Centro Tecnológico ASCAMM, Tecnología de matrices, Componentes, pág. 68

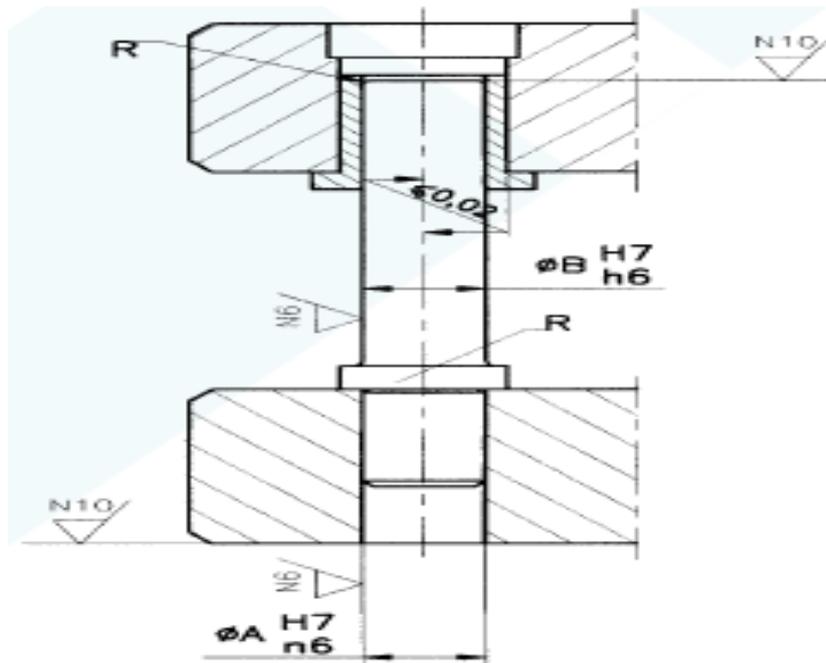


Fig. 3.9 Columna y guía de columna anclado en placas base y placa superior respectivamente.
Fuente. Montalvo Diego

Datos.

D= 27mm

L= 175mm

$E = 20394.3 \text{ Kg}f/\text{mm}^2$

Acero Bohler V-320

$S_y = 70.36 \text{ Kg}f/\text{mm}^2$

Al estar un extremo empotrado en la placa base, y el otro extremo libre se considera el valor de la constante de esbeltez para columnas cargadas axialmente (k).

$$K=2$$

Primero se va a determinar el radio de giro:

$$r = \frac{D}{4} \quad (\text{Ecuación 3.30})$$

$$r = \frac{27\text{mm}}{4}$$

$$r = 6.75mm$$

Con este valor se obtiene la relación de esbeltez.

$$\frac{KL}{r} = \frac{2 \cdot 175mm}{6.75mm} \quad (\text{Ecuación 3.31})$$

$$\frac{KL}{r} = 51.85$$

Se debe calcular la constante de la columna:

$$Cc = \sqrt{2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E}{Sy}} \quad (\text{Ecuación 3.32})$$

$$Cc = \sqrt{2 \cdot \frac{\pi^2 \cdot 20394.3 \text{ Kgf/mm}^2}{70.36 \text{ Kgf/mm}^2}}$$

$$Cc = 75.64$$

Como la relación de esbeltez real en la columna KL/r , es menor que el valor de transmisión Cc , la columna es corta y se debe emplear, la ecuación 3.33, según J.B. Johnson.

$$Per = A \cdot Sy \left[1 - \frac{Sy(KL/r)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot E} \right] \quad (\text{Ecuación 3.33})$$

$$Per = \frac{27^2 \cdot \pi}{4} \cdot 70.36 \left[1 - \frac{70.36(51.85)^2}{4 \cdot \pi^2 \cdot 20394.3} \right]$$

$$Per = 30788.13 \text{ Kgf} \approx 34 \text{ Tonf}$$

Cada columna está diseñada para soportar una carga de 34 Ton, como son dos columnas, se va a soportar un total de 68Ton, lo que nos garantiza que las columnas no van a fallar.

3.4.7 Elementos de Unión.

Para la selección de los elementos de unión para una matriz, muchos autores recomiendan que el buen sentido y experiencia del técnico matricero determinara el número y diámetro de elementos de fijación. Ya que si no son seleccionados y aplicados correctamente pueden ser causa de fractura de piezas templadas o grietas en roscas causando deficiente alineación de agujeros.

Sin embargo se ha tratado de seguir algunas recomendaciones que se encuentran descritas en las siguientes tablas:

3.4.7.1 Separación entre agujeros.

Los agujeros de los pernos recomendablemente pueden estar lo más próximos a los bordes para obtener una posición exacta, y los pasadores puedan estar suficientemente separados, la distancia referente se puede apreciar en la **Figura 3.10**, además de los valores mínimos recomendados. **(Tabla 3.3)**.

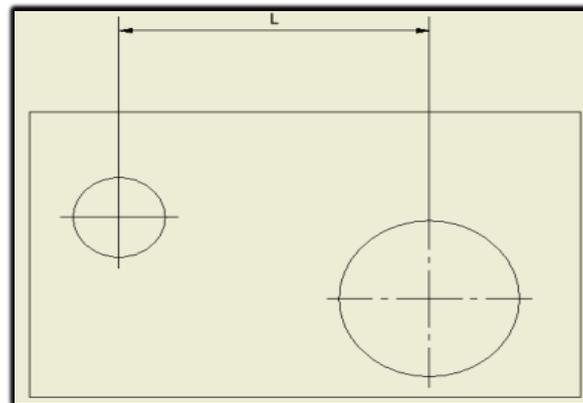


Fig. 3.10 Separación entre agujeros.

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

Tabla 3.3 Separación mínima de agujeros de acuerdo al material.¹⁴

¹⁴ KONNICK/GUTTER, Manual del técnico matricero, Pág. 179

3.4.7.2 Separación entre agujeros y bordes de la pieza.

Para la ubicación de la perforación en función al borde de la placa, se va a utilizar el mismo criterio de posicionamiento, en la **Figura 3.11**, se muestra la distancia recomendada del centro de la perforación al borde de la pieza, y su valor referencial se indica en la **Tabla 3.4**.

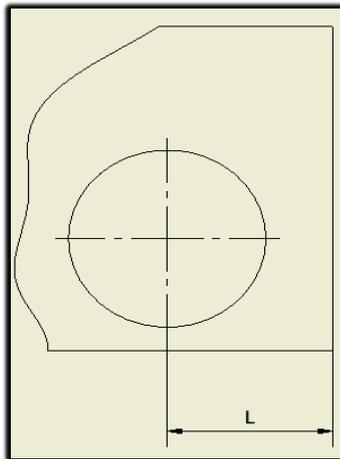


Fig.3.11 Ubicación de agujero con respecto al borde.

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

Tabla 3.4 Separación mínima de agujero-borde de acuerdo al material.¹⁵

3.4.7.3 Longitud de roscado.

Es recomendable que se siga las indicaciones de la **Tabla 3.5** que son valores referenciales, previamente calculados, bajo diseño de aplicación y funcionamiento, ya que si la distancia de roscado es muy corta es probable que los filetes se rompan en el agujero roscado, las cotas de referencia para los valores se muestran en la **Figura 3.12**.

¹⁵ KONNICK/GUTTER, Manual del técnico matricero, Pág. 177

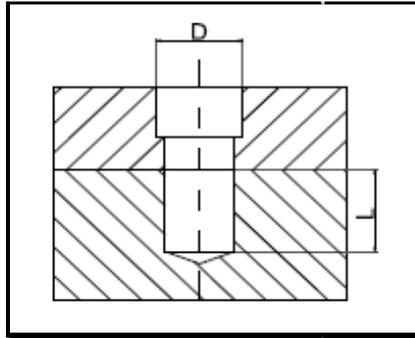


Fig.3.12 Cotas de referencia para longitud mínima de roscado.

MATERIAL	LONGITUD
Acero	1 1/2 D
Fundición	2 D
Magnesio	2 1/4 D
Aluminio	2 1/2 D
Plástico	3D & mas

Tabla 3.5 Longitud mínima de roscado dependiendo del material.¹⁶

3.4.7.4 Resistencia de seguridad de pernos.

En la **Tabla 3.6**, se encuentran las resistencias efectivas de los tornillos en base a una resistencia a la rotura de 180000 lb/in², ya que interesa saber su resistencia luego de ser apretados.

Tamaño del Tornillo	CARGA	
	MIN	MAX
4	540	585
6	810	910
8	1250	1315
10	1565	1790
1/4	2850	3260
5/16	4620	5200
3/8	6950	7900
1/2	12400	14000

Tabla 3.6 Cargas máximas de pernos Allen en función a su diámetro.¹⁷

¹⁶ KONNICK/GUTTER, Manual del técnico matricero, Pág. 181

¹⁷ KONNICK/GUTTER, Manual del técnico matricero, Pág. 187

3.4.7.5 Resistencia a la cizalladura de los pasadores.

En la **Tabla 3.7** se tiene las cargas de seguridad de pasadores trabajando bajo cortadura simple, en el caso de haber doble cortadura los valores se duplican.

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

Tabla 3.7 Cargas admisible del pasador en función a su diámetro.¹⁸

Tomando en cuenta estas tablas, las cuales fueron realizadas bajo pruebas y resultados, se va a realizar la selección de los pernos que se van a utilizar para cada elemento que interviene en la matriz, al igual que los pasadores que de igual manera cumplen una función muy importante en la correcta ejecución de la matriz.

Es por ello que se va a utilizar pernos Allen de 1/2" x 13UNC, para la sujeción de la placa porta matriz a la placa base, al igual que para los elementos que intervienen como apoyo de desplazamiento como la placa porta mordazas y porta cilindro, se va a utilizar pasadores cilíndricos de acero plata de 10mm de diámetro, para guiado y fijación de las placas.

Para partes móviles y placas que no están expuestas a grandes esfuerzos, se va a utilizar pernos Allen 3/8" x 11UNC, y pasadores cilíndricos en acero plata de 6mm de diámetro.

¹⁸ KONNICK/GUTTER, del técnico matricero, Pág. 188

3.5 Análisis y Diseño del sistema electroneumático.

Como ya se mencionó con anterioridad, la fuerza que se necesita para sujetar las varillas y poder soportar el golpe generado por el troquel, solo puede ser proporcionada por un cilindro hidráulico, para ello, el diseño de la sujeción de la varilla se basa en el principio de una entenalla, de mordaza fija y mordaza móvil.

Se va a utilizar un cilindro hidráulico de doble efecto, cuyas características fueron anteriormente calculadas, el sistema debe ser accionado mediante pedales, por facilidad para el operario, el mismo debe contar con un tablero eléctrico, en el cual irán las debidas protecciones, como guarda motor, relé térmico, botones de encendido y apagado y un paro de emergencia por cualquier eventualidad que se presente durante el proceso.

Para el sistema hidráulico se va a utilizar una electroválvula 5-2 con bobinas solenoide y reguladora de presión, una válvula anti retorno, para evitar pérdidas en las vías de circulación del fluido, un manómetro de glicerina de hasta 4000psi, para controlar la presión que se genera, y un motor de brida de 3.5 Hp.

El equipo ya armado incluido el tanque se lo va adquirir, por facilidad en NEUMAC, una empresa dedicada a sistemas hidráulicos.

Para el fluido a utilizar, se usará aceite hidráulico Rando 68, que es el que más se encuentra en el mercado, las características de este aceite se detallan de mejor manera en el anexo H.

Para realizar el circuito electro hidráulico, se utilizará el software fluid SIM de FESTO TM, con el cual se realizará una simulación completa del circuito total evitándose así errores en las líneas de armado, en la **Figura 3.13**, se muestra el circuito electro-hidráulico en stand by, y en la **Tabla 3.8**, todos los elementos que conforman el mismo.

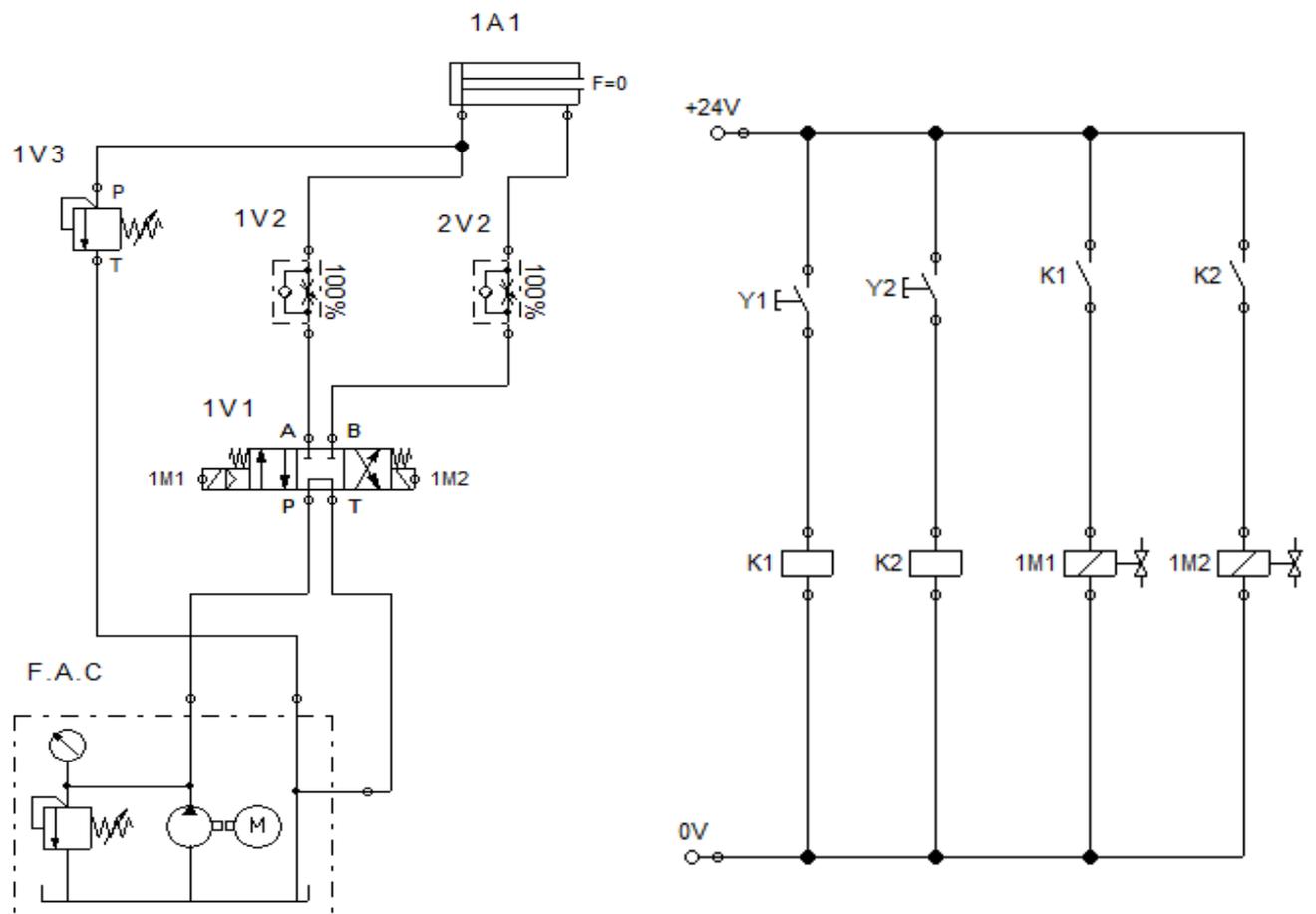


Fig. 3.13 Circuito electro-hidráulico sistema prensa mordazas.

Marca	Denominación del componente
	Cilindro doble efecto
1V1	Válvula direccional cuádruple de 3 vías de palanca manual con posición de circulación
F.A.C	Grupo motriz
1V2	Válvula antirretorno estranguladora
2V2	Válvula antirretorno estranguladora
1V3	Válvula limitadora de presión
	Fuente de tensión (24V)
	Fuente de tensión (0V)
Y1	Pulsador (Obturador)
K1	Relé
K1	Obturador
1M1	Solenoides de válvula
1M2	Solenoides de válvula
K2	Obturador
K2	Relé
Y2	Pulsador (Obturador)

Tabla. 3.8 Cuadro de contenido para el circuito.

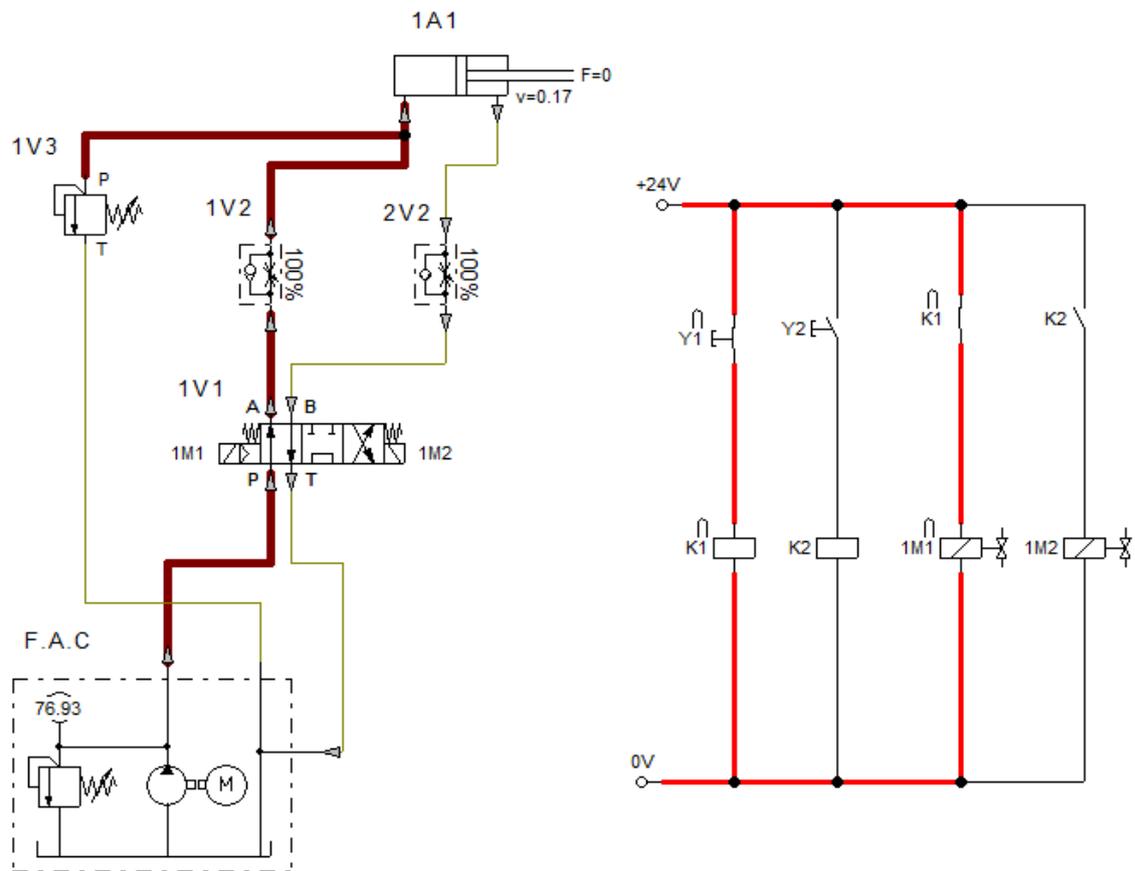


Fig. 3.14 Accionamiento de pedal para salida de vástago del cilindro.

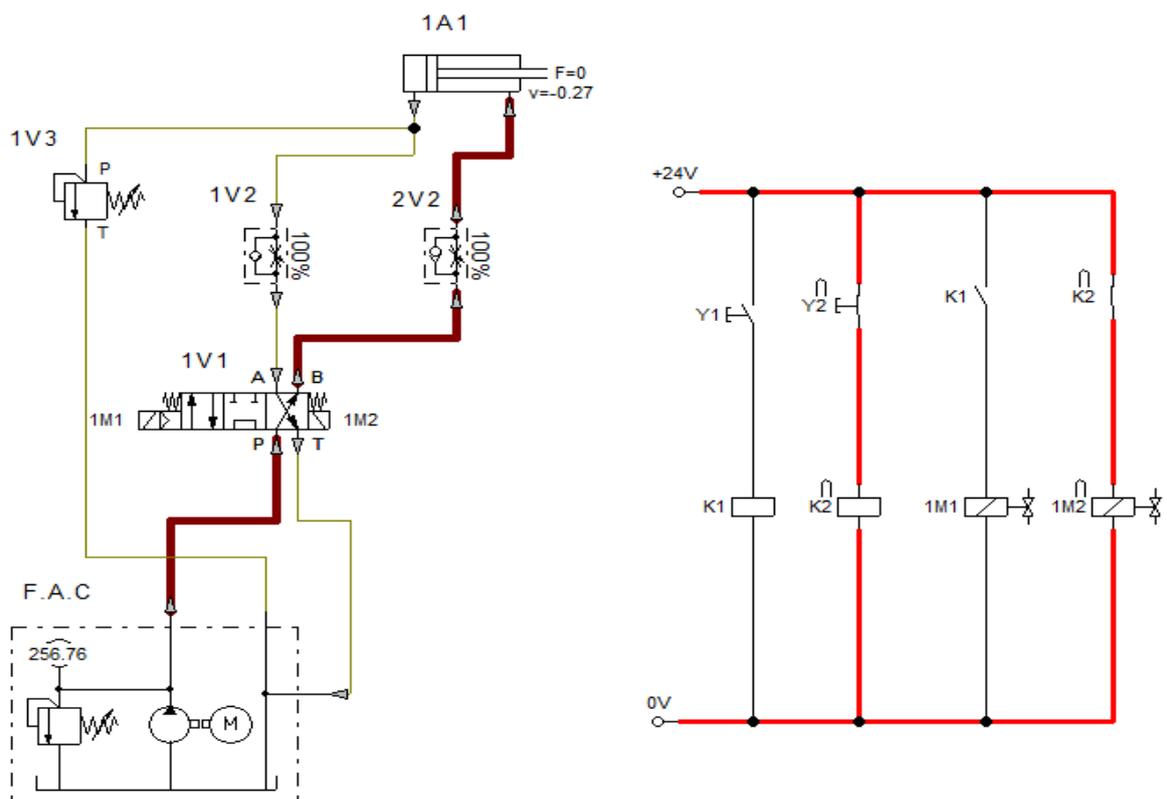


Fig. 3.15 Accionamiento de pedal para ingreso de vástago del cilindro.

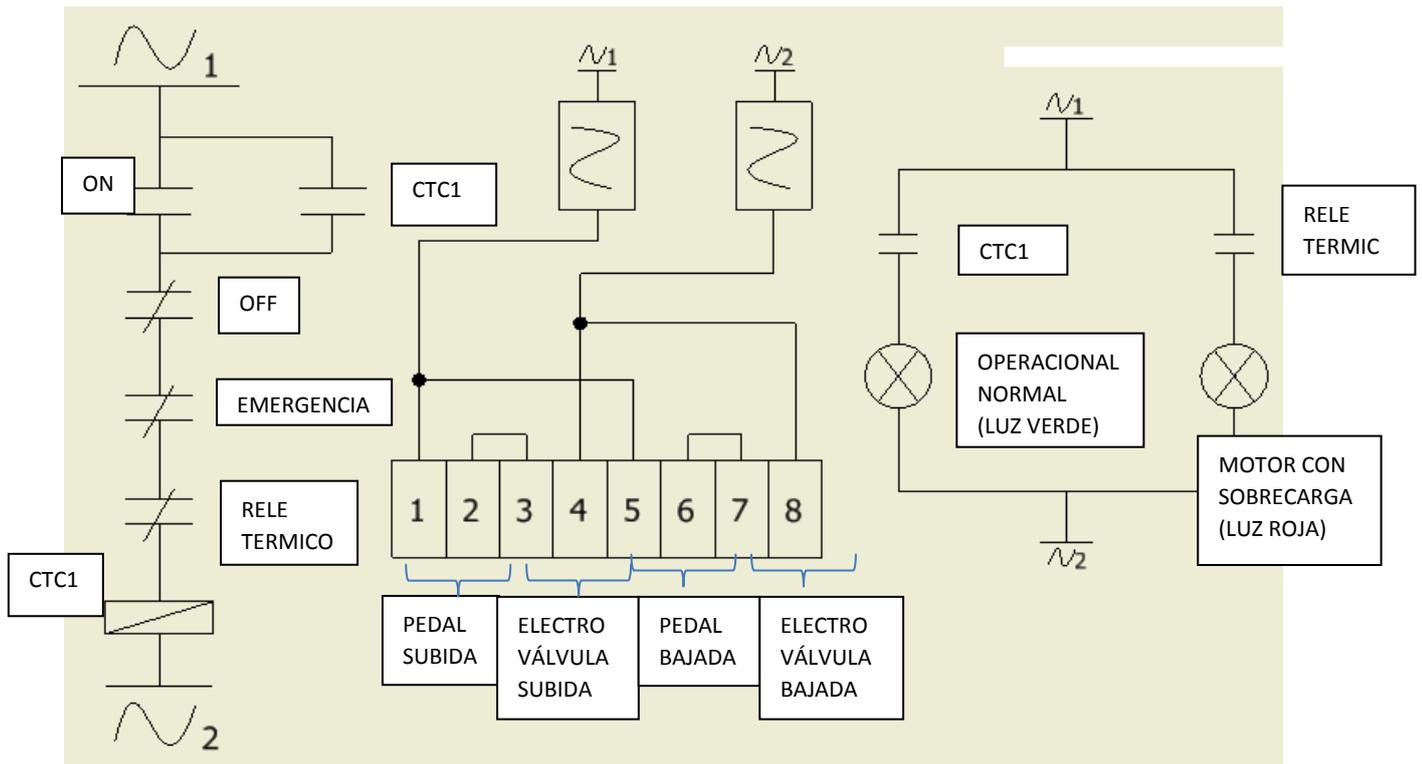


Fig. 3.16 Diagrama eléctrico del tablero de control.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS ECONÓMICO Y FINANCIERO

4.1 ANÁLISIS ECONÓMICO.

4.1.1 Costos directos.

Se conoce como costos directos a aquellos que intervienen directamente en la obtención de los elementos que conforman las matrices. Entre los cuales se encuentran el costo de los materiales los cuales se detallan en la **Tabla 4.0**.

Nombre de la parte	Material	Dimensiones	Peso (Kg)	Cant.	Costo U. (USD)	Costo (USD)
Placa base	AISI A-36	1000x350x50	140	1	\$3.36	\$470.40
Base porta mordazas	AISI A-36	350x280x32	25.1	1	\$3.36	\$84.34
Placa porta mordaza fija	AISI A-36	150x85x60	6.1	1	\$3.36	\$20.50
Placa porta mordaza móvil	AISI A-36	150x100x60	7.2	1	\$3.36	\$24.19
Placa soporte posterior	AISI A-36	180x85x50	6.1	1	\$3.36	\$20.50
Soporte posterior cartela	AISI A-36	165x50x95	6.2	1	\$3.36	\$20.83
Base soporte cartela	AISI A-36	200x155x20	4.9	1	\$3.36	\$16.46
Soporte mordaza móvil	AISI A-36	180x120x75	12.9	1	\$3.36	\$43.34
Tuerca mordaza cilindro	AISI P20	80x40x15	0.38	1	\$10.08	\$3.83
Soporte cilindro hidráulico	AISI A-36	250x180x100	36	1	\$3.36	\$120.96
Placa superior	AISI A-36	300x180x38	16.4	1	\$3.36	\$55.10
Guía columna	AISI 4140	Ø50x100	1.6	4	\$6.90	\$44.16
Columna	AISI 4340	Ø40x195	1.9	4	\$7.28	\$55.33
Soporte superior cilindro	AISI A-36	250x250x50	25	1	\$3.36	\$84.00
Mordazas	AISI H10	Ø60x60	1.4	3	\$27.44	\$115.25
Punzones	AISI H10	Ø45x75	0.9	4	\$27.44	\$98.78
Dado porta punzón	AISI 4340	Ø65x60	1.6	1	\$7.28	\$11.65
Guía en T de troquel	AISI A-36	200x50x50	4	2	\$3.36	\$26.88
Peno cabeza Allen	Normalizado	1/2"UNCx2 1/2"		14	\$0.68	\$9.52
Peno cabeza Allen	Normalizado	3/8"UNCx2 1/2"		17	\$0.54	\$9.18
Peno cabeza Allen	Normalizado	1/4"UNCx1 1/2"		8	\$0.36	\$2.88
Perno cabeza avellanada	Normalizado	1/4"UNCx1 1/2"		6	\$0.40	\$2.40
Pasador cilíndrico	Acero Plata	Ø10x50		5	\$3.65	\$18.25
					TOTAL.	\$1,358.73

Tabla 4.0 Costos materia prima.

Fuente: Montalvo Diego

Una vez calculados todos los materiales que involucran la matriz, la tabla arroja como resultado la suma total de materia prima la cual es de \$ 1358.73.

Existen además elementos que se adquieren ya fabricados por facilidad y ahorro de tiempo, como es el caso de los elementos eléctricos e hidráulicos, los mismos que se detallan en la **Tabla 4.1**.

Partes o elementos	Cantidad	Valor U.	Valor
Cilindro hidráulico	1	\$850.00	\$850.00
Unidad hidráulica	1	\$1,150.00	\$1,150.00
Elementos eléctricos	1	\$980.00	\$980.00
TOTAL.			\$2,980.00

Tabla 4.1 Costos elementos varios.

Fuente: Montalvo Diego

De igual manera como se trata de una tesis de diseño, se toma también en cuenta como costo directo la parte de diseño e ingeniería, estos valores se detallan en la **Tabla 4.2**.

Ítem	Nombre	Tiempo H-H	Valor H-H	Subtotal
1	Autor	420	4	\$1,680.00
2	Profesionales Asesor	10	15	\$150.00
3	Asesoría especial	10	20	\$200.00
TOTAL.				\$2,030.00

Tabla 4.2 Costos de diseño e ingeniería.

Fuente: Montalvo Diego

Para los costos de mano de obra, se deben tomar en cuenta varios parámetros tales como; maquinado de cada parte, montaje de la matriz, pruebas y ensayos en la máquina, estos valores se detallan en la **Tabla 4.3**.

Ítem	Posición	Tiempo H-H	Valor H-H	Subtotal
1	Servicio de Fresadora	30	14	\$420.00
2	Servicio de Torno	10	14	\$140.00
3	Servicio de Taladro	6	14	\$84.00
4	Servicio de Rectificadora	2	14	\$28.00
5	Servicio de Centro CNC	10	30	\$300.00
6	Servicio de Suelta	1	14	\$14.00
7	Montaje	5	14	\$70.00
8	Pruebas en Troquel	4	12	\$48.00
TOTAL.				\$1,104.00

Tabla 4.3 Costos de mano de obra.

Fuente: Montalvo Diego

4.1.2 Costos indirectos.

Se conocen como costos indirectos a los gastos que involucran otros factores durante el proceso de desarrollo de la matriz, estos datos se detallan en la **Tabla 4.4.**

Descripción	Subtotal
Gastos Administrativos	\$50.00
Materiales de Oficina	\$80.00
Transporte	\$100.00
Tecnología de la Información	\$90.00
Servicios Básicos	\$60.00
Otros	\$100.00
TOTAL.	\$480.00

Tabla 4.4 Costos indirectos.

Fuente: Montalvo Diego

4.1.3 Costo total de la matriz.

Tomando en cuenta todos los valores obtenidos, se realiza una tabla resumida, en la cual se va a detallar cada uno de estos y así poder obtener el valor total de la matriz. **Tabla 4.5.**

Costos Directos	Subtotal
Costos Materia Prima	\$1,358.73
Costos Mano de Obra	\$1,104.00
Costos Elementos Varios	\$2,980.00
Costos Diseño e Ingeniería	\$2,030.00
Costos Indirectos	Subtotal
Tabla 6.4	\$480.00
SUBTOTAL	\$7,952.73
IMPREVISTOS 3.5%	\$278.35
COSTO TOTAL	\$8,231.08

Tabla 4.5 Costo total de la matriz.

Fuente: Montalvo Diego

4.2 ANÁLISIS FINANCIERO.

En este análisis se busca la viabilidad del presente proyecto, para lo cual se van a realizar las tablas de ingresos y egreso total anuales y así poder verificar si la inversión realizada para la matriz es recuperable y se genera una ganancia y definir si el proyecto es o no rentable.

4.2.1 Análisis de Ingresos.

La empresa AMEIXT, requiere realizar el cambio de soportería inicialmente para el modelo Chevrolet SAIL, dicho modelo se desarrolló para remplazar al automóvil modelo AVEO, se estima que la empresa AMEIXT, produce 7.000 ganchos SGM cada mes, lo que suma un total de 84.000 unidades anuales.

Según las estadísticas de venta, se estima que, un modelo que es lanzado al mercado tiene un incremento anual del 25% en su producción, y por lo general es programado para 5 años de fabricación. **Tabla 4.6**

	Período Anual				
	1	2	3	4	5
Unidades vendidas	84000	96000	120000	150000	187500
Precio por unidad	\$0.94	\$0.94	\$0.94	\$0.94	\$0.94
Ingreso Total	\$78,960.00	\$90,240.00	\$112,800.00	\$141,000.00	\$176,250.00

Tabla 4.6 Análisis de ingresos.

Fuente: Montalvo Diego

4.2.2 Análisis de egresos.

Se tomará el valor del costo de producción de los ganchos, anexo I, y se lo multiplicará por los 84000 ganchos que se producen anualmente. **Tabla 4.7.**

	Período Anual				
	1	2	3	4	5
Unidades vendidas	84000	96000	120000	150000	187500
Precio por unidad	\$0.73	\$0.73	\$0.73	\$0.73	\$0.73
Ingreso Total	\$61,320.00	\$70,080.00	\$87,600.00	\$109,500.00	\$136,875.00

Tabla 4.7 Análisis de egresos.
Fuente: Montalvo Diego

4.2.3 Período de recuperación de la inversión inicial.

Tomando en cuenta las diferencias entre los valores anuales de ingresos y egresos, es muy fácil obtener el tiempo promedio que se necesitará para poder recuperar la inversión inicial, en este caso se puede observar que la inversión en la matriz se recupera en el primer año e inclusive genera una ganancia aparte. **Tabla 4.8.**

	Período Anual					
	0	1	2	3	4	5
Inversión Inicial	\$8,231.68					
Beneficio		\$17,640.00	\$20,160.00	\$25,200.00	\$31,500.00	\$39,375.00

Tabla 4.8 Período de recuperación de la inversión.
Fuente: Montalvo Diego

4.2.4 Flujo de caja neto (FNR).

El FCN permite hacer una evaluación de egresos e ingresos, el cual es un indicador financiero que sirve para determinar la rentabilidad del proyecto. **Tabla 4.9.**

Período Anual	Ingresos Totales	Egresos Totales	TOTAL
0		\$8,231.68	
1	\$78,960.00	\$61,320.00	\$17,640.00
2	\$90,240.00	\$70,080.00	\$20,160.00
3	\$112,800.00	\$87,600.00	\$25,200.00
4	\$141,000.00	\$109,500.00	\$31,500.00
5	\$176,250.00	\$136,875.00	\$39,375.00

Tabla 4.9 Flujo de caja neto.

Fuente: Montalvo Diego

Una vez arrojados los datos finales, se puede apreciar que solo en el primer año la inversión inicial para la matriz es recuperada, además de dejar una ganancia aparte de \$9408.32 dólares, y que cada año la ganancia para la empresa se incrementa.

Por ende el resultado final del proyecto es que la fabricación de esta matriz, genera una rentabilidad importante.

El detalle final de cada elemento y partes que intervienen en el desarrollo total de la matriz, se detalla en los planos de conjunto e individuales mostrados en el anexo J, al final de este trabajo de investigación.

CAPITULO 5

ANÁLISIS DE PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1 Generalidades.

En el presente capítulo se va a tratar sobre los resultados de las pruebas realizadas a un grupo de varillas conformadas en la matriz, como se mencionó con anterioridad el requerimiento de dimensiones para cada cabeza y arandela viene establecido directamente por la casa constructora, según el diseño que involucre cada modelo de automóvil.

Por tal motivo es sumamente estricto, que las dimensiones de cada parte cumplan con el requerimiento establecido, y que tengan las dimensiones solicitadas, dentro de las tolerancias aplicadas a cada parte.

Para poder garantizar que existe repetitividad, en las dimensiones de las partes realizadas, se va a realizar un análisis R&R, que es un formato establecido bajo Norma ISO 9001/2008.

Este procedimiento consiste en realizar una corrida piloto de 30 unidades, para determinar, carreras y hojas de proceso, se toma al azar 10 partes conformadas, de las 30 unidades producidas, se mide en este caso el diámetro de la cabeza en tres posiciones diferentes, y estos valores se van ingresando en una base de datos que es la Hoja de estudio R&R (**Tabla 5.0**).

Este análisis se lo debe hacer con un grupo de tres personas, de cada sección de la empresa, esto para garantizar que no existan únicamente criterios de medición personales, y descartar la variación del equipo.

Con los valores obtenidos se obtendrá el promedio, el rango y la media efectiva de los resultados, y así obtener la variación en el producto y determinar si la producción es estable y si el producto final cumple o no con el requerimiento del cliente.

Como se puede apreciar en la **Tabla 5.0**, se realizó el análisis de dimensiones al diámetro de la cabeza de la varilla conformada, que según requerimiento debe ser de $15\text{mm} \pm 0.5$, se utilizó el calibrador marca MITUTOYO número 2, el código de la parte es MPO01GA01, Las personas seleccionadas para este análisis fueron los señores:

- Luis Soto, Miembro del equipo de producción.
- Marlon Álvarez, Miembro del equipo de mantenimiento.
- Mauricio Rodríguez, Miembro del departamento de calidad.

Los resultados arrojados fueron que la medida máxima del diámetro mayor de la cabeza es de 15.1mm, por ende la máxima variación es de 0.1mm concluyendo que las dimensiones del gancho cumplen perfectamente con los requerimientos del cliente.

En la **Tabla 5.1**, se realizó el análisis dimensional a la altura de la cabeza conformada, el requerimiento del cliente solicita que esta sea de $12\text{mm} \pm 1.0$, se utilizó el calibrador marca MITUTOYO número 2, el código de la parte es MPO01GA01, Las personas encargadas de este análisis fueron los señores:

- Gustavo Portilla, Miembro del equipo de producción.
- Gino Morocho, Miembro del equipo de mantenimiento.
- Gabriel Medina, Miembro del departamento de calidad.

Los resultados arrojados fueron que la medida máxima de la longitud de la cabeza es de 12.1mm, por ende la máxima variación es de 0.1mm concluyendo que las dimensiones del gancho cumplen perfectamente con los requerimientos del cliente.

Tomando estos resultados finales, se puede garantizar que existe gran repetitividad en el proceso, lo que garantiza un producto conforme y con calidad para ser entregado al cliente, por ende el producto final es satisfactorio y cumple con todos los requisitos.

CAPITULO 6

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 CONCLUSIONES.

- Se ha realizado el diseño de la matriz para conformado de cabezas y arandelas en varilla lisa AISI/SAE 1018, utilizando métodos de gerencia y productividad.
- Se realizó la investigación sobre el proceso de trabajo estándar y como implementarlo para mejorar la línea de producción en la empresa en la que se va a utilizar esta máquina.
- Se diseñó un matriz que permitirá reducir varios tiempos, como procesos que involucran hora máquina, mano de obra e insumos, lo que reducirá costos de producción.
- Se diseñó la matriz para poder usarla directamente con las máquinas que se cuenta en la empresa, lo que permite introducirla a la línea de producción, sin verse afectados otros procesos.
- La matriz fue diseñada bajo el concepto de recalcado en frio, proceso que se utiliza para producciones en serie de partes normalizadas, como pernos y tornillos, entre otros.
- Las especificaciones y dimensiones en los planos facilitarán el entendimiento y la gestión de posibles futuras mejoras.
- La selección del material así como elementos de sujeción se la realizó considerando la disponibilidad de los mismos en el mercado nacional.
- El desarrollo de este proyecto, permite generar mayores conocimientos en relación al proceso de recalcado, que es un punto muy importante por no decir fundamental, cuando se trata de alta producción en serie.

- Según el análisis de resultados realizado, se puede observar que la variación generada durante la prueba de muestreo genera valores mínimos de variación, que sin embargo, están dentro de las tolerancias establecidas por el cliente.

6.2 RECOMENDACIONES.

- Mantener partes y componentes importantes de la matriz siempre lubricados.
- Afinar y dar mantenimiento a la matriz luego de terminar un lote de producción, esto para alargar la vida útil de sus componentes y garantizar la calidad del producto.
- Estudiar y aplicar el método estándar de trabajo para mejorar otros procesos de producción que posee AMEIXT, esto con el fin de seguir continuamente mejorando.
- Como la matriz trabaja directamente con un sistema hidráulico, se recomienda, revisar siempre partes y elementos críticos como electroválvulas, componentes eléctricos, nivel de aceite, cilindro hidráulico, manómetros, etc.
- Es recomendable tener en stock partes críticas de la matriz como son los calzos punzones formadores, y las mordazas de sujeción, ya que durante el proceso productivo se puede presentar cualquier eventualidad, por error de calibración, lo que ocasionaría choques que dañen la matriz.
- Es importante tomar en cuenta que esta matriz fue diseñada para un requerimiento específico sin embargo el diseño y los cálculos se hicieron con factor de seguridad de 2.5, lo que permite a la matriz realizar otro tipo de trabajos, cambiando los calzos formadores, con la forma deseada, y se puede además trabajar con varilla de mayor diámetro y de otras características.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- JOSEF BILLIGMANN, HEINZ-D. FELDMANN, Estampado y prensado a máquina, 2da edición, Traducido del Alemán por José Pinos Calvet, España, Ed. Reverté, S.A, 1979.
- OEHLER G. Y KAYSER, Herramientas de troquelar, estampar y embutir, traducido del alemán por José M. Amposta, 6ta. Edición. Barcelona, Ed. Gustavo Gill, 1979.
- ROSSI M., estampado den frio de la chapa. Traducido del italiano por Ramón Fortet, 9na edición, Barcelona, Ed. Hoepll, 1977.
- KACZMARECK E., Estampado y embutido, 2da edición, Buenos Aires, Ed. Nigar, 1965.
- LOPEZ NAVARRO T., Troquelado y estampación, 5ta edición, Barcelona, Ed. Gustavo Gill, 1976.
- SHIGLEY J.E., Diseño de ingeniería mecánica, traducido del inglés por Jesús Murrieta, 8va edición, México D.F, Ed. McGraw-Hill, 2008.
- MOTT R.L, Diseño de elementos de máquinas, traducido del inglés por Arturo Córdova, 2da edición, México, Ed. Prentice Hall Hispanoamérica, 1995.
- NORTON ROBERT L., Diseño de Maquinas, 4ta edición, España, Ed. McGraw-Hill Interamericana de España S.L., 2009.
- DEUTSCMAN A., MICHELS W. Y WILSON C., Diseño de máquinas, traducido del inglés, por José Armando Garza, 2da edición, México D.F., Ed. Continental, 1975.
- FUNDACIÓN ASCAMM, Diseño de matriceria, Centro tecnológico MA CD.

TESIS.

- CHAVEZ JOSE, MONTERO FRANCISCO, Diseño y construcción de matrices e implementación de pintura electrostática para el proceso de fabricación de arneses metálicos para mochilas militares, para la F.M.S.B Santa Bárbara s.a., Tesis Ingeniero Mecánico, Escuela Politécnica del Ejercito, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2009.

- AGUAIS FRANKLIN, Reingeniería del proceso de fabricación, rediseño de matrices y simulación del proceso de embutición de la vajilla de campaña de lámina de aluminio temple h0 tipo bandeja de capacidad de un litro de la E.M. Santa Bárbara E.P.

PÁGINAS.

- <http://es.scribd.com/doc/88760282/Caravan-Escape>.
- <http://luisarteaga.wikispaces.com/MOFLE+SILENCIADOR>.
- http://siqbstarzgirls.blogspot.com/2008_04_01_archive.html
- <http://www.preciolandia.com/mx/mofle-resonador-presilenciador-tipo-bala-6w2duo-a.html>