



DEPARTAMENTO DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TESIS PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO
MECÁNICO**

**TEMA: DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MATRIZ DE
ESTAMPADO PARA PUERTAS PANELADAS METÁLICAS**

AUTOR: MULLO MORALES, DIEGO GUSTAVO

DIRECTOR: ING. BORYS CULQUI

CODIRECTOR: ING. PABLO FIGUEROA

SANGOLQUÍ

2015

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**CERTIFICADO**

Nosotros: ING. BORYS CULQUI. e ING. PABLO FIGUEROA

CERTIFICAN

Que, el proyecto de grado titulado **“DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MATRIZ DE ESTAMPADO PARA PUERTAS PANELADAS METÁLICAS”** realizado por el señor MULLO MORALES DIEGO GUSTAVO, ha sido revisado prolijamente y cumple con los requerimientos: teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la ESPE, por lo que nos permitimos acreditarlo y autorizar su entrega al Sr. Ing. José Pérez, en su calidad de Director de la Carrera de Ingeniería Mecánica. El trabajo en mención consta de dos empastados y dos discos compactos que contienen el documento en formato portátil de Acrobat (pdf).

Ing. Borys Culqui
DIRECTOR

Ing. Pablo Figueroa
CODIRECTOR

Sangolquí, 2015-03-27

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD****Yo, DIEGO GUSTAVO MULLO MORALES****DECLARO QUE,**

El proyecto de grado titulado “**DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MATRIZ DE ESTAMPADO PARA PUERTAS PANELADAS METÁLICAS**”, ha sido desarrollado con base a una investigación exhaustiva, respetando derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incorporan en la bibliografía. Consecuentemente este trabajo es de mi autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 27 de Marzo del 2015

Diego Gustavo Mullo Morales

CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**AUTORIZACIÓN**

Yo, MULLO MORALES DIEGO GUSTAVO

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas (ESPE) la publicación, en la biblioteca virtual de la Institución del proyecto de grado titulado DISEÑO Y FABRICACIÓN DE UNA MATRIZ DE ESTAMPADO PARA PUERTAS PANELADAS METÁLICAS, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 27 de Marzo del 2015

Diego Gustavo Mullo Morales

DEDICATORIA

Dedico este presente proyecto a mi familia, por el apoyo incondicional a lo largo de mi vida y de mi carrera, con ejemplos de superación y de entrega en todos los proyectos emprendidos; enseñándome a valorar todas las cosas que gracias a Dios poseo hoy. Gracias a ustedes puedo ver cumplidos mis anhelados objetivos.

Especialmente a mi madre, que con sus consejos, amor y paciencia me ha inculcado el deseo de triunfar en la vida, poniendo mucha dedicación y empeño a todos mis propósitos.

A mi padre, que con su ejemplo ha fomentado el esfuerzo y el trabajo duro para lograr éxito en la vida profesional y personal. A mi hermano, Jorge, que ha sido un apoyo constante en todas mis decisiones. A mi hermana, Doménica, que ha sido una inspiración de orgullo para alcanzar esta meta. Espero siempre contar con su apoyo incondicional.

AGRADECIMIENTO

Mis agradecimientos, primero a Dios por darme la salud y la vida, para afrontar con sabiduría y paciencia los retos que se me han impuesto hasta el momento.

A mi familia, que son mi motivación principal para cumplir todos los propósitos y objetivos, con responsabilidad, para forjarme como un hombre de bien.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas-ESPE especialmente a la Carrera de Ingeniería Mecánica, a su personal docente y administrativo, por brindarme una educación de excelencia y liderazgo.

A mi Director y Codirector de tesis por su apoyo y conocimientos impartidos, necesarios para culminar este proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO.....	ii
AUTORIZACIÓN DEL PROYECTO.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
RESUMEN.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	1
1.1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.2. JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3. ALCANCE DEL PROYECTO.....	3
1.4. OBJETIVOS.....	3
1.4.1. OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
1.5. ANTECEDENTES DE LA EMPRESA ACEROSCENTER.....	4
1.5.1. HISTORIA DE LA EMPRESA.....	4
1.5.2. MISIÓN DE LA EMPRESA.....	7
1.5.3. VISIÓN DE LA EMPRESA.....	7
1.5.4. VALORES EMPRESARIALES.....	7
1.5.4.1. VALORES ÉTICOS.....	7
1.5.4.2. VALORES PROFESIONALES.....	8
2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. ESTAMPADO.....	9
2.1.1. DOBLDO, CURVADO.....	10
2.1.2. EMBUTIDO.....	11

2.2.	ESTUDIO DE LOS CICLOS DE ESTAMPADO.....	12
2.3.	MATRICES DE ESTAMPADO.....	13
2.3.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS MATRICES DE ESTAMPADO.....	14
2.3.1.1.	MATRIZ DE ESTAMPADO SIN VARIAR EL ESPESOR DEL MATERIAL.....	14
2.3.1.2.	MATRIZ DE ESTAMPADO CON VARIACIÓN DEL ESPESOR DEL MATERIAL.....	15
2.4.	ELEMENTOS QUE CONFORMA UNA MATRIZ DE ESTAMPADO.....	15
2.4.1.	PLACA SUPERIOR.....	17
2.4.2.	PLACA PORTA PUNZÓN.....	17
2.4.3.	PUNZÓN.....	17
2.4.4.	PRENSACHAPAS.....	19
2.4.4.1.	TIPOS DE PRENSACHAPAS.....	19
2.4.5.	COLUMNAS Y CASQUILLOS GUÍAS.....	21
2.4.6.	MATRIZ O SUFRIDERA.....	24
2.4.7.	PLACA PORTA MATRIZ.....	25
2.4.8.	PLACA INFERIOR.....	26
2.4.9.	ELEMENTO ELÁSTICO.....	27
2.4.9.1.	RESORTES DE PLÁSTICO URETANO.....	28
2.4.10.	PIEZAS DE SUJECIÓN Y EXPLUSIÓN DE MATRICES.....	29
2.5.	PARÁMETROS DE DISEÑO.....	30
2.5.1.	FUERZA EJERCIDA POR EL PUNZÓN PARA EMBUTIR.....	30
2.5.2.	HOLGURA ENTRE PUNZÓN Y MATRIZ.....	33
2.5.3.	LUBRICACIÓN.....	34
2.5.4.	VELOCIDAD DE EMBUTICIÓN.....	36
2.5.5.	FUERZA DE SUJECIÓN DE LA LÁMINA METÁLICA.....	37
2.5.6.	MATERIAL PARA MATRICES DE EMBUTICIÓN.....	39
2.5.7.	TRATAMIENTO TÉRMICO DE MATERIALES.....	41
2.5.8.	TOLERANCIAS.....	43
2.5.8.1.	TOLERANCIAS DIMENSIONALES.....	44
2.5.8.2.	TOLERANCIAS GEOMÉTRICAS.....	47

2.5.9. ACABADOS SUPERFICIALES.....	49
2.6. DISEÑO MODULAR.....	52
2.7. NORMATIVA APLICABLE.....	53
3. CAPÍTULO 3: DISEÑO.....	55
3.1. DISEÑO DEL PANEL METÁLICO.....	55
3.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL PANEL.....	55
3.2. CÁLCULOS DE LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DE LA MATRIZ DE ESTAMPADO.....	56
3.3. DISEÑO DE LA MATRIZ DE ESTAMPADO.....	60
3.3.1. CARACTERÍSTICAS DE LA MATRIZ.....	60
3.3.2. COMPONENTES DE LA MATRIZ DE ESTAMPADO.....	60
3.4. SIMULACIÓN DE LA LÁMINA METÁLICA EMBUTIDA POR ELEMENTOS FINITOS.....	70
3.5. COMPARACIÓN DE RESULTADOS.....	83
3.6. PLANOS.....	84
3.6.1. PLANOS DEL PANEL METÁLICO.....	84
3.6.2. PLANOS DE LA MATRIZ.....	84
4. CAPÍTULO 4: FABRICACIÓN.....	88
4.1. FABRICACIÓN DE LA MATRIZ DE ESTAMPADO.....	88
4.1.1. FABRICACIÓN DE LAS PARTES.....	88
4.1.2. ENSAMBLE DEL CONJUNTO.....	88
4.2. PLAN DE MANTENIMIENTO.....	92
4.3. PRUEBAS.....	99
4.3.1. PRUEBAS DIMENSIONALES.....	99
4.3.2. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....	100
4.4. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102

5. ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO.....	108
5.1. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	108
5.2. ANÁLISIS FINANCIERO.....	110
6. CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	119
6.1. CONCLUSIONES.....	119
6.2. RECOMENDACIONES.....	120
BIBLIOGRAFÍA.....	122
ANEXOS.....	122

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación espesor chapa metálica y placa matriz.....	25
Tabla 2. Resistencia al cambio de forma de láminas de Embutición.....	32
Tabla 3. Productos de lubricación para distintos trabajos.....	36
Tabla 4. Velocidad de Embutición recomendada para diferentes materiales...	37
Tabla 5. Presión Unitaria del pisador para diferentes materiales.....	39
Tabla 6. Valores numéricos de las tolerancias fundamentales.....	45
Tabla 7. Calidad de tolerancias.....	46
Tabla 8. Ajustes recomendados más utilizados.....	47
Tabla 9. Símbolos de las tolerancias geométricas.....	49
Tabla 10. Símbolos para estados superficiales.....	50
Tabla 11. Valores de rugosidad Ra y su clase.....	51
Tabla 12. Valores de rugosidad con respecto a las tolerancias.....	52
Tabla 13. Ficha de mantenimiento de la matriz.....	97
Tabla 14. Ficha de control dimensional matriz de estampado.....	100
Tabla 15. Ficha de control funcional matriz de estampado.....	101
Tabla 16. Prueba de funcionamiento dimensional panel metálico.....	102
Tabla 17. Análisis de resultados durante las pruebas de matriz de estampado.....	103
Tabla 18. Resultado lámina metálica tercera prueba.....	105

Tabla 19. Resultado lámina metálica tercera prueba.....	106
Tabla 20. Costos Materiales directos.....	108
Tabla 21. Costos Máquinas Herramientas.....	109
Tabla22. Costos Ensamble Matriz de Estampado.....	109
Tabla 23. Costos Mano de Obra.....	109
Tabla 24. Costos Indirectos.....	110
Tabla 25. Costos de Diseño.....	110
Tabla 26. Costo total de la Matriz de Estampado.....	110
Tabla 27. Total inversión inicial proyecto.....	111
Tabla 28. Ingresos de productos panelados vendido.....	111
Tabla 29. Cálculo costos fijos y variables.....	112
Tabla 30. Cálculo capital de trabajo para un mes.....	113
Tabla 31. Depreciaciones de maquinaria y construcciones.....	113
Tabla 32. Estado de pérdidas y ganancias.....	114
Tabla 33. Flujo neto de fondo del proyecto.....	115
Tabla 34. Cálculo del valor actual neto del proyecto.....	115
Tabla 35. Periodo de recuperación de la inversión.....	117

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ejemplo de la operación doblado.....	10
Figura 2. Proceso de embutición de piezas cilíndricas huecas.....	11
Figura 3. Partes de una matriz.....	16
Figura 4. Ejemplo de Prensachapas tipo fijo.....	20
Figura 5. Ejemplo de Prensachapas de presión y de freno.....	21
Figura 6. Dimensiones de columna guía y casquillo guía.....	24
Figura 7. Tipos de resortes: a) Compresión, b) Tracción, c) Torsión.....	27
Figura 8. Resorte Cilíndrico poliuretano de Ø20 mm.....	29
Figura 9. Resorte Cilíndrico poliuretano de Ø25 mm.....	29
Figura 10. Gráficos de la fuerza de Embutición.....	31
Figura 11. Holgura para Embutición.....	34
Figura 12. Defectos de tolerancias geométricas.....	48
Figura 13. Diseño y dimensiones del panel metálico.....	55
Figura 14. Matriz de estampado para puerta panelada metálica.....	60
Figura 15. Placa Superior matriz de estampado.....	61
Figura 16. Portapunzón matriz de estampado.....	62
Figura 17. Punzón matriz de estampado.....	63
Figura 18. Prensachapas matriz de estampado.....	64
Figura 19. Columna guía matriz de estampado.....	65

Figura 20. Casquillo guía matriz de estampado.....	66
Figura 21. Matriz, matriz de estampado.....	67
Figura 22. Portamatriz matriz de estampado.....	68
Figura 23. Placa inferior matriz de estampado.....	69
Figura 24. Resorte de caucho. matriz de estampado.....	69
Figura 25. Tope matriz de estampado.....	70
Figura 26. Sistemas de análisis Software CAE.....	71
Figura 27. Importar geometría.....	72
Figura 28. Modelo.....	73
Figura 29. Elementos sometidos a simulación.....	73
Figura 30. Frictional contact.....	74
Figura 31. Configuración avanzada para Frictional contact.....	75
Figura 32. Bonded contacts lámina metálica y portamatriz.....	76
Figura 33. Contacto lámina metálica y porta matriz.....	77
Figura 34. Mallado general.....	78
Figura 35. Mallado específico de la lámina metálica.....	78
Figura 36. Configuración análisis.....	80
Figura 37. Fixed support.....	81
Figura 38. Condiciones de contorno.....	82
Figura 39. Deformación total.....	82

Figura 40. Energía de deformación.....	83
Figura 41. Diagrama de Ensamble del Conjunto Inferior de la Matriz de Estampado.....	89
Figura 42. Conjunto Inferior Matriz de Estampado.....	90
Figura 43. Diagrama de Ensamble del Conjunto Superior de la Matriz de Estampado.....	91
Figura 44. Conjunto Superior Matriz de Estampado.....	92
Figura 45. Resultado lámina metálica primera prueba.....	103
Figura 46. Resultado lámina metálica segunda prueba.....	104
Figura 47. Resultado lámina metálica tercera prueba.....	105
Figura 48. Resultado lámina metálica tercera prueba.....	106
Figura 49. Resultado lámina metálica cuarta prueba.....	107

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Planos, detalles de los elementos de la matriz de estampado y del panel metálico.

Anexo B. Hojas de procesos de elementos de la matriz de estampado.

Anexo C. Fichas de control de pruebas de funcionamiento dimensionales de los elementos de la matriz de estampado.

Anexo D. Imágenes y pruebas de ensayo.

NOMENCLATURA

P	Fuerza necesaria para el proceso de embutición (Kgf).
D	Diámetro del recorte (mm).
d	Diámetro del punzón de embutición (mm).
t	Espesor de la lámina metálica (mm).
Nform	Coefficiente de cambio de forma.
h	Altura de embutición (mm).
Kct	Resistencia media al cambio de forma (Kgf/mm ²).
c	Holgura entre punzón y matriz para embutición (mm).
V	Velocidad de embutición (mm/s).
dm	Diámetro externo de la pieza embutida (mm).
Fs	Fuerza de sujeción de la lámina (kgf).
p	Presión específica unitaria del pisador (Kg/cm ²).
Cd	Tasa de Embutido.

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca a la necesidad de obtener los propios diseños de matriceria por parte de la empresa Aceroscenter Cía.Ltda., que permita la elaboración de puertas paneladas metálicas y su posterior comercialización. Para la elaboración de la matriz se realizó un sondeo de los materiales más utilizados por empresas ecuatorianas que se dedican exclusivamente a la manufactura y fabricación de piezas y productos por medio de procesos de embutición, y de acuerdo a este estudio se adquirió varios materiales en distintos espesores y especificaciones que cumplan con los requerimientos para el buen funcionamiento de la matriz. Para el correcto diseño de la matriz, se realizaron varios tipos de cálculos con el fin de determinar la capacidad de la prensa a ser utilizada posterior a la fabricación de dicha matriz, entre estos cálculos se determinó la fuerza de cada punzón para embutir, la fuerza de sujeción de la lámina metálica. Una vez obtenidos estos cálculos, se prosiguió a realizar una simulación en un software CAE con el fin de realizar una comparación con los resultados obtenidos mediante fórmulas.

PALABRAS CLAVES:

- **DIÁMETRO DE RECORTE**
- **PROFUNDIDAD DE EMBUTICIÓN**
- **RESISTENCIA AL CAMBIO DE FORMA**
- **PRESIÓN ESPECÍFICA UNITARIA**

ABSTRACT

This project focuses on the need for own designs matrices by the company Aceroscenter Cía.Ltda., Allowing the development of metal paneled doors and trading. To prepare the matrix a survey of the most used by Ecuadorian companies dedicated exclusively to the manufacture and fabrication of parts and products through processes of drawing materials was performed, and according to this study various materials acquired in different thicknesses and specifications that meet the requirements for the proper functioning of the matrix. For proper design of the array, various types of calculations were performed to determine the ability of the press to be used after the manufacture of said matrix, these calculations between the strength of each was determined swaging punch, force clamping of the metal sheet. Once obtained these calculations, it was continued to perform CAE simulation software in order to make a comparison with the results obtained using formulas.

KEYWORDS:

- **DIAMETER OF CUT**

- **DEPTH OF DRAWING**

- **RESISTANCE TO CHANGE FORM**

- **UNIT SPECIFIC PRESSURE**

1. CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL PROYECTO

1.1. Introducción

En la industria es indispensable la fabricación de diferentes piezas metálicas, éstas hacen parte de un conjunto total y mediante su ensamble finalmente se consigue la maquinaria deseada. Dentro del proceso de fabricación de estos elementos se encuentra una gama que se obtiene mediante el proceso de estampado, haciéndose muy importante dentro del campo de la ingeniería, emplear las herramientas adecuadas para lograr un excelente resultado en la fabricación de estas piezas, y así obtener resultados satisfactorios para los requerimientos de los sistemas y la sociedad.

Mediante el diseño de ingeniería se logran resultados útiles, ordenados en la aplicación de una metodología de diseño de estampas o matrices de estampado, utilizando elementos estandarizados comercialmente y unificando conceptos de diseño para este tipo de herramientas.

Aceroscenter Cía. Ltda., es una empresa dedicada a la distribución y comercialización de materiales para la construcción y metalmecánica. Fue fundada hace cerca de 45 años, y su primera actividad consistió en distribuir materiales para cerrajería y plomería, posteriormente Aceroscenter, extendió su gama de productos para el sector constructor, con estándares de excelente calidad.

Actualmente Aceroscenter Cía. Ltda., debido al desarrollo en el sector constructor e industrial, ha visto la necesidad de elaborar sus propias máquinas para obtener productos de la mejor calidad y elaborados en el menor tiempo posible, en este contexto se pretende proponer una metodología que satisfaga tales necesidades y ofrezca mayores beneficios.

1.2. Justificación

Dentro de la comunidad ecuatoriana, la elaboración de puertas paneladas tiene como objetivo principal brindar seguridad a bajo costo, confortabilidad y un acabado superficial excelente para brindar confianza a la comunidad contra la delincuencia y cualquier desastre de la naturaleza.

La realización del presente proyecto, obedece a la necesidad de obtener los propios diseños de matriceria por parte de la empresa Aceroscenter Cía.Ltda., que permita la elaboración de puertas paneladas metálicas y su posterior comercialización, ya que la misma empresa posee materia prima para la realización de este producto pero provee el producto terminado de otros fabricantes. La elaboración de las matrices y posteriormente la adquisición de una prensa que cumpla con las capacidades de las matrices, permitiría la implementación de un proceso de manufactura por parte de la empresa, ofreciendo al cliente variedad en productos de excelente calidad y aumentando notablemente la producción.

1.3. Alcance del proyecto

Diseño de la matriz de estampado para los modelos de puertas paneladas metálicas que la empresa distribuye y fabricación del mismo para el modelo específico con dimensiones de 540 X 1020mm.

La matriz se diseñará para trabajar con acero ASTM A36 y acero K460 como materia prima.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Diseñar y fabricar la matriz de estampado para puertas paneladas metálicas.

1.4.2. Objetivos específicos

- Diseñar la matriz modular para elaborar un propio modelo para puertas paneladas metálicas a ser comercializadas por la empresa Aceroscenter Cía. Ltda.
- Simular el proceso de embutición en un software de elementos finitos.
- Fabricar la matriz para el modelo seleccionado.
- Realizar pruebas de funcionamiento.
- Costear las matrices realizadas.

1.5. Antecedentes de la empresa Aceroscenter Cía. Ltda.

1.5.1. Historia de la empresa

Hace aproximadamente 45 años, se inició la empresa IMPORTADORA CERRAJERA, empresa individual, ubicada en la ciudad de Quito, en la calle Vargas y Galápagos, en un local arrendado de 40 m², donde se contaba con apenas 6 trabajadores, que se encargaban únicamente de vender y despachar productos para la cerrajería y plomería.

Posteriormente, se decide, comprar un terreno en la zona sur de la ciudad, que sería la primera bodega del negocio. En el mes de agosto de 1974, se adquiere una propiedad de 230 m², en la Av. Rodrigo de Chávez y Mariscal Sucre. La finalidad de la adquisición de este terreno fue para ampliar la gama de productos, convirtiéndose en bodega de materiales para la construcción y metalmecánica como tubos, varillas, cemento, mallas electrosoldadas, etc.

En el año de 1980, adquieren una nueva propiedad en el sector de la Iglesia de la Basílica, calle Venezuela y Galápagos, este local pasa a ser la matriz del negocio, y se deja el local de la calle Vargas.

En el año de 1984, adquieren un nuevo lote de terreno de 2000 m² en el sector de Chillogallo, sector que por su ubicación no estaba todavía

explotado y por lo tanto no era productivo para el negocio. Se lo hacía con proyección futura para optimizar su utilización en una bodega principal para la empresa. La empresa de este local se lo constituye legalmente como EL CENTRO DEL CONSTRUCTOR CIA. LTDA.

En el año 1993 se adquiere un nuevo local de 1300 m² en el sector de San Rafael, en la vía al Tingo y Primera transversal, en este local se lo constituye como GAMACERO CIA. LTDA.

En el año de 1999, se adquiere un nuevo local de 1200 m², ubicado en el sector de la entrada al Comité del Pueblo, calle Juan Molineros y Eloy Alfaro. Este local se lo constituye como JORGE MULLO DISTRIBUCIONES CIA. LTDA.

Durante el período de 1984 a 1999, se contaba con varias sucursales en diferentes sectores de Quito, contando con aproximadamente 65 trabajadores en las diferentes sucursales. Durante este período las sucursales distribuían y comercializaban materiales para la industria, hierro de construcción, tubería de acero, materiales eléctricos y sanitarios, etc.

En el año 2000, se arrienda un local comercial de 1250 m², en la ciudad de Santo Domingo de los Colorados, este local se lo constituye como ACEROSCENTER CIA. LTDA.

Durante el periodo de Enero del año 2001 a Septiembre del año 2002 se realizó la fusión por absorción de las siguientes empresas:

- Importadora Cerrajera Cia. Ltda.
- Gamacero Cia. Ltda.
- Centro del Constructor Cia. Ltda.
- Jorge Mullo Distribuciones Cia. Ltda.
- Aceroscenter Cia Ltda.

El nombre de ACEROSCENTER CIA. LTDA., se tomó como razón social de la nueva compañía. Duro la fusión por absorción el tiempo aproximado de 2 años. El objeto social de la Compañía es la compra, venta, comercialización y distribución de materiales de construcción; importación y exportación, compra, venta distribución y comercialización, al por mayor y menor de: maquinaria y equipos para la industria; sus partes, piezas, y accesorios, herramientas de toda clase; materiales de construcción, materiales eléctricos y sanitarios, hierro de construcción; tuberías de acero, accesorios; pinturas, lacas, y diluyentes; artículos de ferretería en general.

En el año 2007 se abre un nuevo local ubicado en la ciudad de Ambato en las calles Quiz Quiz y Atahualpa, este local es arrendado con una superficie de aproximadamente de 800 m² de superficie.

En el año 2011 se abre un nuevo local ubicado en la ciudad del Coca en las calles Alejandro La Vaca y Los Papayos, este local es arrendado con una superficie aproximadamente de 700 m² de superficie.

Actualmente Aceroscenter Cía. Ltda., cuenta con 9 sucursales dentro del país, 5 de las cuales se encuentran dentro de la ciudad de Quito y las demás fuera de la ciudad. Con el pasar de los años la empresa ha aumentado también en el personal de trabajo, contando actualmente con 100 trabajadores.

1.5.2. Misión de la empresa

Proveer materiales de calidad para la construcción y metalmecánica comprometidos con la excelencia en el servicio, para satisfacer las necesidades del cliente.

1.5.3. Visión de la empresa

Ser reconocidos como la empresa líder a nivel nacional en proveer productos y servicios para la construcción y metalmecánica, innovándonos a los requerimientos del mercado y generando beneficios económicos con responsabilidad social.

1.5.4. Valores empresariales

1.5.4.1. Valores éticos

- ✓ Conducta ética.
- ✓ Respeto.

✓ Responsabilidad.

1.5.4.2. Valores profesionales

✓ Compromiso.

✓ Lealtad.

✓ Eficiencia.

2. CAPÍTULO 2: MARCO TEÓRICO

2.1. Estampado

Se define con el término estampado aquel conjunto de operaciones con las cuales, sin producir virutas, se somete una chapa plana a una o más transformaciones, con el fin de conseguir una pieza obteniendo la forma geométrica propia, sea ésta plana o hueca. En otros términos, la chapa es sometida a una elaboración plástica.

Para obtener este tipo de transformaciones de la chapa, se realizan operaciones en dispositivos llamados matrices o estampas, y a su vez éstos funcionan en máquinas denominadas prensas. Cuando se trata de realizar una operación, donde la pieza tiene una estructura compleja, el proceso de transformación se lo puede realizar mediante una sucesión de estampados. Las operaciones del “estampado” de la chapa generalmente se subdividen en:

- a) Cortar;
- b) Doblar y curvar;
- c) Embutir.

Cuando se refieren a las operaciones de corte, doblado y curvado, éstas se las realizan generalmente en frío, mientras que la operación de embutido se la puede realizar en frío o caliente, dependiendo de los requerimientos.

No se especifica el literal a), por no utilizar este tipo de operación durante el desarrollo del proyecto.

2.1.1. Doblado, curvado:

Las operaciones de doblar y curvar ocupan un lugar importante dentro de las fases productivas del estampado, ya que existen muchos objetos que después de haber pasado por una acción de corte, deben someterse a uno o varios procedimientos de este tipo de operación. Durante el doblado, curvado es fundamental que la chapa no experimente un alargamiento, ya que esto daría lugar a la variación del espesor; y el objeto de esta operación es variar la forma de la chapa sin alterar su espesor, con el fin de que sus secciones permanezcan constantes.



Fig. 1: Ejemplo de la operación doblado

Fuente: thefabricator.com

2.1.2. Embutido:

La embutición consiste en una operación en la cual el material, que originalmente tiene una forma plana, se transforma en un cuerpo hueco por medio de alargamiento. Es fundamental que dentro de esta operación no exista variación en el espesor, para lograr que la superficie de la pieza producida sea equivalente a la de la chapa plana.

Este proceso se explica en la figura 2, en donde se obtiene una pieza embutida cilíndrica:

- I. Se coloca el disco de chapa D sobre el aro para embutir.
- II. Desciende el pisón de sujeción y el punzón de embutir. El pisón entra antes en contacto con el disco de chapa y lo sujeta ejerciendo presión sobre su contorno exterior

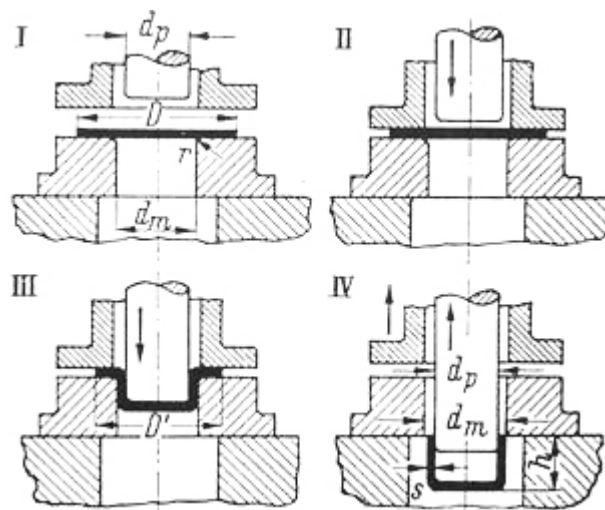


Fig. 2: Proceso de embutición de piezas cilíndricas huecas

Fuente: Diseño de matrices-JR. Paquín

III. El punzón de diámetro d_p , establece ahora contacto con la chapa y, presionando, la embute a través de la abertura del aro para embutir, con lo que el material del disco fluye por encima de la arista de embutición de radio r y el diámetro D de dicho disco disminuye hasta alcanzar el valor D' .

IV. Una vez se ha conseguido la forma hueca definitiva, habiendo el punzón alcanzado su posición más baja, éste y el pisón vuelven a subir.

2.2. Estudio de los ciclos de estampado:

El ciclo del estampado consiste en una sucesión ordenada de operaciones tecnológicas que transforman parte de una chapa plana en una pieza de forma definida, depende de diversos factores:

1. De la forma de la pieza a obtener;
2. De sus dimensiones:
3. De la calidad del material que constituye la chapa que se va a trabajar.

Explicando los tres factores mencionados anteriormente, se tiene:

1. *La forma de la pieza a obtener:* dentro de este factor existe una relación proporcional entre el número de operaciones y la complejidad de

la forma; esto quiere decir que mientras más simple sea una pieza, menor va a ser el número de operaciones necesarias para obtenerla.

2. *Las dimensiones de la pieza:* este factor también influye sobre la determinación del número de operaciones necesarias para obtener la pieza final.

3. *La calidad del material que constituye la chapa a trabajar:* este factor influye igualmente sobre el número de operaciones necesarias para obtener una pieza; esto quiere decir que para obtener una misma pieza es necesario un mayor o menor número de operaciones en relación a la menor o mayor plasticidad de la chapa empleada.

Siempre se debe considerar estos factores al momento de la determinación del ciclo de estampado, para lograr obtener una pieza con las solicitudes requeridas.

2.3. Matrices de estampado

Bajo la denominación de estampado se incluyen distintos sistemas de dar forma. Básicamente, ha de diferenciarse entre:

a) Estampación sin variar el espesor del material. Este procedimiento se designa como estampado hueco, estampado plano o estampado de conformación. La operación se realiza en piezas no demasiadas gruesas, utilizando prensas de manivela y excéntricas.

b) Estampación con variación del espesor del material. En este caso se producen cambios en la superficie y en el espesor del material. Por lo general, este procedimiento constituye la estampación propiamente dicha. Además, en contraposición al procedimiento de estampación sin variar el espesor del material, también se denomina estampación total o masiva. Las piezas estampadas con este sistema se obtienen en prensas hidráulicas.

2.3.1. Clasificación de las matrices de estampado:

Las matrices que se emplean para el estampado en frío se clasifican según lo descrito anteriormente, de acuerdo a la existencia de la variación del espesor del material.

2.3.1.1. Matriz de estampado sin variar el espesor del material:

En este tipo de matrices, el diseño que hay que obtener por estampado, está hundido en la parte inferior de la matriz y en relieve en la parte superior de la misma, de tal manera que la chapa es estirada, curvada o comprimida en la zona hundida de la placa inferior, y con ello, el material solamente sufre solicitaciones de flexión o alargamiento.

En todos los casos, y principalmente en aquellos en donde se exigen piezas que deben tener una buena presentación, se

recomienda que la matriz se adapte a un armazón con columnas y casquillos guía; de lo contrario existe el peligro de que la placa superior quede descentrada con respecto a la inferior. Generalmente, los punzones van atornillados y enclavijados a la placa porta punzones, y la placa matriz, a la placa porta matriz.

2.3.1.2. Matriz de estampado con variación del espesor del material:

Para realizar operaciones en las que el espesor del material sufre variaciones, se utilizan matrices construidas totalmente de acero, siendo moldeadas cuando se trata de realizar operaciones de estampado en frío y en caliente. Debido a los movimientos del material es preciso que la matriz se sitúe en un armazón con columnas y casquillos guía.

El material original de la pieza ha de ser lógicamente blando, pues debe tenerse en cuenta que, una vez estampado, adquiere una elevada resistencia en las zonas comprimidas. Al efectuar las cavidades en la estampa, éstas deben presentar un poco de conicidad decreciente hacia el interior, para lograr que la pieza estampada pueda sacarse de la parte inferior de la matriz.

2.4. Elementos que conforman una matriz de estampado:

Uno de los modelos más corrientes construidos de chapa, para embutir piezas de pequeñas y medianas dimensiones, se muestran en la Fig. 3 con sus elementos más importantes:

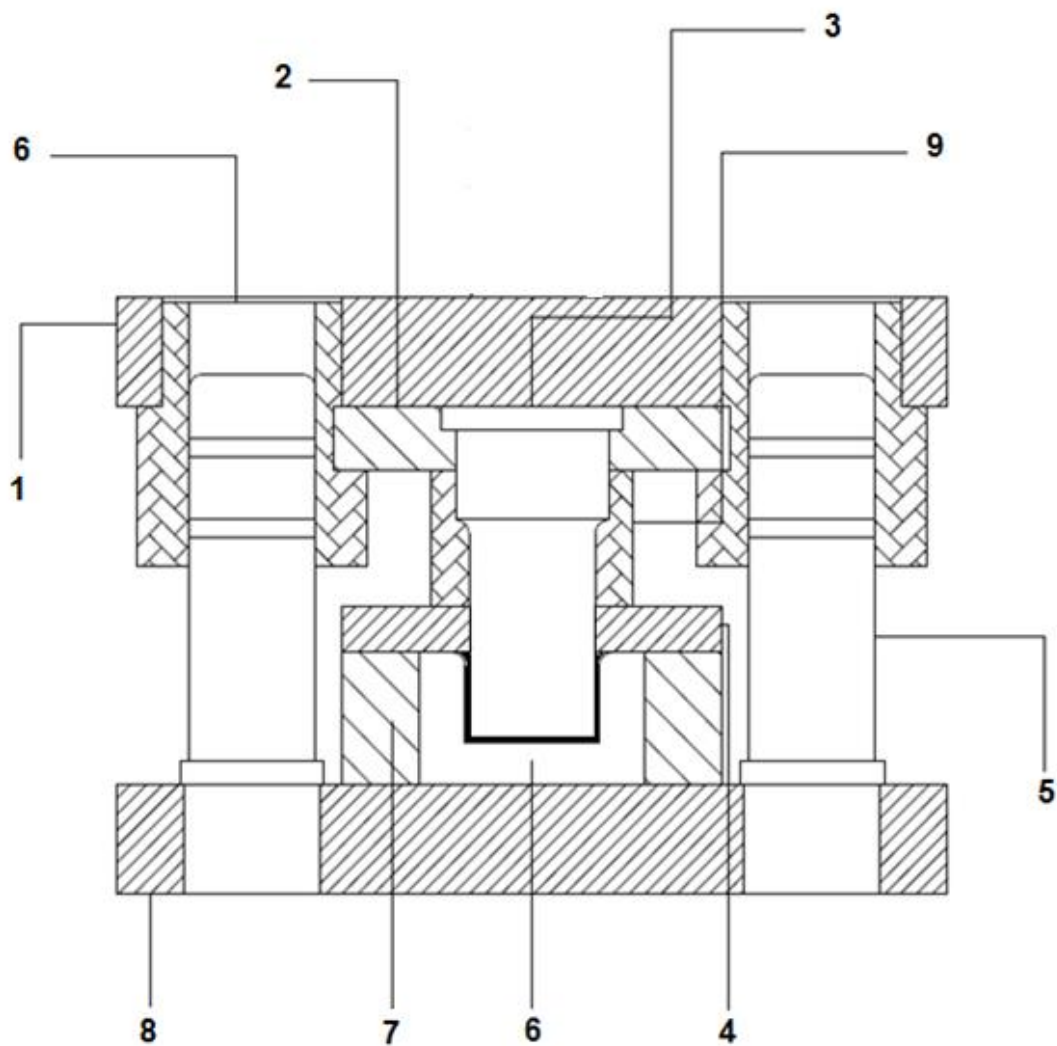


Fig. 3: Partes de una matriz.

1. Placa superior.
2. Porta punzón.

3. Punzón.
4. Prensachapas.
5. Columnas y casquillos guías.
6. Matriz.
7. Porta matriz.
8. Placa inferior.
9. Elemento elástico.

2.4.1. Placa superior:

La placa superior es la que va unida al vástago, tiene por función frenar al punzón.

2.4.2. Placa porta punzón:

La placa porta punzones, es el elemento destinado a llevar el punzón. En esta placa se realiza los agujeros del mismo diámetro que el punzón, de tal manera que quede bien asentada a presión o mediante una raíz cilíndrica y tornillos.

La placa porta punzón puede disponerse de uno o más punzones ensamblados en la base de este.

2.4.3. Punzón:

En las matrices se usan punzones de diferentes construcciones y finalidades. Las formas geométricas de su parte de trabajo se escogen según el destino y la forma de la pieza a estampar y las dimensiones operacionales se determinan por cálculo.

La fijación de los punzones a la parte móvil superior de la prensa puede hacerse según las funciones:

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

Si la matriz tiene un solo punzón, puede construirse integralmente, es decir, introducir en la parte superior cilíndrica en la parte macho de la prensa y fijado lateralmente con tornillos.

Si, en cambio, la matriz lleva más punzones, éstos se fijan mediante un órgano intermedio llamado placa porta punzones, la misma que está unido a la placa superior, mediante tornillos.

En caso de las matrices de precisión se puede interponer entre la placa superior y la placa porta punzones, una placa de acero cementado

y templado, para impedir que las cabezas de los punzones se incrusten en la parte blanda.

Otros sistemas de fijación de los punzones pueden ser mediante tornillos, espárragos, tornillos laterales aplicados al punzón.

2.4.4. Prensachapas:

El prensachapas tiene la finalidad de evitar la formación excesiva de pliegues en el contorno de la lámina. Este elemento debe aplicar una presión apropiada antes del inicio de la operación y mantenerla a lo largo de esta.

2.4.4.1. Tipos de prensachapas:

Cuando se trabaja con un material de espesor delgado, o cuando se realiza un embutido profundo de mayor diámetro, los productos pueden salir con arrugas en la pared y no servirían para la aplicación a la cual fueron diseñados. Para evitar este fenómeno se utiliza diferentes tipos de prensachapas, los cuales son:

Los prensachapas de tipo fijo pueden ser planos o con una ligera inclinación y permiten fácilmente el deslizamiento de la lámina impidiendo la aparición de defectos, mientras que el espesor de las distintas zonas de la pieza embutida tienen una variación mínima.

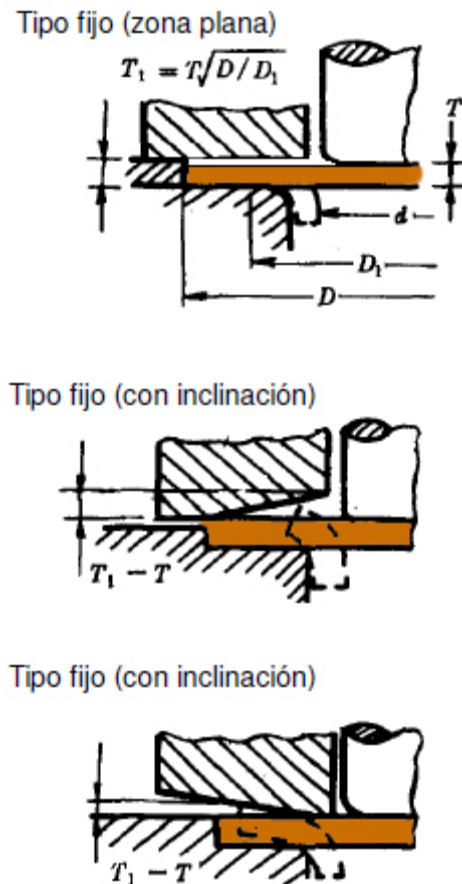
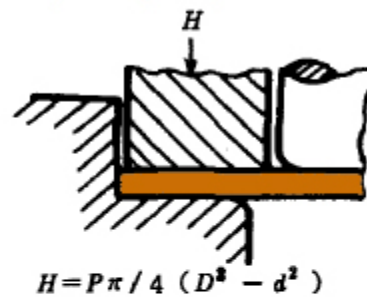


Fig. 4: Ejemplo de Prensachapas tipo fijo

**Fuente: Conocimientos prácticos de los herramientas
de Embutido.**

Los prensachapas de presión o los prensachapas con freno controlan o impiden el deslizamiento de la lámina y este tipo de elementos se los utiliza cuando se quieren obtener espesores de pared más finos que el espesor de la lámina inicial.

Tipo control de
presión (zona plana)



Otros (Cuando se coloca el freno)



Fig. 5: Ejemplo de Prensachapas de presión y de freno.

**Fuente: Conocimientos prácticos de los herramientas
de Embutido.**

2.4.5. Columnas y casquillos guías:

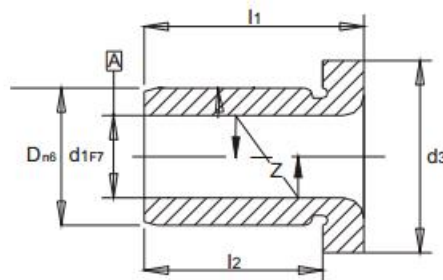
Estos elementos tienen la finalidad de asegurar la coincidencia exacta de las placas superior e inferior de la matriz, y, por consiguiente, la coincidencia exacta de los punzones y matrices en el estampado. La utilización de las columnas y casquillos guías simplifica la instalación y el ajuste de la matriz sobre la prensa.

El bloque de la matriz puede tener varios conjuntos de columnas y casquillos. Se pueden empotrar las columnas y casquillos a la placa

superior e inferior de la matriz, con el propósito de tener mayor facilidad al evacuar las piezas estampadas, las columnas se empotran a la placa inferior y los casquillos a la placa superior.

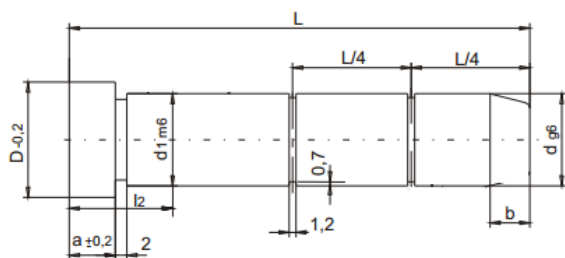
Para cada matriz se necesita por lo general dos columnas de alineación o centrado, que se disponen en la mejor forma a fin de no obstaculizar los movimientos del operario. Las dos columnas de una misma matriz pueden tener el mismo diámetro.

En la figura que se muestra a continuación se detalla las diferentes dimensiones que posiblemente puedan tener las columnas y casquillos guía y se toma como referencia la norma DIN 172A:



CONTINÚA →

d1 (F7)	D (n6)	d3	Z	CORTO / SHORT		LARGO / LONG	
				l1	l2	l1	l2
0,9 a 1,0	3	6	0.005	6	4	9	7
1,1 a 1,8	4	7	0.005	6	4	9	7
1,9 a 2,6	5	8	0.005	6	4	9	7
2,7 a 3,3	6	9	0.005	8	5,5	12	9,5
3,4 a 4,0	7	10	0.005	8	5,5	12	9,5
4,1 a 5,0	8	11	0.005	8	5,5	12	9,5
5,1 a 6,0	10	13	0.01	10	7	16	13
6,1 a 8,0	12	15	0.01	10	7	16	13
8,1 a 10,0	15	18	0.01	12	9	20	17
10,1 a 12,0	18	22	0.01	12	8	20	16
12,1 a 15,0	22	26	0.01	16	12	28	24
15,1 a 18,0	26	30	0.01	16	12	28	24
18,1 a 22,0	30	34	0.01	20	15	36	31
22,1 a 26,0	35	39	0.02	20	15	36	31
26,1 a 30,0	42	46	0.02	25	20	45	40



CONTINÚA →

d g6	D -0,2	a +0,2	b	L															
				40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	300	360			
10	12	3	4	*	*	*	*												
12	16	6	7		*	*	*	*											
14	18	8	7		*	*	*	*	*										
15	18	8	7		*	*	*	*	*	*									
16	20	8	7			*	*	*	*	*	*			*	*				
18	22	8	7			*	*	*	*	*	*	*		*	*				
20	24	8	7				*	*	*	*	*	*	*	*	*				
22	26	15	7				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*			
24	28	15	7							*	*	*	*	*	*	*	*		
30	36	15	7								*	*	*	*	*	*	*	*	*
32	36	15	7									*	*	*	*	*	*	*	*
40	48	15	10										*	*	*	*	*	*	*
50	58	15	15											*	*	*	*	*	*
60	68	20	20												*	*	*	*	*

d g6			L																
			40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	300	360				
10	L2	17	17	22	27														
12	I2		17	22	27	36													
14	I2		17	22	27	36	46	46											
15	I2		22	27	27	36	46	46											
16	I2			27	27	36	46	46	56	56									
18	I2			27	27	36	46	46	56	56	56								
20	I2				36	46	46	46	56	56	76								
22	I2				36	46	46	46	56	56	76	76							
24	I2								56	56	76	76							
30	I2								56		56	76	76						
32	I2										56	76	76						
40	I2										56	76	76	96					
50	I2										56	76	76	96	96				
60	I2											76	76	96	96	116			

Fig. 6: Dimensiones de columna guía y casquillo guía

Fuente: Catálogos Kalipyansan

2.4.6. Matriz o sufridera:

La matriz, es el elemento que guía y moldea el objeto en la operación de estampado por embutición. La placa matriz puede llevar un porta matriz o ser fijadas directamente a la placa inferior. Las matrices pequeñas se empotran a presión en los portadores que se fijan, por medio de tornillos y clavijas a la placa inferior.

Las construcciones de las matrices dependen del tipo de operación tecnológica (corte, doblado, embutición, etc.).

Una matriz puede estar compuesta de varias matrices pequeñas o casquillos, los cuales, el momento de romperse o dañarse, pueden ser cambiados, sin necesidad de cambiar toda la matriz, esto, aunque complica el trabajo inicial en la construcción de una matriz, reduce a futuro los costos y el tiempo de recambio. Las matrices se fabrican del mismo material del punzón.

El espesor de la placa matriz o sufridera está determinado por:

- Espesor de la chapa que se va a usar.
- Material de la chapa
- Espesor de aceros especiales disponibles en el mercado.

Tabla 1

Relación espesor chapa metálica y placa matriz

Espesor de Chapa		Espesor Placa matriz	
in	mm	in	mm
0 a 1/16	1.6	15/16	23
1/16 a 1/8	3.2	1 1/8	28.6
1/8 a 3/16	4.8	1 3/8	35
3/16 a ¼	6.4		
Más de ¼	Más de 6.4	1 7/8	47.6

Fuente: Diseño de matrices-JR. Paquín

2.4.7. Placa Porta Matriz:

Para que una matriz cumpla adecuadamente su función debe estar provista de órganos apropiados llamados porta matrices.

Esto es necesario por los siguientes motivos:

- Necesidad económica de reducir el empleo de los aceros especiales.
- Comodidad de poder regular la alineación.
- Facilidad de solo cambiar la matriz.

Así también, las principales características que debe cumplir una base porta matriz son las siguientes:

- Los medios para fijar la matriz.
- Los medios para fijar la base porta matriz sobre la mesa.

La matriz puede ser fijada al porta matriz por tornillos, clavijas tangenciales, tornillos de presión, tornillos ala de mosca que se encajan en la propia matriz y aseguradas con clavijas cónicas. También pueden ser posicionadas mediante varias regletas fijadas contra el plano inclinado por los tornillos, las regletas pueden ser de diferente espesor.

2.4.8. Placa Inferior:

La placa inferior sirve como asiento para la matriz cuando esta desciende. Es decir, cuando la presión es ejercida por el punzón

comienza a descender, y una vez que la matriz descansa sobre la placa inferior, la pieza estampada energéticamente por el punzón.

2.4.9. Elemento elástico:

Dentro de este componente, la herramienta principal que se utiliza son los resortes, que tienen su principal aplicación en las matrices de estampación.

Los resortes son componentes mecánicos muy empleados e importantes dentro del diseño de máquinas, ya que tienen la característica de absorber energía, producir fuerzas, mantener una presión de contacto, absorber vibración, etc. Una de las características principales de estos componentes es que pueden recuperar su forma inicial cuando se quita la carga que los mantiene accionados ya sea en tensión, compresión o torsión.

En la figura que se muestra a continuación se puede observar los diferentes tipos de resortes mecánicos.



Fig. 7: Tipos de resortes: a) Compresión, b) Tracción, c) Torsión.

Fuente: Diseño de Máquinas, Aaron D. Deutschman.

2.4.9.1. Resortes de plástico uretano:

Los resortes de plástico uretano son elementos elásticos capaces de absorber y amortiguar fuerzas, tanto de impacto como constantes. Este tipo de resortes son utilizados en sustitución de los resortes helicoidales tradicionales empleados en matrices u otras aplicaciones, como para la absorción de energía o amortiguación en múltiples aplicaciones industriales.

La característica principal en comparación con los resortes de acero es la fiabilidad en situaciones de emergencia, ofreciendo una larga vida de servicio sin mantenimiento. Los resortes de plástico uretano poseen una mayor resistencia a la sobre-carga así como una excelente capacidad de absorción de impactos.

Los resortes hechos de plástico uretano se utilizan en aplicaciones donde los resortes convencionales podrían ser afectados por corrosión, vibración o fuerzas acústicas o magnéticas.

En la figura que se muestra a continuación podemos observar dos tipos diferentes de resorte cilíndricos de poliuretano según la norma DIN ISO 10069-1:

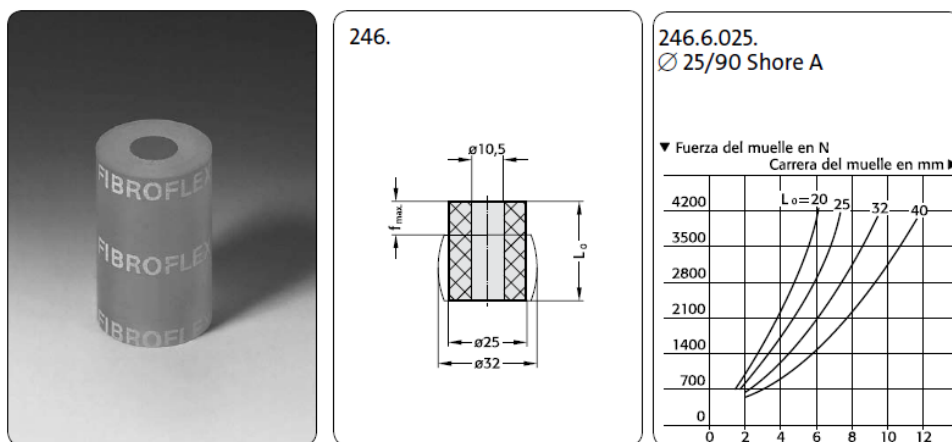


Fig. 8: Resorte Cilíndrico poliuretano de $\varnothing 25$ mm.

Fuente: Catálogos Fibro.

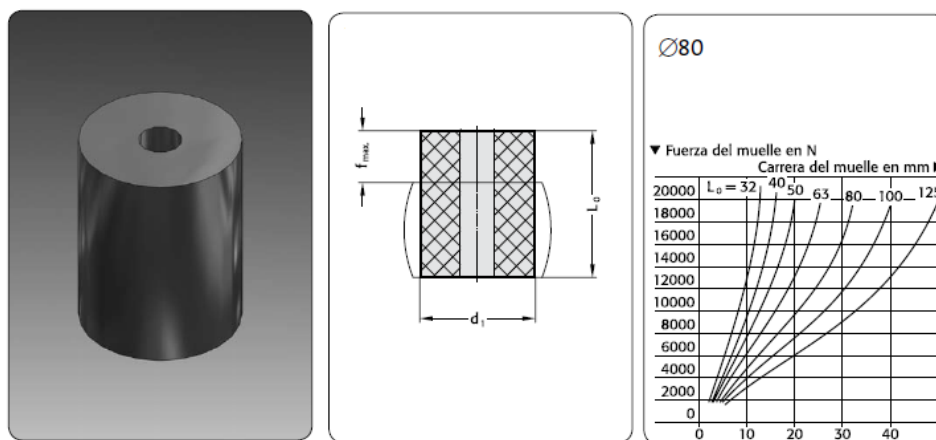


Fig. 9: Resorte Cilíndrico poliuretano de $\varnothing 80$ mm.

Fuente: Catálogos Fibro.

2.4.10. Piezas de sujeción y expulsión de matrices:

Son los apoyos, plantillas, fijadores, listones guías, sujetadores laterales, etc.

Los apoyos están destinados a orientar bien la chapa, banda, lámina o pieza bruta suministrada a la matriz. La pieza bruta que viene a la matriz, choca contra el apoyo y se fija en una posición estrictamente determinada, es decir en la dirección de avance respecto al punzón o la matriz. Los apoyos se utilizan en caso del estampado con avance manual.

2.5. Parámetros de diseño

2.5.1. Fuerza ejercida por el punzón para embutir:

La fuerza ejercida por un punzón en una embutición depende principalmente de la resistencia media a los cambios de forma, del diámetro del punzón de embutición, del diámetro del recorte y del espesor del material.

Es fundamental conocer que la forma que se desea embutir, la fuerza de sujeción de la lámina, la velocidad de la operación de embutición, el redondeo de la arista de embutición, la holgura entre la matriz y el punzón y aun el tipo de lubricante, tienen una influencia insignificante sobre la magnitud de la fuerza que ejerce el punzón.

La fuerza de embutición aumenta con rapidez al iniciarse la carrera del punzón y alcanza su valor máximo cuando este queda introducido hasta una profundidad determinada en el aro de embutición.

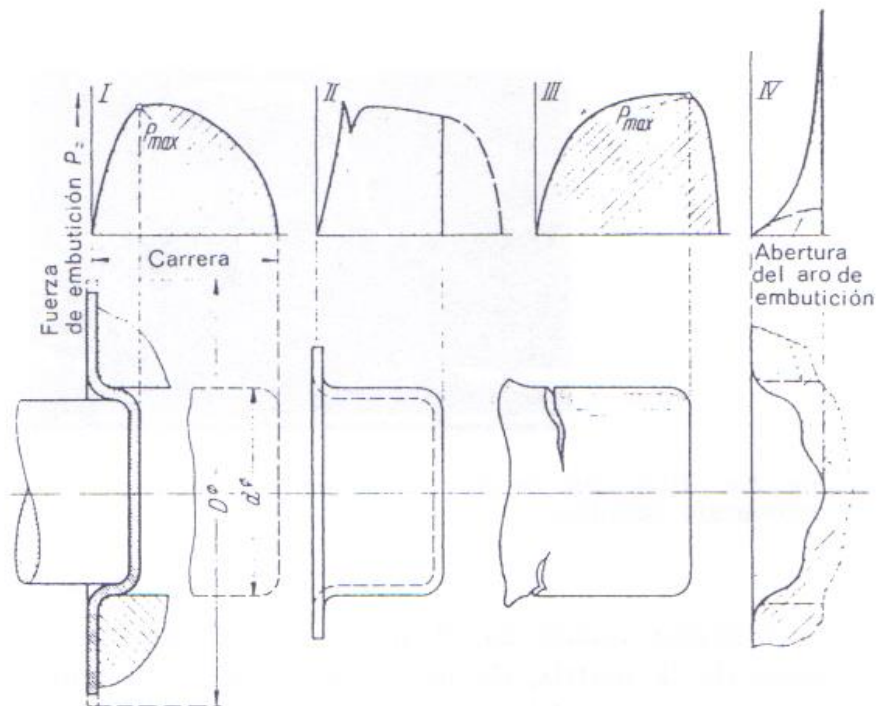


Fig.10: Gráficos de la fuerza de Embutición.

**Fuente: Herramienta de Troquelar, Estampar y Embutir, Oehler
Gerhard.**

A continuación se expone una fórmula que permite determinar la fuerza necesaria para embutir:

$$P = \frac{d \cdot \pi \cdot s \cdot K_{ct}}{\eta_{form}} \cdot \ln \frac{D}{d} \quad \text{Ecu. (1)}$$

Dónde:

P: Fuerza necesaria para el proceso de embutición (Kgf).

D: Diámetro del recorte (mm).

d: Diámetro del punzón de embutición (mm).

s: Espesor de la lámina (mm).

Kct: Resistencia media al cambio de forma (Kgf/mm²).

Nform: El coeficiente de cambio de forma. Valores comprendidos entre 0,4 y 0,65.

Tabla 2

Resistencia al cambio de forma de Embutición.

MATERIAL DE LA LÁMINA METÁLICA	Resistencia de la lámina a la tracción
	(K _{ct}) Kg/mm ²
Acero comercial	40
Acero inoxidable	70
Cobre	30
Aluminio	17
Duraluminio	45
Acero dulce	36
Bronce	45
Latón	33
Zinc	20
Plata	24

Fuente: Teoría de la embutición, Fundación Ascamm.

Para los respectivos cálculos de la fuerza ejercida por el punzón, se necesita el dato del diámetro de recorte, que se lo calcula de la siguiente manera:

$$D = \sqrt{d_7^2 + 4(d_1 * h_1 + d_2 * h_2 + d_3 * h_3 + d_4 * h_4 + d_5 * h_5 + d_5 * h_5)} \quad \text{Ecu. (2)}$$

Dónde:

D: Diámetro de recorte (mm).

d: Diámetros de los diferentes niveles del punzón (mm).

h: Alturas de los diferentes niveles del punzón de embutido (mm).

2.5.2. Holgura entre punzón y matriz:

El juego entre el punzón y la matriz depende del grueso de la chapa y de la calidad del material, que podrá ser duro, dulce o blando. Para la chapa metálica, generalmente, está subordinado al espesor y varía proporcionalmente con éste. El juego u holgura, considerado bajo el punto de vista de las diferentes clases de materiales, tendrá que ser mayor para el acero laminado duro que para el acero dulce, latón y aluminio. Para punzones de grandes dimensiones, tendrá que ser de proporciones ligeramente mayores, mientras que para punzones de tamaño normal será constante para cada dureza del metal.

Las holguras suelen ser de 7 a 14% mayores que el espesor de la chapa. Si son muy estrechas, puede que la lámina tan sólo se perfore o corte con el punzón.

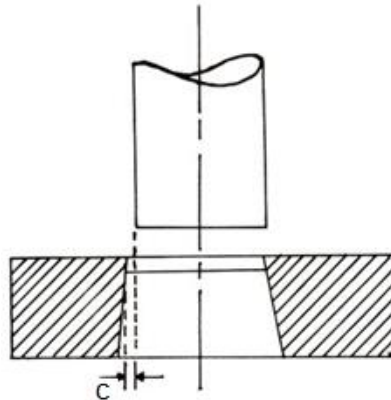


Fig. 11: Holgura para Embutición.

Fuente: Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Kalpakjian Serope.

El valor c viene determinada por la siguiente ecuación:

$$c = s + (7 - 14\%) * s \quad \text{Ecu. (3)}$$

Donde:

c : Holgura entre punzón y matriz para embutido.

s : Espesor de la chapa.

2.5.3. Lubricación:

Cuando se tenga que elegir el lubricante se debe considerar la disposición de la matriz, la velocidad de embutición y las características que ha de tener la lámina (su resistencia y alargamiento, su composición y acabado superficial).

Cuando se transforma una lámina metálica en un cuerpo cóncavo obtenido por embutición, se desarrollan esfuerzos en las fibras del material, generándose durante el proceso, resistencias de fricción entre la lámina a transformar, el punzón y la matriz; produciéndose como consecuencia bastante calor.

Para evitar estas consideraciones de fricción y a su vez lograr una reducción en las probabilidades de romper las fibras de la lámina, se debe realizar una lubricación adecuada de las superficies de rozamiento; con este lubricado no solo se reducen los esfuerzos de fricción sino que también se logra un aumento en la capacidad de transformación del material para obtener un trabajo con un mejor acabado.

Según los diversos materiales con que se trabaje, el lubricante puede ser de varias clases como se lo indica a continuación.

Tabla 3**Productos de lubricación para distintos trabajos.**

Operación	Acero	Latón, cobre y bronce	Plomo, zinc, estaño, metal blando	Aluminio y sus aleaciones
Embutido	Aceite soluble	Agua y jabón	Aceites minerales y grafito	Aceite de vaselina. Vaselina. Aceite con grafito
Estirado	Aceite soluble	Agua y jabón. Aceite de ricino	Aceites minerales y grafito	Aceite de vaselina. Vaselina. Aceite con grafito. Aceite de ricino + Aceite mineral.
Extrusión			Aceites minerales y grafito	1/2 litro aceite de ricino + 1/4 litro aceite mineral + 1/4 litro de agua y 100 gramos polvo de talco.

Fuente: Troquelado y Estampación, Tomás López Navarro.

2.5.4. Velocidad de embutición:

Se entiende por velocidad de embutición, al desplazamiento por unidad de tiempo que tiene el punzón al momento de realizar la operación de embutición.

Existe una velocidad óptima para los distintos tipos de metales, con el fin de permitirle el tiempo necesario para pasar al estado plástico sin que se produzcan roturas. Las velocidades más recomendadas se muestran a continuación.

Tabla 4**Velocidad de Embutición recomendada**

Cinc y acero inoxidable:	200 mm/s
Acero dulce:	280 mm/s
Aluminio:	500 mm/s
Latón:	750 mm/s

Fuente: Teoría de la embutición, Ascamm.

En el caso de embutir piezas no cilíndricas, se recomienda velocidades pequeñas con el fin de reducir el riesgo de adelgazamiento del material. Para este caso se puede determinar su velocidad con la siguiente fórmula:

$$V = 33,33 \cdot \left(1 + \frac{dm}{D} \cdot \sqrt{D - dm} \right) \quad \text{Ecu. (4)}$$

Dónde:

V: Velocidad de embutición (mm/s).

D: Diámetro del recorte (mm).

dm: Diámetro externo de la pieza embutida (mm).

2.5.5. Fuerza de sujeción de la lámina metálica:

La fuerza que ejerce el pisador sobre la lámina, tiene una gran importancia durante el proceso de embutición ya que una fuerza

demasiado baja provocaría la formación de arrugas y pliegues en los bordes de la lámina metálica, mientras que una fuerza muy elevada provocaría que la lámina no resbale el momento de la embutición produciéndose así un excesivo alargamiento de las fibras del material y su rotura prematura.

Para determinar la fuerza que debe ejercer el pisador sobre la lámina metálica se aplica la siguiente fórmula:

$$F_s = p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - dm^2) \quad \text{Ecu. (5)}$$

Dónde:

F_s: Fuerza de sujeción de la lámina (Kgf).

D: Diámetro del recorte (cm).

dm: Diámetro externo de la pieza embutida (cm).

p: Presión específica unitaria del pisador (Kg/cm²).

Tabla 5**Presión Unitaria del pisador para materiales**

MATERIAL	Presión Unitaria del Pisador	
	Kg/cm ²	MN/m ²
Acero	30	2.45
Estaño (blanco)	25	2.94
Plata (nueva)	18	1.76
Bronce	25	2.45
Cobre	20	1.96
Latón	20	1.96
Zinc	15	1.47
Aluminio	15	1.47

Fuente: Teoría de la embutición, Ascamm.

2.5.6. Material para matrices de embutición:

Elegir un determinado tipo de acero de acuerdo con la función que debe cumplir en la matriz es una de las tareas más importantes. La elección del material debe hacerse en relación a los siguientes factores:

- a) Según las dimensiones de la matriz.
- b) Según el tipo de matriz, es decir, si es para cortar, doblar, embutir, etc.
- c) Según la temperatura a que debe trabajar la matriz, o sea, si es en frío o en caliente.
- d) Según el tipo de material que debe trabajar la matriz.

A continuación se detallan materiales con los que se construyen las matrices de embutición:

Fundición de hierro.- con la denominación de fundición de hierro o hierro fundido, se designa una combinación de carbono y hierro con más del 1,7% C; en la mayoría de los casos el contenido de carbono está comprendido entre 2% y 4%.

La fundición de hierro, aún con poca resistencia, resulta adecuada para punzones y aros de embutición, este tipo de material encuentra una aplicación cada día más extensa en la construcción de matrices de embutición, sin que sea preciso reforzarla con acero.

Aceros moldeados.- la resistencia al impacto en las fundiciones de hierro no es sensiblemente menor que en el acero moldeado; por ello, para las partes superiores de las matrices y las placas de base de columnas de guía ofrece suficiente garantía la fundición de hierro.

El acero moldeado resulta inadecuado como material para las superficies de trabajo de las matrices de embutición, puesto que deja estrías y raya las superficies de las piezas.

Para las placas guía punzones el acero blando resulta suficiente; mientras que para los vástagos de fijación, placas de base y otras piezas similares han de construirse con aceros de dureza media. Los topes auxiliares laterales, todos los tipos de tope en general, así como los

expulsores, no se harán de acero blando, sino de acero de construcción como por ejemplo el acero ASTM A36.

Metal duro.- para elegir el tipo de metal duro, es muy importante tomar en cuenta la forma de la matriz, el estado y el diseño de la máquina. Las piezas de paredes delgadas o de sección transversal fina, que se trabajan en prensas antiguas, precisan un tipo de metal duro más tenaz que las de sección transversal gruesa, que se trabajan en prensas potentes con buenas guías.

Las matrices de embutición se refuerzan casi siempre con metal duro con el fin de hacerlos más resistentes al desgaste.

2.5.7. Tratamiento térmico de materiales:

Los tratamientos térmicos a los que se someten los aceros para la construcción de una matriz son los siguientes:

- a) Recocido.
- b) Temple.
- c) Revenido.

a) Recocido:

Tiene por objeto eliminar las tensiones internas que puedan existir, ofrece la gran ventaja de proporcionar al acero el grado máximo de reblandecimiento necesario para el trabajo a máquina y a mano, así como la de proporcionar la máxima tenacidad para

las partes que no han de ir templadas. Las reglas principales para obtener un buen recocido son:

1. Calentar lentamente y regularmente, para que toda la masa metálica se encuentre a igual temperatura.
2. Mantener la pieza a la temperatura indicada, por un período de tiempo suficiente para asegurar el equilibrio de la temperatura y también para dar tiempo a las transformaciones alotrópicas que se producen.
3. Enfriar muy lentamente.

b) Temple:

Dentro de este tratamiento térmico intervienen dos factores muy importantes que son el calentamiento y la temperatura, los cuales se explican a continuación:

Calentamiento.- durante el calentamiento para el temple, el carbono contenido en el acero pasa del estado de carburo al de solución. El enfriamiento que se debe realizar durante este procedimiento tiene que ser rápido, para lograr una estructura especial caracterizada por su elevada dureza. Actualmente el calentamiento más adecuado es el baño de sal o baño metálico, ya que brinda mejores resultados, trabaja a la temperatura más óptima y evita la oxidación.

Temperatura.- cada calidad de acero tiene sus límites de temperatura de temple. Para piezas pequeñas y delgadas, por

estar sujetas a un más rápido enfriamiento, es necesario atenerse al límite inferior; en cambio, las piezas de mayores dimensiones e igual material se pueden temprar al límite superior.

Durante este procedimiento, el acero adquiere mayor dureza y tenacidad si durante el trabajo se trabaja a la temperatura indicada, caso contrario el acero no se transforma y permanece dulce.

c) Revenido:

El objetivo fundamental del revenido es el de disminuir las tensiones internas producidas por el temple, eliminar el riesgo de agrietamiento y aumentar la tenacidad del acero disminuyendo, al mismo tiempo, su fragilidad.

Las piezas muy grandes, cuyas superficies al calentarse se revienen más pronto que las esquinas, no se deben revenir al calor interno, porque de esta manera se provocaría un revenido desigual, que a su vez produciría grietas. En estos casos se realiza el revenido exterior mediante arena caliente, o bien en un baño metálico, para prolongar el tiempo de revenido.

2.5.8. Tolerancias:

En el diseño de cualquier pieza o herramienta se debe considerar cierta tolerancia para su fabricación. Existen dos tipos de tolerancia; la tolerancia dimensional y la tolerancia geométrica. La primera controla las medidas o dimensiones de una pieza; mientras que la otra controla la

forma, posición, orientación que tengan los elementos a los que se aplica la tolerancia dimensional.

2.5.8.1. Tolerancias Dimensionales:

Para poder clasificar y valorar la calidad de las piezas reales se han introducido las tolerancias dimensionales. Mediante estas se establece un límite superior e inferior, dentro de los cuales tienen que estar las piezas buenas. El comité internacional de normalización ISO, estudió y fijó el método racional para la aplicación de las tolerancias dimensionales en la fabricación de piezas lisas. En dicho estudio se puede considerar:

- a) Una serie de grupos dimensionales.
- b) Una serie de tolerancias fundamentales.

Grupos dimensionales:

Las medidas nominales se han reagrupado en una serie de grupos dimensionales con el fin de reducir el número de herramientas y evitar el cálculo de tolerancias.

Tolerancias fundamentales:

Dentro de estas grupo de tolerancias se toma en cuenta el grado de la tolerancia, para lo cual se han previsto 20 grados de la misma, designados por las siglas IT 01, IT 0, IT 1,..., IT 18,

representativos de la amplitud de la tolerancia, desde la más fina hasta la más basta, cuyos valores numéricos están calculados para cada grupo de medidas nominales, constituyendo las tolerancias fundamentales del sistema.

Según se observa la Tabla 6, para una determinada medida nominal, la magnitud de la tolerancia fundamental aumenta al hacerlo también el grado de tolerancia, es decir, disminuye la precisión

Tabla 6

Valores numéricos de las tolerancias fundamentales.

Grupos de dimensiones nominales (mm)	GRADOS DE TOLERANCIAS NORMALIZADAS																			
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
Hasta 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	1000	1400
>3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	1200	1800
>6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	2200
>10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
>18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
>30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
>50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
>80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
>120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
>180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
>250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
>315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
>400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
>500 a 630			9	11	16	22	32	44	70	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000
>630 a 800			10	13	18	25	36	50	80	125	200	320	500	800	1250	2000	3200	5000	8000	12500
>800 a 1000			11	15	21	28	40	56	90	140	230	360	560	900	1400	2300	3600	5600	9000	14000
>1000 a 1250			13	18	24	33	47	66	105	165	260	420	660	1050	1650	2600	4200	6600	10500	16500
>1250 a 1600			15	21	29	39	55	78	125	195	310	500	780	1250	1950	3100	5000	7800	12500	19500
>1600 a 2000			18	25	35	46	65	92	150	230	370	600	920	1500	2300	3700	6000	9200	15000	23000
>2000 a 2500			22	30	41	55	78	110	175	280	440	700	1100	1750	2800	4400	7000	11000	17500	28000
>2500 a 3150			26	36	50	68	96	135	210	330	540	860	1350	2100	3300	5400	8600	13500	21000	33000

Fuente: Normas ISO 286-62.

Dentro de las tolerancias fundamentales, la norma ISO distingue 18 calidades designadas como IT01, IT0, IT1, IT2,...IT16 etc.

En la tabla que se muestra a continuación se puede apreciar la calidad de la tolerancia, el campo de aplicación de la pieza y el diámetro nominal de la misma.

Tabla 7

Calidad de tolerancias.

Medidas nominales (mm)	CALIDADES ISO																			
	IT 01	IT 0	IT 1	IT 2	IT 3	IT 4	IT 5	IT 6	IT 7	IT 8	IT 9	IT 10	IT 11	IT 12	IT 13	IT 14	IT 15	IT 16	IT 17	IT 18
Más de 1 a 3	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	4	6	10	14	25	40	60	100	140	250	400	600	-	-
Más de 3 a 6	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	5	8	12	18	30	48	75	120	180	300	480	750	-	-
Más de 6 a 10	0,4	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	15	22	36	58	90	150	220	360	580	900	1500	-
Más de 10 a 18	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	11	18	27	43	70	110	180	270	430	700	1100	1800	2700
Más de 18 a 30	0,6	1	1,5	2,5	4	6	9	13	21	33	52	84	130	210	330	520	840	1300	2100	3300
Más de 30 a 50	0,6	1	1,5	2,5	4	7	11	16	25	39	62	100	160	250	390	620	1000	1600	2500	3900
Más de 50 a 80	0,8	1,2	2	3	5	8	13	19	30	46	74	120	190	300	460	740	1200	1900	3000	4600
Más de 80 a 120	1	1,5	2,5	4	6	10	15	22	35	54	87	140	220	350	540	870	1400	2200	3500	5400
Más de 120 a 180	1,2	2	3,5	5	8	12	18	25	40	63	100	160	250	400	630	1000	1600	2500	4000	6300
Más de 180 a 250	2	3	4,5	7	10	14	20	29	46	72	115	185	290	460	720	1150	1850	2900	4600	7200
Más de 250 a 315	2,5	4	6	8	12	16	23	32	52	81	130	210	320	520	810	1300	2100	3200	5200	8100
Más de 315 a 400	3	5	7	9	13	18	25	36	57	89	140	230	360	570	890	1400	2300	3600	5700	8900
Más de 400 a 500	4	6	8	10	15	20	27	40	63	97	155	250	400	630	970	1550	2500	4000	6300	9700
CAMPOS DE APLICACION	Ultraprecisión	Calibre y piezas de alta precisión			Piezas o elementos que han de ajustarse								Piezas o elementos que no han de ajustarse							
		Calibres de trabajo				Construcción de máquinas				Piezas laminadas, fundidas o forjadas										

Fuente: Normas ISO 286-62.

Cuando se trata de ajustes la norma ISO ha desarrollado una serie de técnicas para colocar los ajustes en sistemas de: agujero base, eje base y un sistema mixto; con el fin de reducir y simplificar la enorme variedad de ajustes existentes.

Existen una serie de ajustes recomendados ISO que son los más utilizados en la industria y cubren la mayoría de necesidades. En la Tabla 8, se indican: el tipo de sistema, características, aplicaciones y acabado superficial en cada uno

de los casos recomendados, estos criterios que se muestran en la tabla van a ser aplicados al momento de diseñar y fabricar los casquillos y columnas guías.

Tabla 8

Ajustes recomendados más utilizados.

AJUSTES RECOMENDADOS						
SISTEMA				CARACTERISTICAS	EJEMPLOS DE APLICACION	CALIDAD SUPERFICIAL
AGUJERO BASE		EJE BASE				
H7	s6	h6	S7	Prensado. Montaje a presión	Coronas de bronce, casquillos, ruedas	N5 N6 N7 N8
H7	r6	h6	R7	Prensado ligero. Necesita seguro	Engranajes, acoplamientos	
H7	n6	h6	N7	Forzado duro. Seguro de giro	Casquillos especiales, manguitos	
H7	k6	h6	K7	Forzado medio. Seguro de giro	Rodamientos, discos	
H7	j6	h6	J7	Forzado ligero. Seguro de giro	Rodamientos, elementos desmontables	
H7	h6	h6	H7	Deslizante con lubricación	Ejes de lira	
H7	g6	h6	G7	Giratorio sin juego apreciable	Bridas, émbolos de freno	
H7	f7	h6	F8	Giratorio con poco juego	Bielas, cojinetes, cajas de engranajes	
H8	h9	h9	H11	Deslizante con lubricación	Ajustes deslizables con poca precisión	N9
H8	e8	h9	E9	Giratorio con gran juego	Cojinetes, elementos de motores	
H8	d9	h9	D10	Giratorio con mucho juego	Soportes múltiples	
H11	h11	h11	H11	Deslizante con lubricación	Elementos de máquinas agrícolas	N10 N11
H11	d9	h11	D10	Giratorio sin juego apreciable	Organos móviles	
H11	e11	h11	E11	Giratorio con gran juego	Cojinetes de máquinas agrícolas y domésticas	
H11	a11	h11	A11	Giratorio con mucho juego	Avellanados, grandes piezas	

Fuente: Normas ISO 286-62.

2.5.8.2. Tolerancias Geométricas:

La tolerancia geométrica es la máxima variación permisible de forma o posición de un elemento. Define la dimensión y forma de la zona de tolerancia del elemento.

Cuando se especifica únicamente una tolerancia dimensional, ésta limita ciertos errores de forma y posición. En la Figura 14 se muestra tres casos donde una de las piezas puede ser correcta desde el punto de vista dimensional y no ser apta para el montaje: en el primer caso tendríamos un defecto de rectitud, en el segundo caso tendríamos un defecto de coaxialidad y en el tercer caso tendríamos un defecto de perpendicularidad.

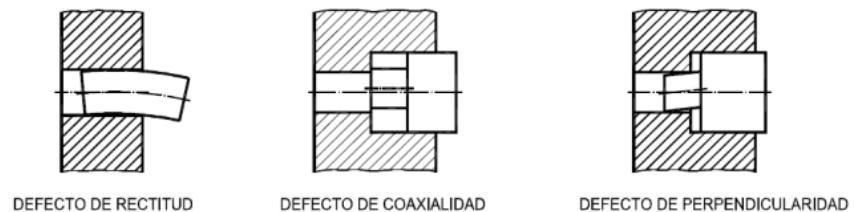


Fig. 12: Defectos de tolerancias geométricas.

Fuente: Normas ISO 286-62.













Las tolerancias geométricas deben especificarse únicamente cuando son esenciales para asegurar el funcionamiento satisfactorio de la pieza, esto a su vez no debe afectar a la funcionalidad, intercambiabilidad y posibles cuestiones relativas a la fabricación.

Símbolos:

La siguiente tabla presenta los símbolos utilizados para la indicación de las tolerancias geométricas según la norma UNE-ISO 1121:

Tabla 9

Símbolos de las tolerancias geométricas.

<i>Tipo de tolerancia</i>	<i>Características</i>	<i>Símbolo</i>
Forma	Rectitud	—
	Planicidad	
	Redondez	
	Cilindricidad	
	Forma de una línea	
	Forma de una superficie	
Orientación	Paralelismo	//
	Perpendicularidad	
	Inclinación	
Situación	Posición	
	Concentricidad y coaxialidad	
	Simetría	
Oscilación	Circular	
	Total	

Fuente: Normas UNE-ISO 1121.

2.5.9. Acabados Superficiales:

Las superficies de las piezas requieren un estudio cuidadoso ya que de su estado puede depender tanto el funcionamiento, como el rendimiento de una máquina o mecanismo.




Representando el acabado superficial una parte importante del costo de producción de una pieza, la elección de los procedimientos

adecuados para la satisfacción de los requerimientos funcionales adquiere una gran importancia y se hace necesario tener conocimiento de los métodos empleados, con el fin de satisfacer las necesidades a cubrir.

En la tabla que se muestra a continuación se detalla los símbolos utilizados para los diferentes estados superficiales:

Tabla 10

Símbolos para estados superficiales.

Símbolo	Significado
	Símbolo básico. Solamente puede utilizarse cuando su significado se exprese mediante una nota
	Superficie mecanizada con arranque de viruta
	Superficie que no debe someterse al arranque de viruta. También puede utilizarse en dibujos de fase de mecanizado para indicar que la superficie debe de quedar tal como ha sido obtenida, con o sin arranque de viruta, en la fase anterior de fabricación

Fuente: Normas UNE-ISO 1121.

Rugosidad Superficial:

Las superficies de las piezas en los dibujos se representan con líneas uniformes, sin embargo como consecuencia de los defectos originados por los procesos de fabricación con máquinas herramientas con o sin arranque de viruta, distan de esa uniformidad presentando irregularidades que son necesarias controlar para que la pieza cumpla con la función para la que se crea.

La rugosidad es consecuencia de la fragmentación del material por la acción de las herramientas de corte. Su magnitud se puede controlar actuando sobre la geometría de la propia herramienta, el avance, profundidad y velocidad de corte.

La rugosidad superficial es el conjunto de irregularidades superficiales de paso relativamente pequeño, correspondiente a los procedimientos de elaboración que se realizan en la superficie original.

En la tabla que se muestran a continuación, se especifican las clases de rugosidad y su valor:

Tabla 11

Valores de rugosidad Ra y su clase.

Valor de rugosidad Ra en μm	Clase de rugosidad
50	N12
25	N11
12,5	N10
6,3	N9
3,2	N8
1,6	N7
0,8	N6
0,4	N5
0,2	N4
0,1	N3
0,05	N2
0,025	N1

Fuente: Normas UNE-ISO 1121.

Un aspecto importante a tener en cuenta al especificar los valores de rugosidad es la relación entre ésta y las tolerancias de fabricación ya que una superficie rugosa en piezas sometidas a deslizamiento, presentará

rápidamente un desgaste lo que provocaría una pérdida en la tolerancia de funcionamiento. En la Tabla 12 se especifican los valores de rugosidad para distintas calidades de tolerancias de fabricación.

Tabla 12

Valores de rugosidad con respecto a las tolerancias.

Superficies		Tolerancia ISO								
		IT6	IT7	IT8	IT9	IT10	IT11 1	IT12 2	IT13	IT14
		Rugosidad Ra								
Superficies cilíndricas con diámetro	> 3	0,2	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8
	>3 a 10	0,3	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12
	>18 a 80	0,5	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20
	>80 a 250	0,8	1,2	2	3	5	8	12	20	30
	>250	1,2	2	3	5	8	12	20	30	50
Superficies planas		1,2	2	3	5	8	12	20	30	50

Fuente: Normas ISO 286-62.

2.6. Diseño Modular

El módulo es un elemento adoptado como unidad de medida para determinar las proporciones entre las diferentes partes de una composición y que se repite sistemáticamente en el diseño.

Los productos diseñados por componentes fácilmente separables se conocen como diseños modulares. Los diseños modulares ofrecen flexibilidad a los departamentos de producción y marketing. El departamento

de producción casi siempre encuentra útil el diseño modular porque facilita el desarrollo del producto, la producción y los cambios subsecuentes.

Un diseño modular es un enfoque que se subdivide un sistema en partes más pequeñas que pueden ser creados de forma independiente y luego utilizar en diferentes sistemas para controlar múltiples funcionalidades. Un sistema modular puede caracterizarse por lo siguiente:

- Módulos reutilizables que consisten en elementos funcionales aislados y autónomas.
- Uso riguroso de interfaces modulares bien definidos, incluyendo descripciones orientadas a objetos de la funcionalidad del módulo.
- Facilidad de cambio para lograr la transparencia y la tecnología, en la medida de lo posible hacer uso de los estándares de la industria para las interfaces claves.

El diseño modular y los módulos van a ser empleados durante este proyecto en el diseño CAD de la lámina metálica y de las diferentes partes de la matriz de embutición, con el fin de estandarizar dichos elementos y hacerlos reutilizables para otro tipo de aplicación.

2.7. Normativa aplicable

Las normas empleadas en los elementos de la matriz de estampado son las siguientes:

- Para las dimensiones de las columnas y casquillos guías se empleó la norma DIN 172A.
- Para tolerancias (dimensionales y geométricas), y acabados superficiales se tomó las normas ISO (1121 y 286-62) como referencia.
- Para el diseño y fabricación de los casquillos y columnas guías, se utilizará la tabla 8, donde detalla los ajustes recomendados según la norma ISO 286-62.
- Para la selección adecuada del elemento elástico, se ha decidido optar por un resorte de plástico de uretano que se encuentra normalizado según la DIN ISO 10069-1.

3. Capítulo 3: DISEÑO

3.1. Diseño del panel metálico

3.1.1. Características del panel

Las puertas paneladas metálicas son productos que sirven exclusivamente para brindar seguridad a bajo costo, confortabilidad y un acabado de excelente calidad para generar confianza en la comunidad contra la delincuencia y cualquier desastre de la naturaleza. Existen puertas con una gran variedad de diseños y a su vez de diferentes dimensiones, desde 850X2000mm hasta 540X1020mm. Para el presente proyecto se seleccionó el diseño y dimensiones que se muestran en la siguiente figura:

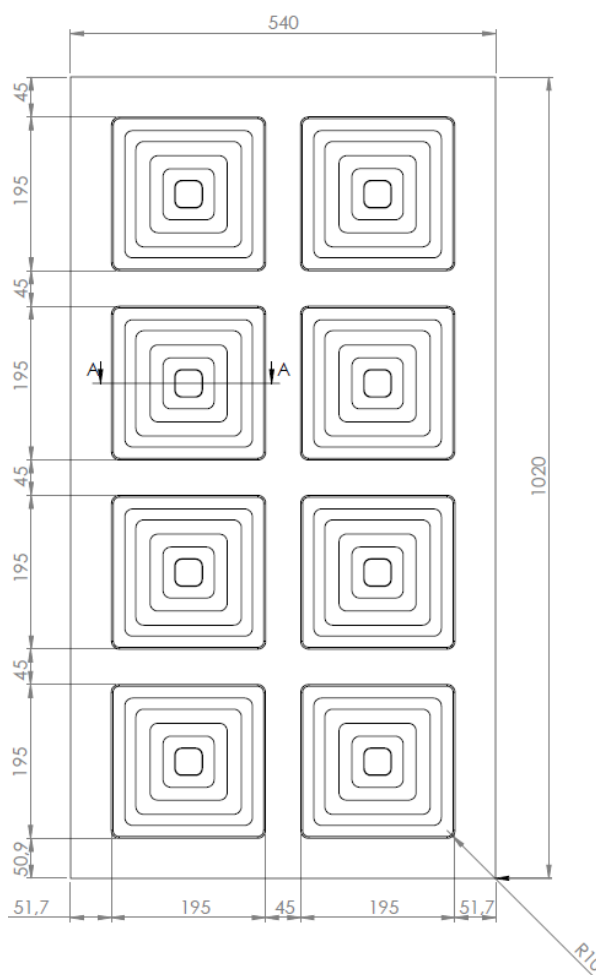
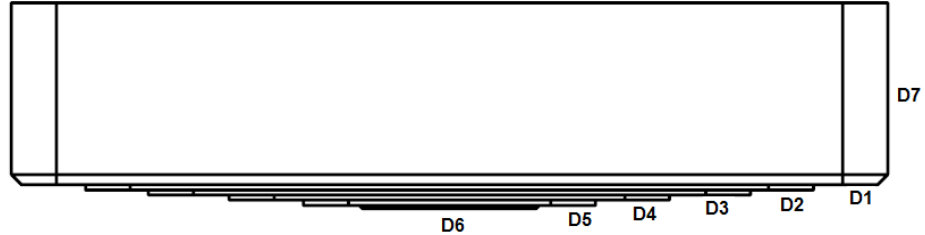


Fig. 13: Diseño y dimensiones del panel metálico.

3.2. Cálculos de los parámetros de diseño de la matriz de estampado

Para realizar los cálculos de los parámetros de diseño se consideró los diámetros de recorte (D) de acuerdo a la fórmula de Rossi explicado en la ecuación (2), pero determinando una fórmula particular para determinar la fuerza que ejerce este tipo de punzón, la cual se explica a continuación:



$$D = \sqrt{d_7^2 + 4(d_1 * h_1 + d_2 * h_2 + d_3 * h_3 + d_4 * h_4 + d_5 * h_5 + d_6 * h_6)}$$

$$D_1 = \sqrt{195^2 + 4(40 * 0,7 + 65 * 1,2 + 98 * 1,1 + 134 * 1,1 + 162 * 1,15)}$$

$$D_1 = \sqrt{38025 + 2190}$$

$$D_1 = 200,54 \text{ mm}$$

$$D_2 = 166,40 \text{ mm}$$

$$D_3 = 137,15 \text{ mm}$$

$$D_4 = 100,14 \text{ mm}$$

$$D_5 = 68,18 \text{ mm}$$

$$D_6 = 41,38 \text{ mm}$$

$$D_7 = \sqrt{d^2 + 4 * d * h} = \sqrt{195^2 + 4 * 195 * 38} = 260,12 \text{ mm}$$

Fuerza ejercida por el punzón:

El cálculo de esta fuerza se lo realiza para un solo punzón con la ecuación (1):

$$P = \frac{d \cdot \pi \cdot s \cdot K_{ct}}{\eta_{form}} \cdot \ln \frac{D}{d}$$

K_{ct} : Valor obtenido de la tabla 2

$$P_1 = \frac{195\text{mm} \cdot \pi \cdot 0,9\text{mm} \cdot 40 \frac{\text{Kg}}{\text{mm}^2}}{0,40} \cdot \ln \frac{200,54\text{mm}}{195\text{mm}}$$

$$P_1 = 1818,66 \text{ Kgf}$$

$$P_2 = 1501,77 \text{ Kgf}$$

$$P_3 = 1155,45 \text{ Kgf}$$

$$P_4 = 873,75 \text{ Kgf}$$

$$P_5 = 1144,87 \text{ Kgf}$$

$$P_6 = 653,20 \text{ Kgf}$$

$$P_7 = 16087,32 \text{ Kgf}$$

$$P_{T1} = 1818,66 + 1501,77 + 1155,45 + 873,75 + 1144,87 + 653,20 + 16087,32 \text{ (Kgf)} = 24391,59 \text{ (Kgf)}$$

Por los 4 punzones que tiene la matriz:

$$P_T = 24391,59 * 4 \text{ Kgf}$$

$$P_T = 98000 \text{ Kgf}$$

Velocidad de embutición:

La velocidad se la calcula de acuerdo a la ecuación (4):

$$V = 33,33 \cdot \left(1 + \frac{d}{D} \cdot \sqrt{D - d}\right)$$

$$V = 33,33 \cdot \left(1 + \frac{195}{200,54} \cdot \sqrt{200,54 - 195}\right)$$

$$V = 109,61 \text{ mm/s}$$

Fuerza de sujeción de la lámina metálica:

La fuerza de sujeción de la lámina se calcula con la ecuación (5):

$$F_s = p \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d_m^2)$$

p: Valor obtenido de la tabla 5

$$F_{s_1} = 30 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot (20,054^2 - 19,4^2)$$

$$F_{s_1} = 907,97 \text{ Kgf}$$

$$F_{s_2} = 816,56 \text{ Kgf}$$

$$F_{s_3} = 764,16 \text{ Kgf}$$

$$F_{s_4} = 745,85 \text{ Kgf}$$

$$F_{s_5} = 730,19 \text{ Kgf}$$

$$F_{s_6} = 645,076 \text{ Kgf}$$

$$F_{s_7} = 8417,12 \text{ Kgf}$$

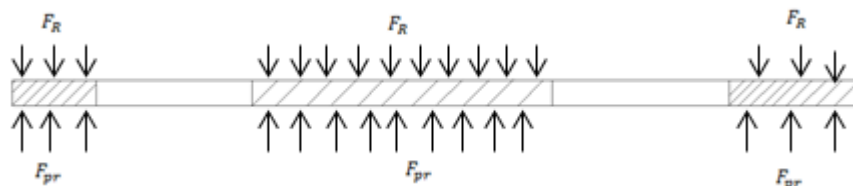
$$\begin{aligned} F_{s_T} &= 907,97 + 816,56 + 764,16 + 745,85 + 730,19 + 645,076 + 8417,12 \text{ (Kgf)} \\ &= 13026,93 \text{ (Kgf)} \end{aligned}$$

Por los 4 punzones que tiene la matriz:

$$F_{s_T} = 13026,93 * 4 = 52107,7 \text{ Kgf}$$

Fuerza de resorte de caucho:

Lo más óptimo para una matriz de estampado es el uso de resortes de uretano pero también se puede utilizar resortes de caucho, en los cuales se realizaron ensayos detallados en el anexo D para determinar su fuerza, que se ha considerado un valor de 21400 N. y determinamos la cantidad de resortes mediante el siguiente diagrama de cuerpo libre del prensachapas:



$$\sum F_y = 0$$

$$n * F_R = F_{pr}$$

$$n * 2140 \text{ Kgf} = 52107,7 \text{ Kgf}$$

$$n = \frac{52107,7 \text{ Kgf}}{2140 \text{ Kgf}} = 24,55 \approx 25$$

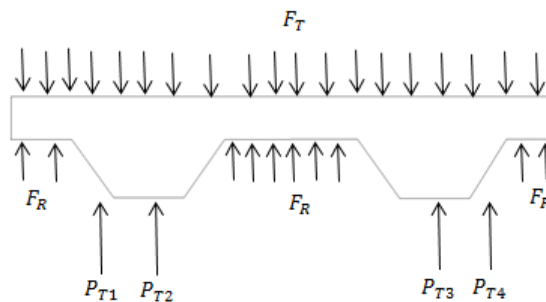
Y se calcula la fuerza total de los resortes:

$$F_r = 21400 \text{ N} * 25$$

$$F_r = 535000 \text{ N} = 54536,19 \text{ Kgf}$$

Total fuerza matriz de estampado:

Para determinar la fuerza total de la matriz se realiza un diagrama de cuerpo libre de la placa superior:



$$\sum F_y = 0$$

$$F_T = F_R + P_{T1} + P_{T2} + P_{T3} + P_{T4}$$

$$F_T = 54536,19 + 24391,59 + 24391,59 + 24391,59 + 24391,59 \text{ (Kgf)}$$

$$F_T = 152102,55 \text{ Kgf} = 152,1 \text{ TON}$$

3.3. Diseño de la matriz de estampado

3.3.1. Características de la matriz

La matriz de estampado que cumple con las especificaciones del diseño y dimensiones seleccionados en el panel metálico, es el que se muestra en la siguiente figura:

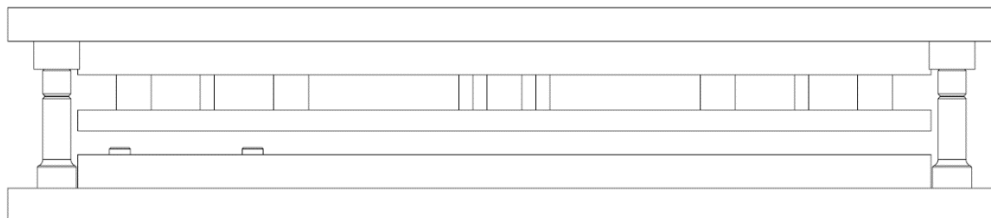


Fig. 14: Matriz de estampado para puerta panelada metálica.

Esta matriz tiene 710mm de largo, 700mm de ancho y 148,85mm de altura.

La función de la matriz de estampado es realizar el trabajo del panel metálico en dos fases o etapas, esto quiere decir que primero se realizará el estampado de los cuatro cuadros superiores y posteriormente el de los cuatro cuadros inferiores, el motivo de este tipo de diseño fue economizar la fabricación de dicha matriz.

Los componentes de la matriz de estampado se detallan a continuación, con sus respectivas características y dimensiones.

3.3.2. Componentes de la matriz de estampado

PLACA SUPERIOR:

Las dimensiones de la placa superior para la matriz de estampado son de 710X700X23 mm., y el material seleccionado para este elemento es el acero ASTM A 36.

Para la selección del espesor de la placa superior se tomó en cuenta la tabla 1., donde especifica la relación directa entre el espesor de la lámina metálica y la placa superior que en este caso son los 23 mm.

En la placa superior se realizaron varios agujeros con el fin de acoplar los demás elementos de la matriz y asegurar su fijación para su correcto funcionamiento.

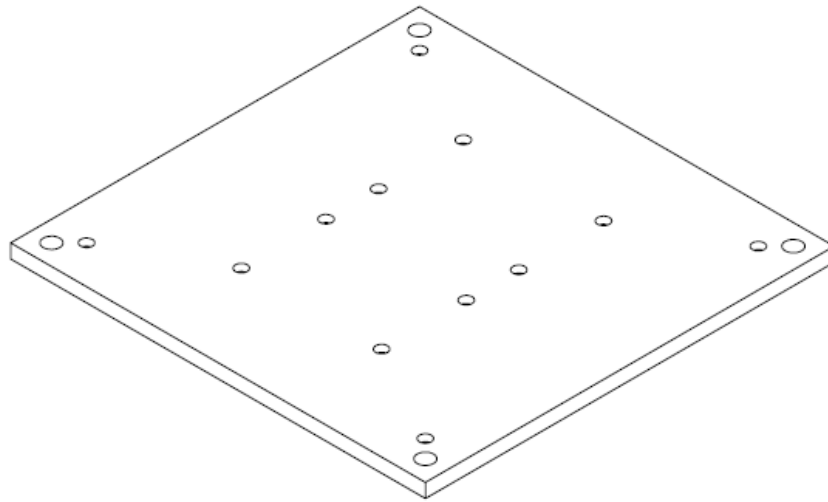


Fig. 15: Placa Superior matriz de estampado.

PORTAPUNZÓN:

Las dimensiones del portapunzón para la matriz de estampado son de 610X600X23 mm., y el material para este elemento es el acero ASTM A 36.

Para la selección del espesor de la placa portapunzón se tomó en cuenta la tabla 1., donde especifica la relación directa entre el espesor de la lámina metálica y la placa portapunzón que en este caso son los 23 mm.

En el portapunzón se realizan agujeros con el fin de tener una adecuada fijación con el punzón y los resortes. Cabe recalcar que en este elemento se realiza un trabajo para que el punzón encaje y de esta manera hacerle modular la matriz.

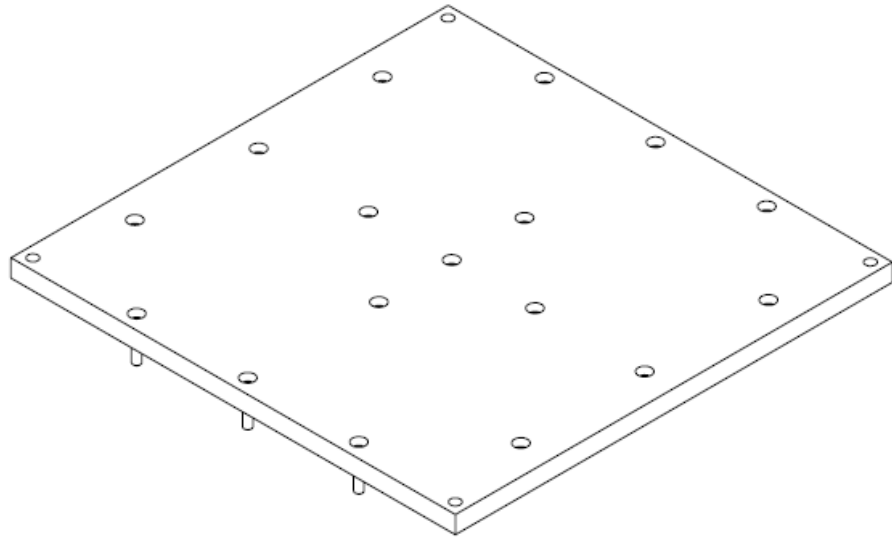


Fig. 16: Portapunzón matriz de estampado.

PUNZÓN:

Las dimensiones del punzón para la matriz de estampado son de 195X195X45,5 mm. Cabe señalar que todas las aristas del punzón tienen un redondeo de radio 10 mm.

Para la selección del espesor del punzón se consideró primordialmente las especificaciones de diseño de la matriz para su correcto funcionamiento, motivo por el cual su valor es de 45,5 mm.

Para el trabajo específico de embutición el punzón tiene una altura de 7,5 mm., y para dicho trabajo se necesitan 4 punzones., y el material seleccionado para este elemento es el acero K460 según especificaciones de la empresa Boehler del Ecuador S.A.

El tratamiento térmico recomendado para el punzón es el cementado teniendo una composición de 15% de Cromo y 6% de Níquel, a una temperatura de 870-900°C, para de esta manera llegar a obtener una dureza de 55-59 Rockwell C.



Fig. 17: Punzón matriz de estampado.

PRENSACHAPAS:

Las dimensiones del prensachapas para la matriz de estampado son de 610X600X15 mm., y el material seleccionado para este elemento es el acero ASTM A36.

Teniendo en cuenta la fuerza de sujeción de la lámina metálica 52107,7 Kgf y criterios obtenidos durante la investigación de este proyecto, el espesor de 15mm es adecuado para soportar dicha carga y cumplir con las especificaciones que requiere la matriz.

En el prensachapas se realizan agujeros para el acople de los resortes y se realiza un corte completo de las dimensiones del punzón para que este pueda realizar la embutición sin ninguna interferencia. En la parte inferior del prensachapas se realizan agujeros de las mismas dimensiones de los topes para evitar choques entre dichos elementos.

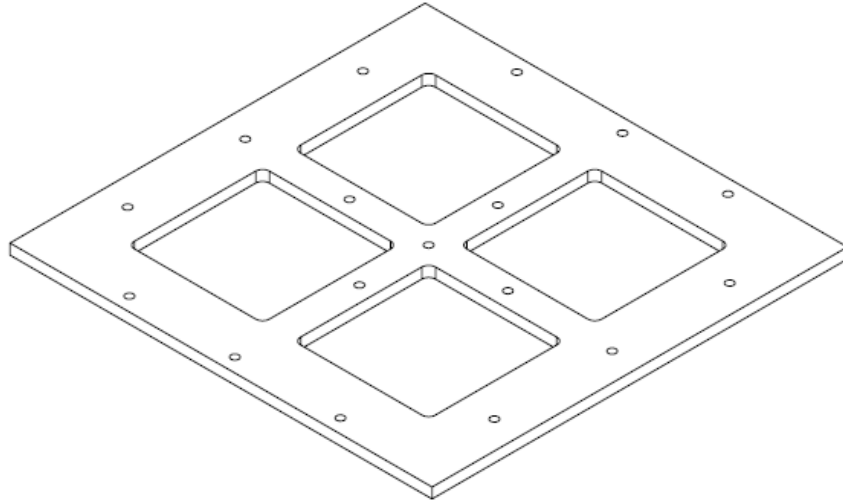


Fig. 18: Prensachapas matriz de estampado.

COLUMNA GUÍA:

Las dimensiones de la columna guía para la matriz de estampado son de \varnothing mayor 28 X 122,50 mm., y un \varnothing menor 20. El material para este elemento es el acero 705 (AISI 4340) según las especificaciones de la empresa Ivan Bohman C.A. La selección de dimensiones y detalles de la columna guía se encuentran en la figura 6.

La selección de este tipo de acero fue porque es uno de los mejores aceros grado maquinaria por su alto contenido de aleación (molibdeno, cromo, níquel), posee una excelente y profunda templabilidad, buena tenacidad y ductilidad, y una elevada resistencia a la tensión. Se utiliza este acero para piezas sujetas a severos esfuerzos, ejes, dados, portaherramientas, tornillería de alta resistencia, ejes de transmisión, etc.

La columna guía va acoplada en la placa inferior y son 4 elementos que permitirán el buen guiado de la matriz al momento de realizar el trabajo. Se le someterá a un tratamiento térmico de temple para lograr una dureza de 60-62 HRC.

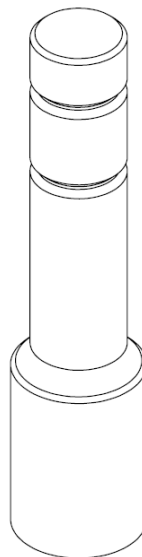


Fig. 19: Columna guía matriz de estampado.

CASQUILLO GUÍA:

Las dimensiones del casquillo guía para la matriz de estampado son de \varnothing mayor 32,7 X 44 mm., \varnothing menor 28, y un \varnothing int 20. El material más adecuado para este elemento es el acero 705 (AISI 4340) según las especificaciones de la empresa Ivan Bohman C.A. La selección de las dimensiones y detalles del casquillo guía se encuentran en la figura 6.

La selección de este tipo de acero fue porque es uno de los mejores aceros grado maquinaria por su alto contenido de aleación (molibdeno, cromo, níquel), posee una excelente y profunda templabilidad, buena tenacidad y ductilidad, y una elevada resistencia a la tensión. Se utiliza este acero para piezas sujetas a severos esfuerzos, ejes, dados, portaherramientas, tornillería de alta resistencia, ejes de transmisión, etc.

El casquillo guía va acoplado en la placa superior y son 4 elementos de estos que cumplirán la función de guiar bien a la matriz al momento de realizar el trabajo. Estos elementos serán sometidos a un tratamiento

térmico de temple para que su superficie tenga una dureza de 60-62 HRC.

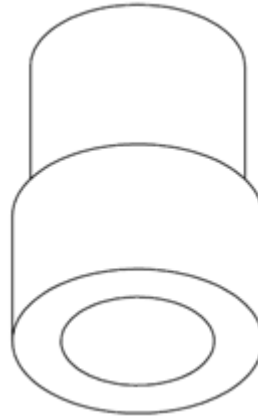


Fig. 20: Casquillo guía matriz de estampado.

MATRIZ:

Las dimensiones de la matriz para la matriz de estampado son de 205X205X12 mm. Todas las aristas de este elemento tienen un redondeo de radio 10 mm.

Para la selección del espesor de la matriz se consideró primordialmente las especificaciones de diseño de la matriz para su correcto funcionamiento, motivo por el cual su valor es de 12 mm.

Al momento de realizar la embutición la matriz tiene la capacidad de embutir una altura de 7,5 mm. Son 4 elementos de estos que se necesitan para el correcto funcionamiento de la matriz de estampado, y el material seleccionado para este elemento es el acero K460 según especificaciones de la empresa Boehler del Ecuador S.A.

El tratamiento térmico recomendado para la matriz es el cementado teniendo una composición de 15% de Cromo y 6% de Níquel, a una

temperatura de 870-900°C, para de esta manera llegar a obtener una dureza de 55-59 Rockwell C.

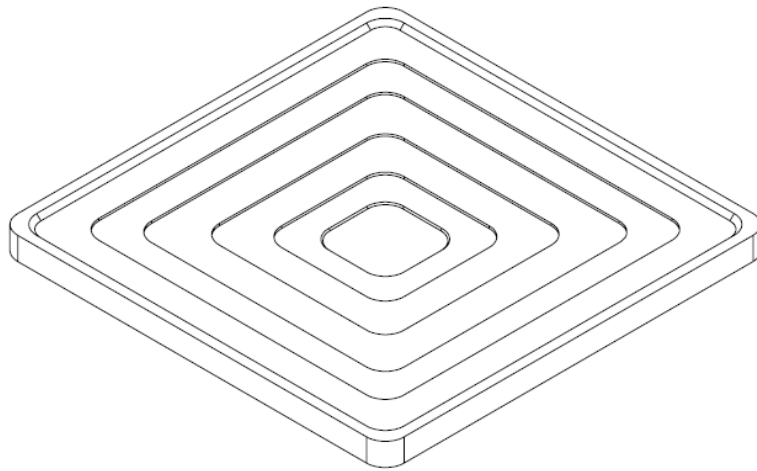


Fig. 21: Matriz, matriz de estampado.

PORTAMATRIZ:

Las dimensiones del portamatriz para la matriz de estampado son de 610X600X23 mm. El material para este elemento es el acero ASTM A 36.

Para la selección del espesor de la placa portamatriz se tomó en cuenta la tabla 1., donde especifica la relación directa entre el espesor de la lámina metálica y la placa portamatriz que en este caso son los 23 mm.

En este elemento se realizan agujeros para la sujeción con la placa inferior. Y se realiza un corte de las mismas dimensiones de la matriz para realizar su encaje y una profundidad de 12mm. En el portamatriz también se acoplan los topes.

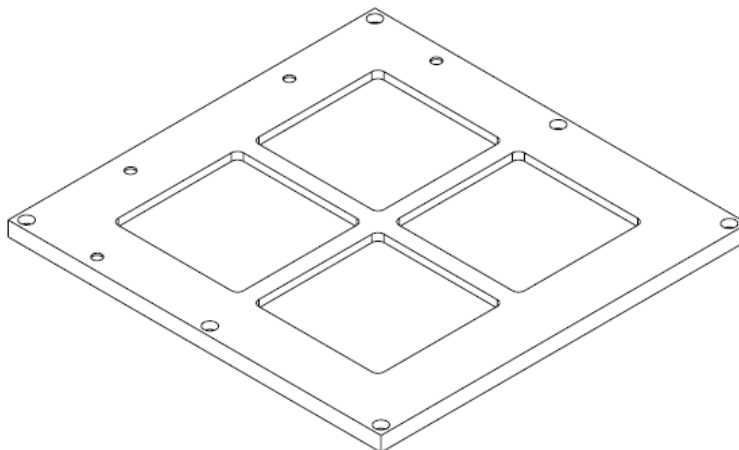


Fig. 22: Portamatriz matriz de estampado.

PLACA INFERIOR:

Las dimensiones de la placa inferior para la matriz de estampado son de 710X700X23 mm., y el material seleccionado para este elemento es el acero ASTM A36.

Para la selección del espesor de la placa inferior se tomó en cuenta la tabla 1., donde especifica la relación directa entre el espesor de la lámina metálica y la placa inferior que en este caso son los 23 mm.

En la placa inferior se realizan agujeros para la sujeción con el portamatriz y 4 agujeros para el acople con las columnas guías. Con la idea de que la matriz sea modular se realizan agujeros desde la parte inferior de la placa para poder expulsar la matriz y reemplazarla por otro modelo.

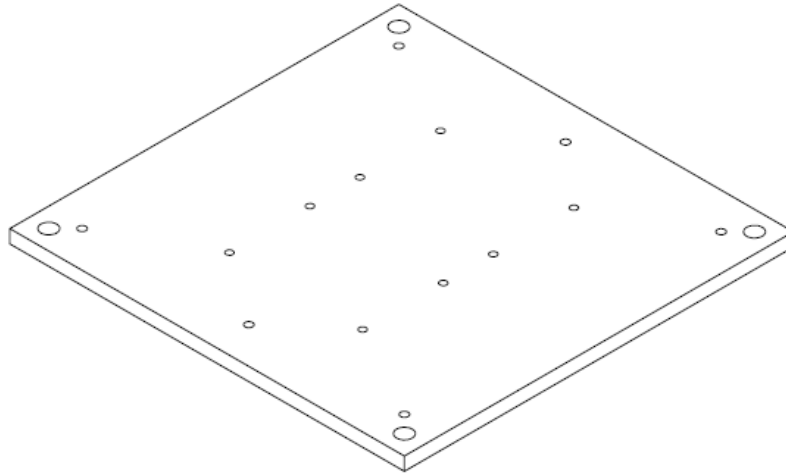


Fig. 23: Placa inferior matriz de estampado.

ELEMENTO ELÁSTICO:

Las dimensiones del resorte para la matriz de estampado son de $\text{Ø}_{\text{ext}} 63 \times 25 \text{ mm.}$, y un $\text{Ø}_{\text{int}} 10,50 \text{ mm.}$ El material seleccionado para este elemento es caucho, que es perfecto para las aplicaciones en la matriz de estampado. Los detalles de las dimensiones del elemento elástico se encuentran en la figura 9.

Para evitar posibles arrugas durante el trabajo de la matriz, se implementaron 25 resortes que van acoplados al prensachapas.

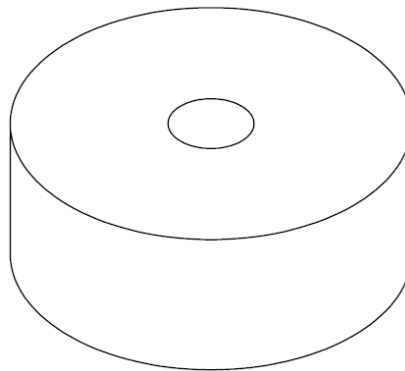


Fig. 24: Resorte de caucho matriz de estampado.

TOPE:

Las dimensiones de los topes para la matriz de estampado son de \varnothing mayor 15 X 8 mm., y un \varnothing menor 13 mm. Se realiza un chaflán de 1 mm en la parte superior del tope. El material utilizado para este elemento es un acero de herramientas tipo A2 (ASTM A681).

Para poder realizar el trabajo de la matriz en dos fases o etapas se implementaron 4 topes y se seleccionaron de forma circular para que los productos terminados salgan con las mismas características.

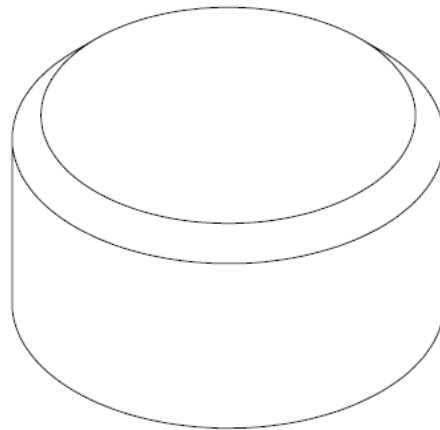


Fig. 25: Tope matriz de estampado.

3.4. Simulación de la lámina metálica embutida por elementos finitos

Después de un poco de investigación y asesoramiento, que han determinado que el proceso sea no lineal, ya que es seguro suponer que las tensiones a lo largo de la lámina metálica serán constantes se utilizara un

análisis estructural, lo cual ahorrará tiempo y proporcionará resultados más exactos.

Se iniciará el programa en el Software CAE, y desde la bandeja de herramientas se seleccionará Static Structural Analysis; arrastramos la opción hasta la bandeja de proyectos. Como se puede ver en la figura 26.

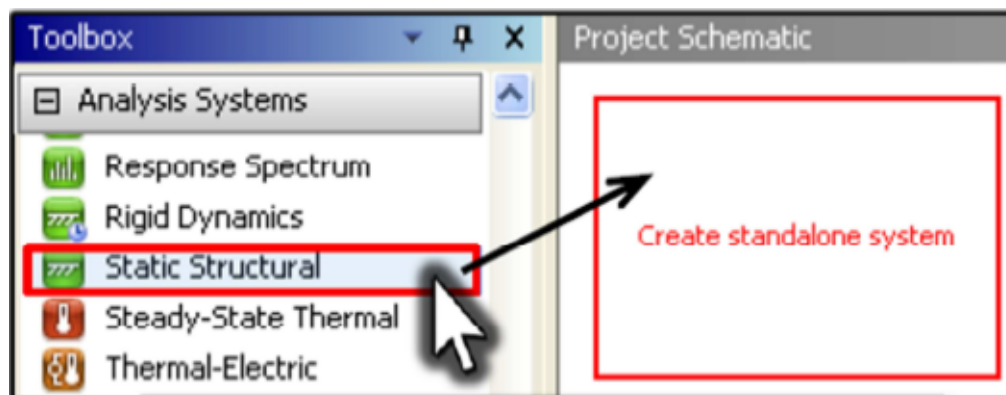


Fig. 26: Sistemas de análisis Software CAE.

Luego de haber terminado con los elementos del análisis estructural estático se procede a importar la geometría con la que vamos a realizar la simulación, para lo cual seguimos los siguientes pasos:

Geometry> Click derecho> Import Geometry> Browse> Buscar Geometría en la carpeta contenedora. Figura 27

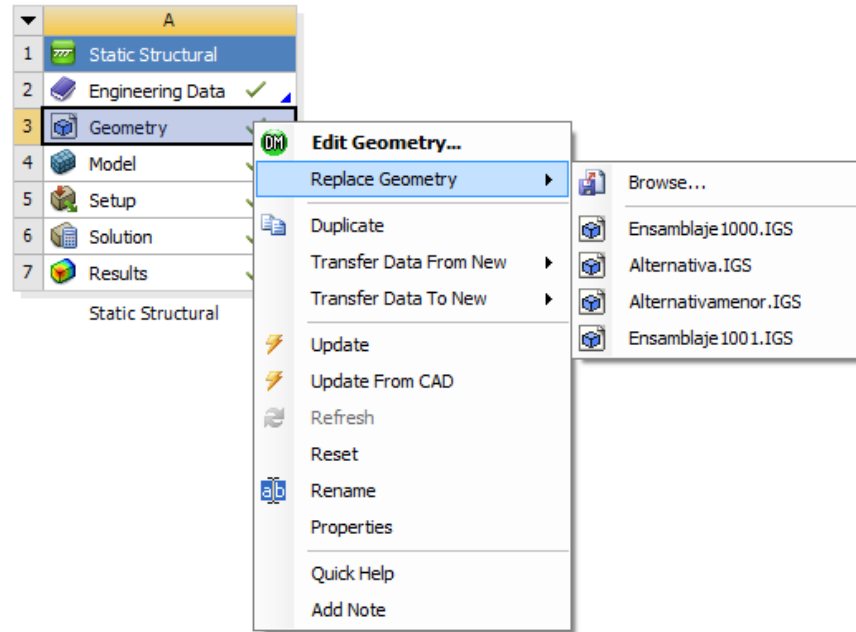


Fig. 27: Importar Geometría.

Las geometrías seleccionadas para el proceso son: prensachapas, porta matriz, punzón de embutición y lámina metálica, que fueron realizadas en un software CAD y se las importa al software CAE con un formato IGS. Donde primero seleccionamos la pestaña Model y posteriormente seleccionamos Edit para poder observar las geometrías como se muestran en las siguientes figuras:

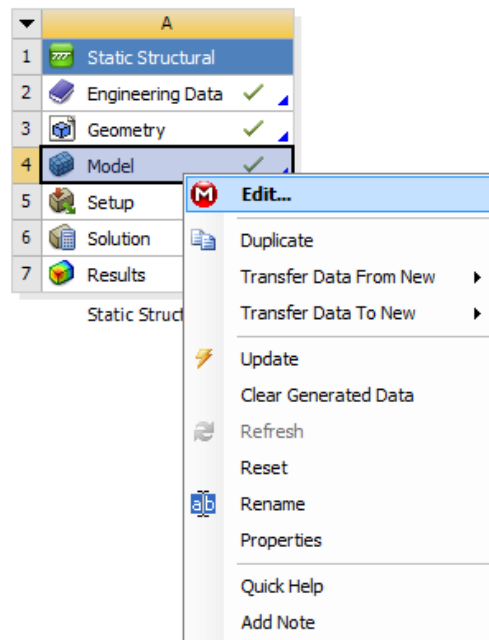


Fig. 28: Modelo.

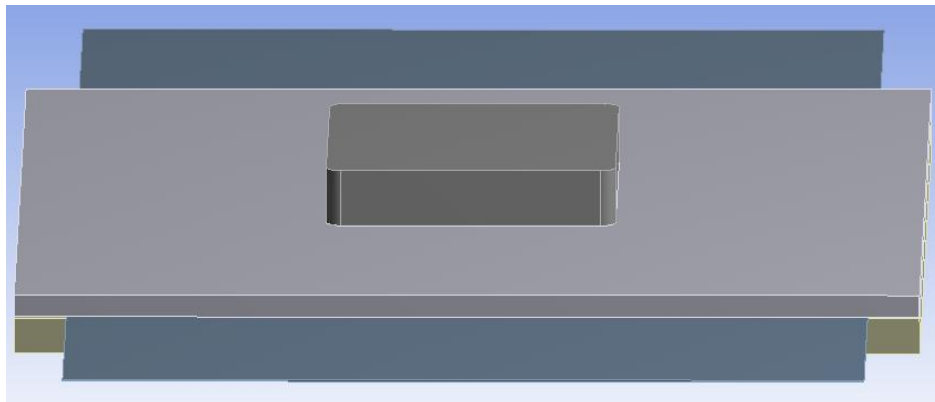


Fig. 29: Elementos sometidos a simulación.

Es muy importante tener claro que tipo de simulación estamos realizando y que es lo que queremos obtener de esta; pues de esto depende las consideraciones que usemos para determinar qué tipo de contactos se aplicarán entre los elementos, y sus respectivos parámetros matemáticos.

Los contactos definidos serán asimétricos, para lograr el fin de nuestro análisis, deberemos cambiarlos por simétricos ya que deseamos que el

punzón se mueva en sentidos iguales, y la chapa se deforme simétricamente con respecto al punzón.

El contacto en la interfaz de la lámina/punzón es friccional; su coeficiente de fricción se determina a partir de los coeficientes de fricción estática y dinámica y el coeficiente de decaimiento exponencial. En la figura 30 y 31 se da el contacto friccional y sus condiciones.

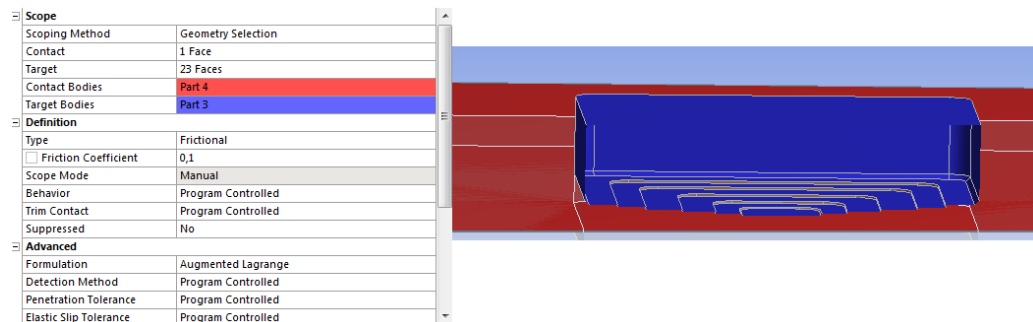


Fig. 30: Frictional Contact.

Augmented Lagrange es el punto de Gauss. La integración de Gauss se usa para determinar los puntos a lo largo de los segmentos de contacto como ubicaciones de detección de contacto con los segmentos del objetivo.

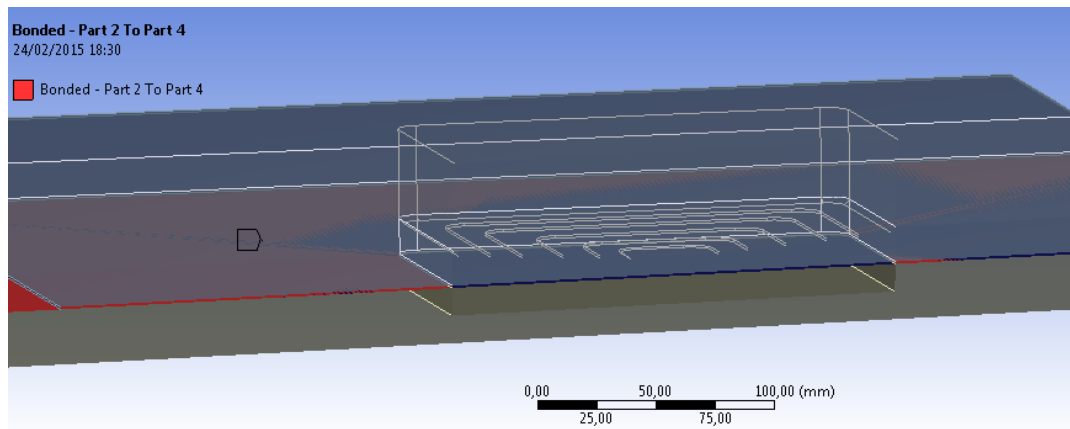
El Normal Stiffness Factor dicta la cantidad de penetración entre el contacto y superficies de destino. Se utiliza el factor más pequeño entre los valores de 0,01 a 0,1 para problemas de deformación en donde domina la embutición.

Update Stiffness; especifica que el programa debe actualizar/ modificar la rigidez (subir/ bajar/ dejar sin cambios).

Definition	
Type	Frictional
<input type="checkbox"/> Friction Coefficient	0.1
Scope Mode	Manual
Behavior	Program Controlled
Suppressed	No
Advanced	
Formulation	Augmented Lagrange
Detection Method	Program Controlled
Interface Treatment	Add Offset, No Ramping
<input type="checkbox"/> Offset	0. mm
Normal Stiffness	Manual
Normal Stiffness Factor	0.1
Update Stiffness	Each Iteration, Aggressive
Stabilization Damping Factor	0.
Pinball Region	Program Controlled
Time Step Controls	Predict For Impact

Fig. 31: Configuración avanzada para Frictional contact.

El resto de contactos deberán de ser del tipo Bonded, entre la lámina metálica y el portamatriz. Se deberá tener en cuenta las consideraciones antes descritas para realizar la mejor consideración en la configuración de sus definiciones.



CONTINÚA →

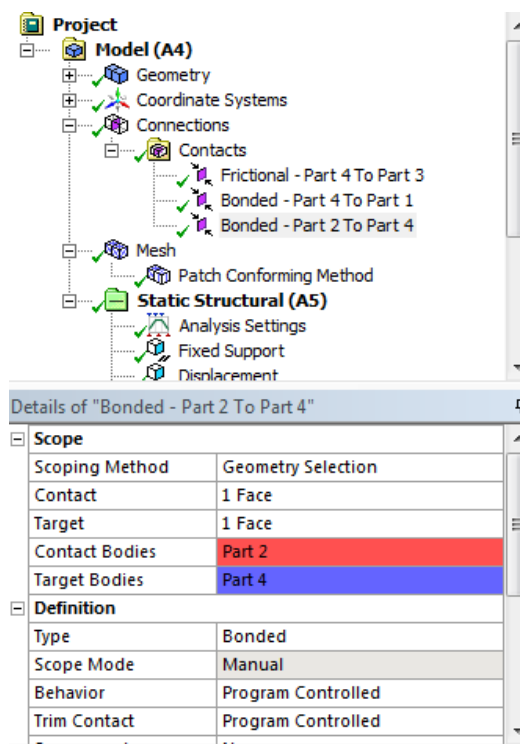
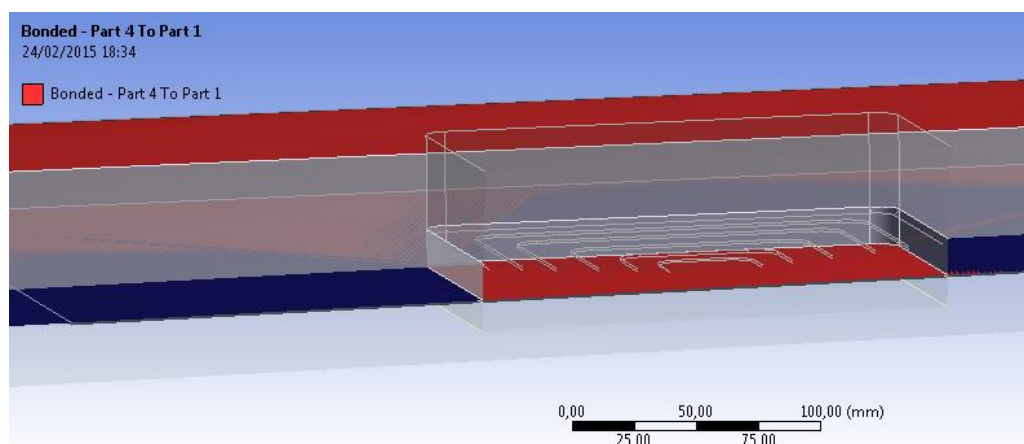


Fig. 32: Bonded Contacts lámina y portamatriz.

También se deberá hacer el contact bonded entre la lámina metálica y el prensachapas. Se deberá tener en cuenta las consideraciones antes descritas para realizar la mejor consideración en la configuración de sus definiciones.



CONTINÚA →

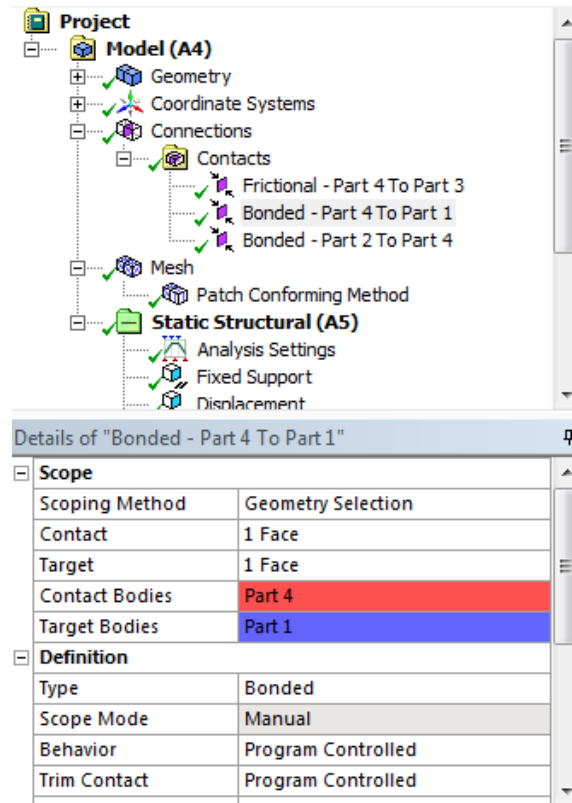
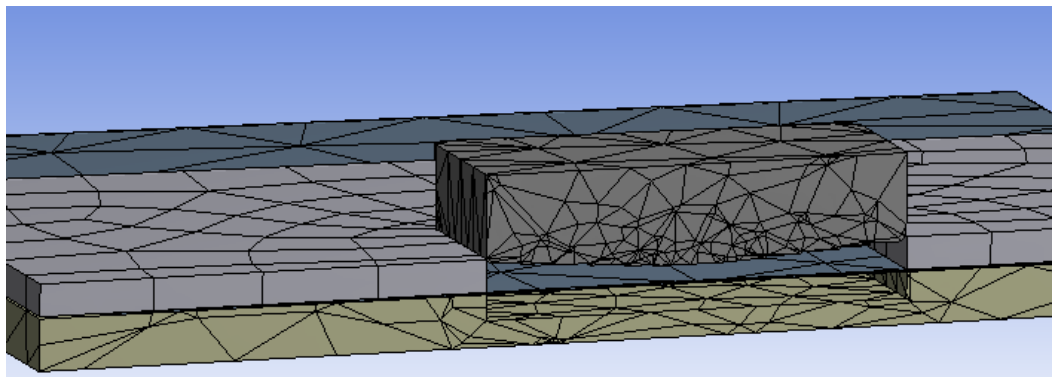


Fig. 33: Contacto lámina metálica y porta matriz.

Para utilizar menos recursos computacionales se ha dispuesto de un método de mallado automático, y para reducir el tiempo de resolución del problema se ha dado un mallado de 10 mm. Figura 34.



CONTINÚA →

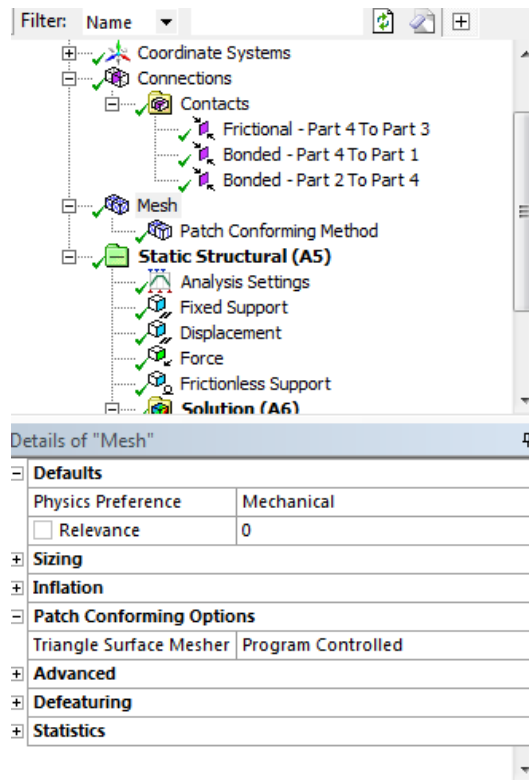


Fig. 34: Mallado General.

Para el análisis de la lámina metálica que es lo que nos interesa le daremos un mallado más fino utilizando un método de tetraedro. Figura 35.

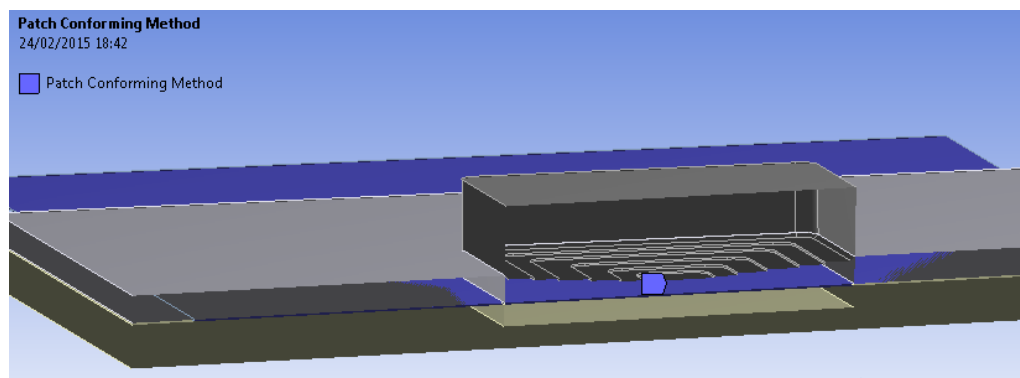


Fig. 35: Mallado específico de la lámina metálica.

Para poder realizar la configuración del análisis se debe tener en consideración que en la realidad la embutición se la realiza en un solo paso,

así que se analizará el proceso de conformado lo más real posible, es decir se programara la simulación para que la embutición se obtenga en una sola etapa.

El incremento de la carga dentro de un paso es controlado por el procedimiento de tiempo paso a paso. Auto Time Stepping optimiza el paso de tiempo para reducir el tiempo de solución incrementando apropiadamente las cargas y entregando una solución previamente convergente si no se obtiene la convergencia total del problema. Nonlinear stabilisation; se especifica para ayudar a lograr la solución. En efecto, esto añade amortiguadores artificiales a todos los nodos. Esto tiende a reducir los desplazamientos en los grado de libertad, gran desplazamiento causa una gran amortiguación/ estabilización de la fuerza (como si se tratase del movimiento de un cuerpo rígido). Figura 36.

Details of "Analysis Settings" ↕	
[-] Step Controls	
Number Of Steps	1,
Current Step Number	1,
Step End Time	1, s
Auto Time Stepping	On
Define By	Substeps
Initial Substeps	30,
Minimum Substeps	1,
Maximum Substeps	400,
[-] Solver Controls	
Solver Type	Program Controlled
Weak Springs	Off
Large Deflection	On
Inertia Relief	Off
+ Restart Controls	
[-] Nonlinear Controls	
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Conve...	Program Controlled
Rotation Converen...	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
+ Output Controls	
+ Analysis Data Management	
+ Visibility	

Fig. 36: Configuración del análisis.

Se procede a determinar las condiciones de contorno.

Hay que limitar el desplazamiento de la cara entera del portamatriz, esto con el fin de que se deforme al momento del impacto, y no cause errores en el resultado como se puede observar en la figura 37.

Static structural> insert> fixed support

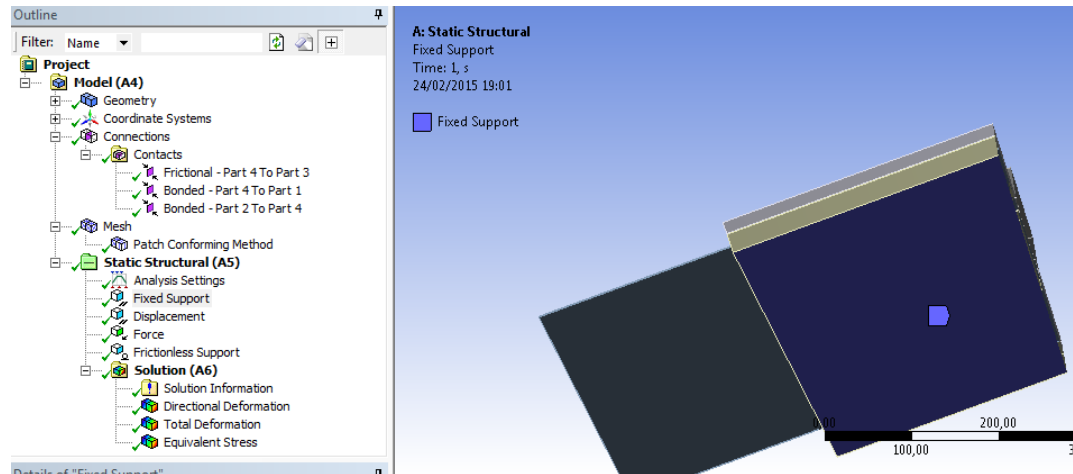


Fig. 37: Fixed Support.

Además se ubicará un desplazamiento de 7,5 mm sobre la cara superior del punzón, la cual es la medida de la deformación que deseamos lograr durante el proceso de embutición. Se aplicara una fuerza de 511176,54 N sobre el prensachapas que es equivalente a 52107,7 Kgf (Ver cálculo de fuerza de sujeción de la lámina metálica), el cual en la vida real asegura el normal desarrollo de la embutición. Figura 38.

Static structural> insert> displacement> tabular data> eje y> 7,5 mm

Static structural> insert> forcé> seleccionar cara superior del prensachapas> define by: vector> magnitude: 511176,54 N

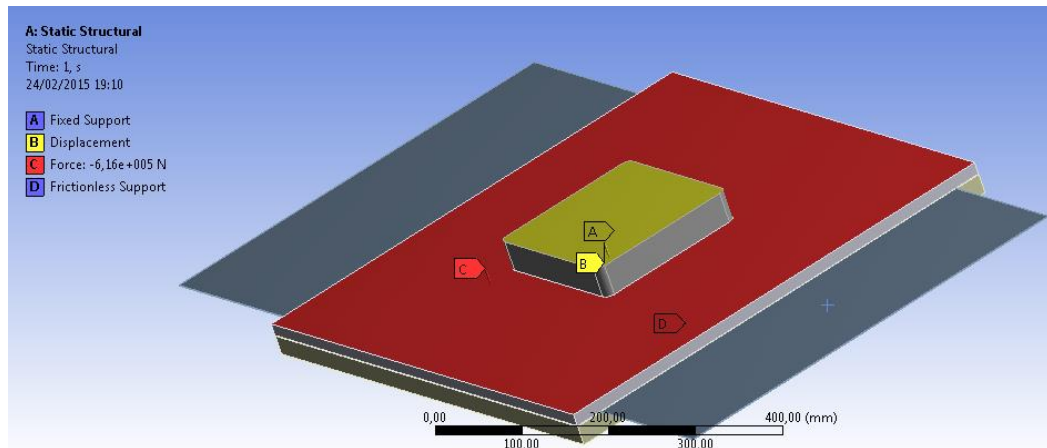


Fig. 38: Condiciones de contorno.

Una vez que se ha especificado las características y configuración requeridas para la simulación de embutición profunda, se procede a correr el programa. Solution> solve. Observamos total deformation.

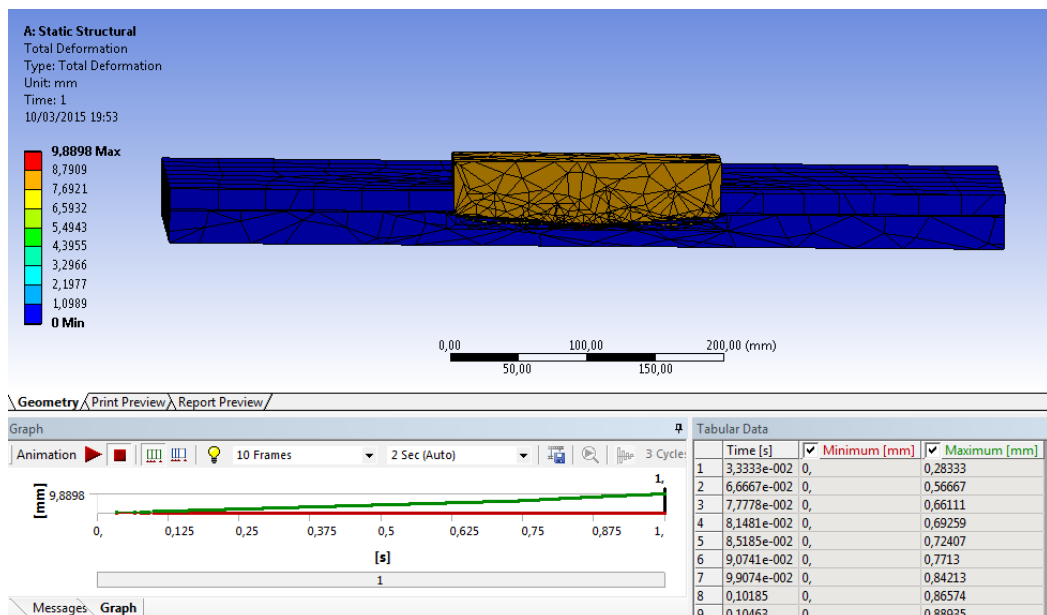


Fig. 39: Deformación total.

Se realiza la energía de deformación donde se puede apreciar que la energía máxima es de 1896,4 J, lo cual está dentro del rango

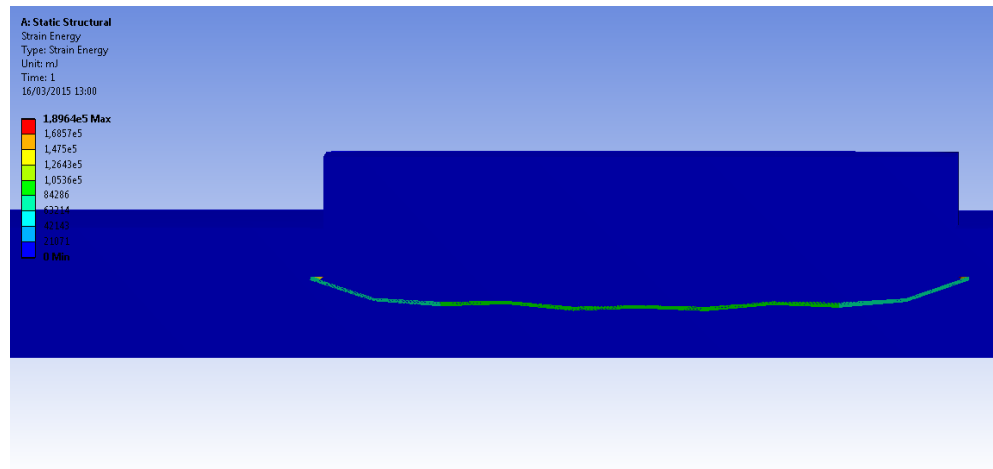


Fig. 40: Energía de deformación.

Cálculo de la energía en Kgf:

$$F = \frac{1896,4 J}{0,0075m} = 252853,33 N$$

$$F = 252853,33 N * \frac{1Kgf}{9,81 N} = 25775,06 Kgf$$

3.5. Comparación de resultados

Para la comparación de resultados entre la embutición simulada y la embutición calculada, se considera como parámetro principal la fuerza necesaria del punzón para la embutición. A continuación se muestra el error entre estos dos resultados:

$$e = \frac{Valor CAE - Valor nominal}{Valor CAE} * 100$$

$$e = \frac{25775,06 Kgf - 24391,59 Kgf}{25775,06 Kgf} * 100$$

$$e = 5,28 \%$$

Como se puede observar, la comparación entre los dos resultados es de 5,28%, que es considerado un valor aceptable cuando se trata de embuticiones.

3.6. Planos

3.6.1. Planos del panel metálico

Para la realización de los planos del panel metálico se consideraron lo siguientes parámetros:

Tener una tolerancia de $\pm 1,5$ mm, el valor de la tolerancia seleccionada es criterio personal del diseñador; y en este elemento se realiza un rectificado N5 (0,4 μ m), tomando en cuenta como referencia la norma INEN 003. En el Anexo A se puede observar el plano con todas las dimensiones y detalles del panel metálico.

3.6.2. Planos de la matriz de estampado

Para la realización de los planos de la matriz de estampado y sus elementos, se consideraron los siguientes parámetros detallados a continuación:

Placa Superior:

En la placa superior se utilizó una tolerancia de ± 3 mm en todas sus dimensiones, tolerancia seleccionada por criterio personal del diseñador. En lo que se refiere a los agujeros se recomendó un ajuste H7 y en este elemento se realiza un rectificado con valor N5 (0,4 μ m), el valor del rectificado se tomó como referencia de la norma INEN 003.

Porta punzón:

La tolerancia en el porta punzón para todas sus dimensiones es de ± 1 mm, el redondeo de aristas para la realización de los agujeros del punzón

es de radio 10 mm; la tolerancia se seleccionó de acuerdo al criterio del fabricante y diseñador. En el porta punzón se realiza un rectificado con valor N5 (0,4 μm), el valor se tomó como referencia de la norma INEN 003.

Punzón:

Para el punzón se utilizó una tolerancia de $\pm 0,1$ mm en todas sus dimensiones incluyendo el redondeo de sus aristas de radio 10 mm, la tolerancia seleccionada es criterio personal del diseñador. Se realiza un rectificado con valor N4 (0,2 μm), el valor del rectificado se tomó como referencia de la norma INEN 003.

Prensachapas:

En la placa prensachapas se utilizó una tolerancia de ± 1 mm en todas sus dimensiones incluyendo el redondeo de las aristas de radio 10mm. En lo que se refiere a los agujeros para el paso de los punzones de igual manera se utiliza una tolerancia de $\pm 0,5$ mm; las tolerancias se seleccionaron de acuerdo al criterio del fabricante y diseñador. En este elemento se realizó el trabajo de rectificado con un valor de N5 (0,4 μm), valor tomado como referencia de la norma INEN 003.

Columna guía:

La tolerancia general para todas las dimensiones de la columna guía es de $\pm 0,2$ mm, este valor de tolerancia se tomó de la norma DIN 172A que se encuentra detallada en la figura 6. En lo que se refiere a los ejes base, sus ajustes son de s6 y h6 respectivamente, en este elemento se realiza un temple como tratamiento térmico para lograr una dureza de 60-62 HRC. En la columna guía se realizó un trabajo de torneado con un valor de N7 (1,6 μm), tomados como referencia de la norma INEN 003.

Casquillo guía:

La tolerancia general para todas las dimensiones del casquillo guía es de $\pm 0,2$ mm, este valor de tolerancia se tomó de la norma DIN 172A que se encuentra detallada en la figura 6. En lo que se refiere al agujero y eje base que existen en este elemento, sus ajustes son de H7 y s6 respectivamente, en este elemento se realiza un temple como tratamiento térmico para lograr una dureza de 60-62 HRC. En el casquillo guía se realizó un trabajo de torneado con un valor de N7 (1,6 μm), tomados como referencia de la norma INEN 003.

Matriz:

Para la matriz se utilizó una tolerancia de $\pm 0,1$ mm en todas sus dimensiones incluyendo el redondeo de sus aristas de radio 10 mm, la tolerancia seleccionada es criterio personal del diseñador. Se realiza un rectificado con valor N4 (0,2 μm), valor tomado como referencia de la norma INEN 003.

Porta matriz:

La tolerancia en el porta matriz para sus dimensiones es de $\pm 1,2$ mm, en lo que se refiere a los agujeros para la matriz se utilizó una tolerancia de $\pm 0,5$ mm incluyendo el redondeo de aristas de radio 10 mm; las tolerancias se seleccionaron de acuerdo al criterio del fabricante y diseñador. En el porta matriz se realiza un rectificado con valor N5 (0,4 μm), el valor se tomó como referencia de la norma INEN 003.

Placa Inferior:

En la placa inferior se utilizó una tolerancia de ± 5 mm en todas sus dimensiones, en lo que se refiere a los agujeros se recomendó un ajuste H7 y en este elemento se realiza un rectificado con valor N5 (0,4 μm), el valor del rectificado se tomó como referencia de la norma INEN 003.

Elemento elástico:

Las tolerancias utilizadas en este elemento para sus diámetros es de $\pm 0,2$ mm y para la longitud su tolerancia es de $\pm 0,5$ mm, estos valores de tolerancias fueron tomados de la norma DIN 10069-1 que se encuentra en la figura 9. En el elemento elástico no se realiza ningún tipo de trabajo, por lo tanto no tiene un valor de acabado superficial.

Tope:

En el tope se utilizó una tolerancia de $\pm 0,3$ mm para todas sus dimensiones, cabe señalar que no se tomó ninguna referencia para su valor de tolerancia sino que fue criterio propio del diseñador. Se realizó un rectificado con valor N5 (0,4 μ m), tomado como referencia de la norma INEN 003.

En el anexo A se pueden observar todos los planos con las dimensiones y detalles de la matriz y sus elementos.

4. Capítulo 4: FABRICACIÓN

4.1. Fabricación de la matriz de estampado

4.1.1. Fabricación de las partes

Se desarrolló hoja de procesos para la fabricación de los elementos de la matriz de estampado. Tomando como mayor importancia a las hojas de la matriz y punzón. Se realizó la hoja de procesos de los siguientes elementos, los que se encuentran en el anexo B:

- Hoja de procesos de punzón.
- Hoja de procesos de matriz.
- Hoja de procesos de elementos guía.
- Hoja de procesos de placas superior e inferior.
- Hoja de procesos de porta punzón y porta matriz.

4.1.2. Ensamble del conjunto

Una vez contruidos todos los elementos de la matriz de estampado de acuerdo con los planos técnicos y sus respectivas hojas de procesos, se realiza el ensamble del mismo, primero identificando los elementos que requieren mayor atención basados en la embutición de la lámina metálica, para lo cual se debe ensamblar de la siguiente manera:

- 1) Conjunto Inferior Matriz de Estampado (A).
- 2) Conjunto Superior Matriz de Estampado (B).

Cada componente de la matriz debe tener una posición específica con respecto a los otros elementos para lograr su funcionamiento adecuado.

Conjunto Inferior Matriz de Estampado

Al tener listo la alineación entre la placa inferior y la porta matriz, se procede a colocar los pernos de sujeción para la fijación correcta de los elementos, también se coloca los topes para los límites de la materia prima. Después se procede a colocar las columnas guías en la placa inferior para la correcta alineación con la parte superior de la matriz y por último se procede a colocar las matrices en el porta matriz.

El proceso de ensamble se muestra en la figura 41.

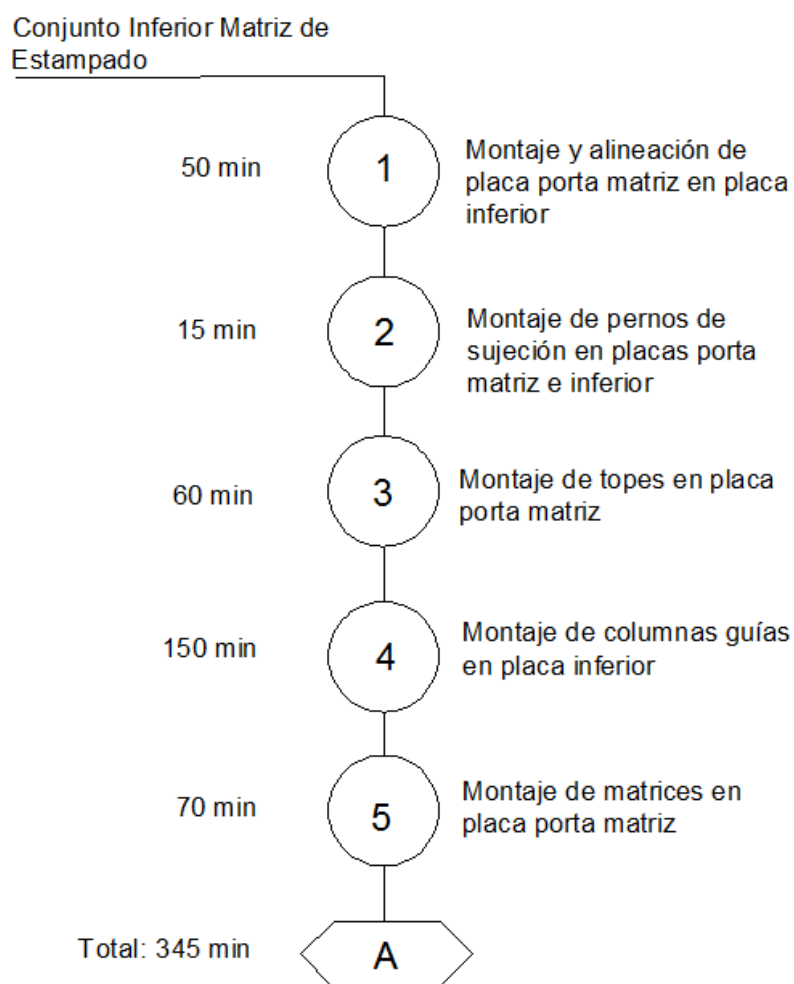


Fig. 41: Diagrama de Ensamble del Conjunto Inferior Matriz de Estampado

El conjunto inferior matriz de estampado ensamblado se muestra en la figura 42.

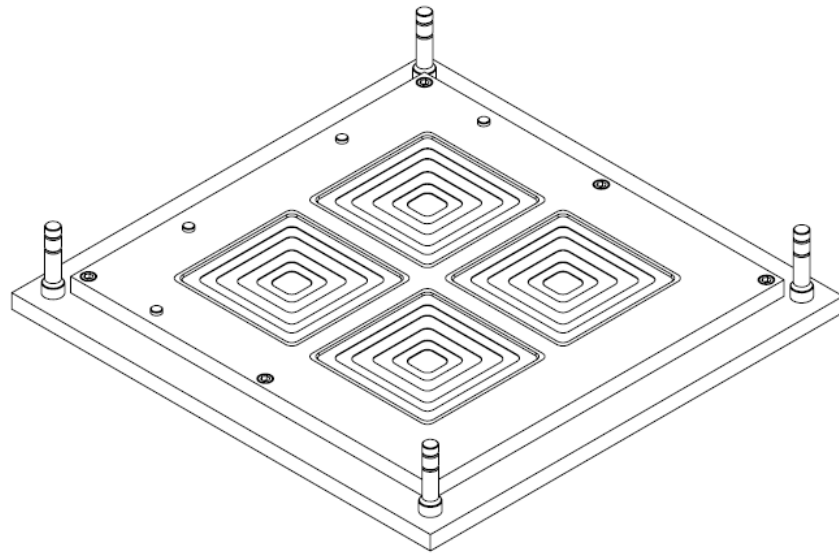


Fig. 42: Conjunto Inferior Matriz de Estampado

Conjunto Superior Matriz de Estampado

Para el montaje del conjunto superior, se realiza la alineación del punzón con el porta punzón y la placa superior, donde su fijación estará dada por pernos. Después se alinean la placa prensachapas con los elementos elásticos y al mismo tiempo lo alineamos también con el porta punzón para proceder a colocar los pernos de sujeción para su correcta fijación. El último paso del montaje es colocar los casquillos guías en la placa superior.

El proceso de ensamble se muestra en la figura 43.

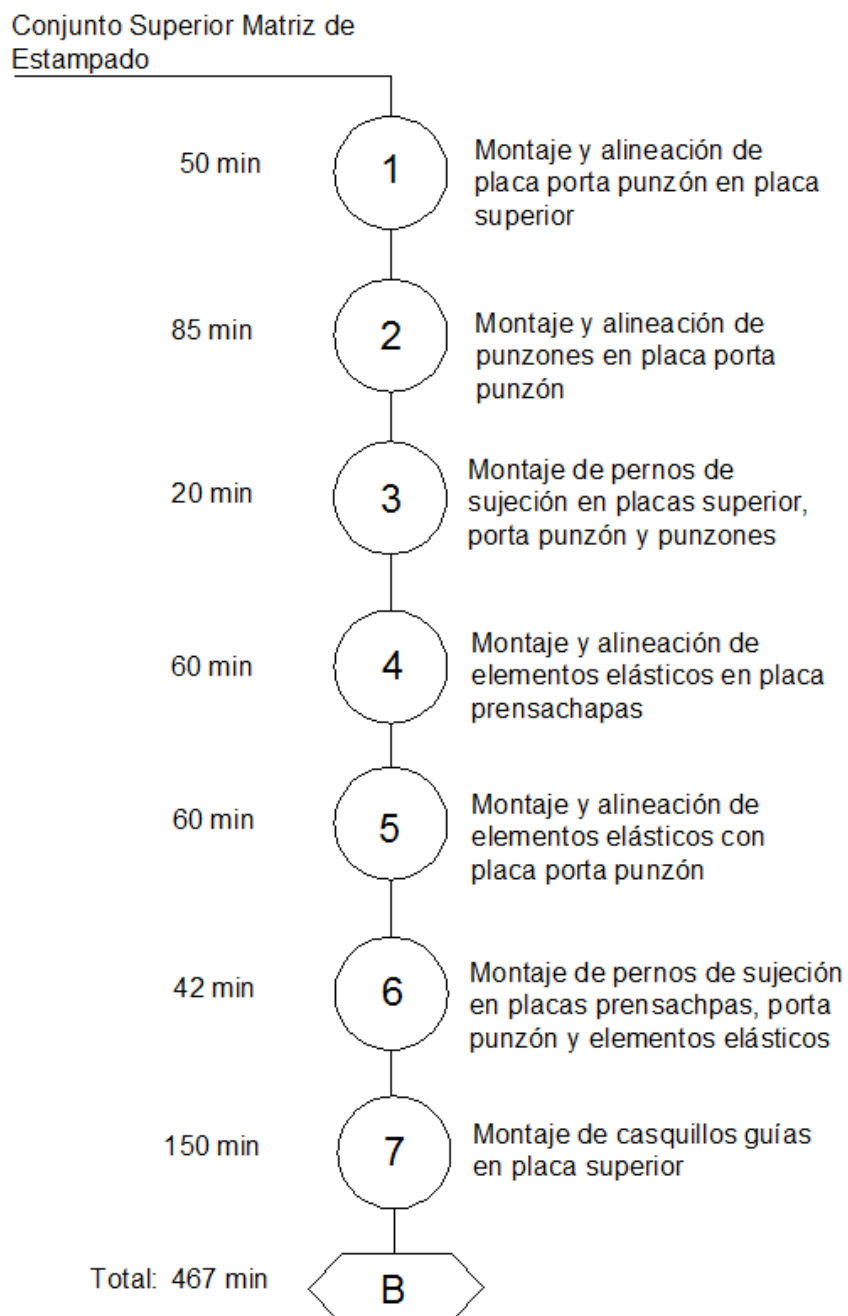


Fig. 43: Diagrama de Ensamblaje del Conjunto Superior Matriz de Estampado

El conjunto superior matriz de estampado ensamblado se muestra en la figura 44.

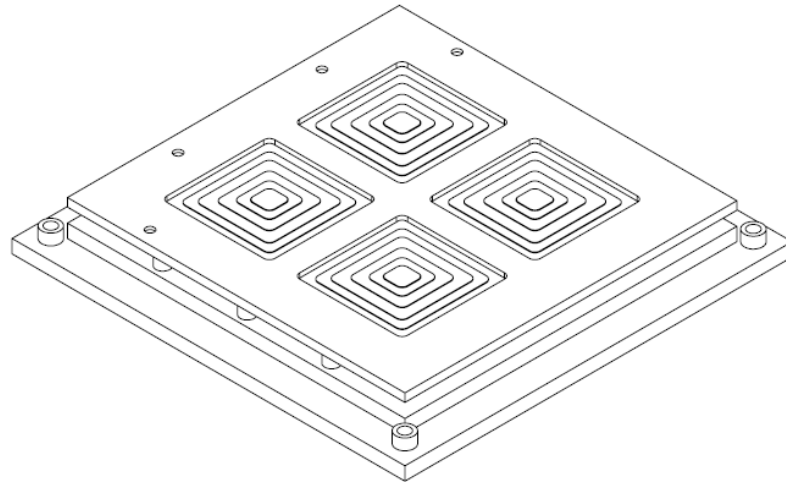


Fig. 44: Conjunto Superior Matriz de Estampado

4.2. Plan de mantenimiento

El mantenimiento de las matrices es una de las operaciones más importantes para alargar su vida y reducir los paros de producción. Para cumplir estos propósitos durante el mantenimiento de la matriz se debe:

- Rectificar o cambiar todos los punzones y no solo aquellos que estén más desgastados.
- Todos los punzones de embutición deben estar a la misma altura.
- Todos los elementos elásticos deben trabajar en las mismas condiciones (altura, diámetro, durabilidad).
- Tener especial cuidado en que las condiciones de trabajo después del mantenimiento sean las mismas que las anteriores.
- Tener recambios de los elementos que presenten mayor riesgo de desgaste o rotura.

Mantenimiento Preventivo:

El mantenimiento preventivo tiene por objeto asegurar y mantener en todo momento la capacidad de producción de la matriz, independientemente de su antigüedad. Dicho mantenimiento lleva implícito el aseguramiento de la calidad de las piezas que fabrique la matriz.

Durante el mantenimiento preventivo, hay que realizar una revisión de todos los elementos de la matriz. Los aspectos que deben tomarse en cuenta se enumeran a continuación:

Revisión placa superior

1. Roturas o melladuras.
2. Deformaciones.
3. Tolerancias de ajuste con casquillos.
4. Verificación de dimensiones.
5. Sujeción de placas.

Revisión portapunzón

1. Perforado de agujeros.
2. Tolerancias dimensionales con agujeros.
3. Marcas en superficie.
4. Deformaciones.
5. Sujeción de punzones.

Revisión de punzones

1. Roturas o melladuras.
2. Verificación de dimensiones y tolerancias de ajuste.
3. Alturas de trabajo.
4. Desgastes.
5. Adherencias.
6. Deformaciones.

Revisión prensachapas

1. Perforado de agujeros.
2. Tolerancia de ajuste.
3. Verificación dimensional.
4. Marcas en superficie.
5. Deformaciones.
6. Fuerza de pisado.
7. Guía de punzones.

Revisión elemento elástico

1. Fatiga.
2. Pandeo.
3. Tolerancias dimensionales.
4. Deformaciones.
5. Centraje.

Revisión de elementos guía

1. Fijación de columnas y casquillos guía.
2. Verificación tolerancias de ajuste.
3. Ralladuras.
4. Desprendimientos.
5. Desgastes.
6. Adherencias.
7. Lubricación.
8. Deslizamientos.

Revisión de matrices

1. Vida útil de la matriz.
2. Tolerancias dimensionales.
3. Desgastes.

4. Roturas o melladuras.
5. Deformaciones.

Revisión portamatriz

1. Perforado de agujeros.
2. Sujeción de matrices.
3. Tolerancias dimensionales con agujeros matriz.
4. Marcas en superficie.
5. Deformaciones.

Revisión placa inferior

1. Roturas o melladuras.
2. Tolerancia de ajuste con columnas.
3. Deformaciones.
4. Verificación de dimensiones.
5. Sujeción de placas.

En la tabla 13, se muestra la ficha de mantenimiento preventivo de la matriz:

Tabla 13

Ficha de mantenimiento de la matriz

FICHA DE MANTENIMIENTO MATRIZ DE ESTAMPADO						
N° de Matriz: 1		FECHA INICIAL:		FECHA FINAL:		
Denominación: Matriz de Estampado						
Operario:						
LIMPIEZA						
Código	Componente	Periodo	Recurso	Tiempo (min)	Repeticiones	Total mes (min)
CIM	Conjunto Inferior Matriz de Estampado					
CIM1	Limpieza exterior conjunto inferior	Quincenal	Hidrosoluble 448	6	2	12
CIM2	Limpieza placa inferior	Semanal	Hidrosoluble 448	2	4	8
CIM3	Limpieza portamatriz	Semanal	Hidrosoluble 448	2	4	8
CIM4	Limpieza matrices	Semanal	Hidrosoluble 448	5	4	20
CIM5	Limpieza columnas guía	Semanal	Hidrosoluble 448	2	4	8
CSM	Conjunto Superior Matriz de Estampado					
CSM1	Limpieza exterior conjunto superior	Quincenal	Hidrosoluble 448	6	2	12
CSM2	Limpieza placa superior	Semanal	Hidrosoluble 448	2	4	8
CSM3	Limpieza portapunzón	Semanal	Hidrosoluble 448	2	4	8
CSM4	Limpieza punzones	Semanal	Hidrosoluble 448	5	4	20
CSM5	Limpieza casquillos guía	Semanal	Hidrosoluble 448	2	4	8
CONTROL/ VERIFICACIÓN VISUAL						
Código	Componente	Periodo	Inspección	Tiempo (min)	Repeticiones	Total mes (min)
PS	Placa Superior					
PS1	Roturas o melladuras	Quincenal	Visual	5	2	10
PS2	Deformaciones	Quincenal	Visual	5	2	10
PS3	Tolerancias de ajuste	Mensual	Dimensional	8	1	8
PS4	Verificación dimensional	Mensual	Dimensional	8	1	8
PS5	Sujeción de placas	Mensual	Visual	5	1	5
PP	Placa Portapunzón					
PP1	Perforado de agujeros	Semanal	Visual	6	4	24
PP2	Tolerancias dimensionales	Mensual	Dimensional	8	1	8
PP3	Marcas en superficie	Quincenal	Visual	5	2	10
PP4	Deformaciones	Quincenal	Visual	3	2	6
PP5	Sujeción de punzones	Semanal	Visual	5	4	20
P	Punzones					
P1	Roturas o melladuras	Semanal	Visual	5	4	20
P2	Verificación dimensiones y tolerancias	Mensual	Dimensional	15	1	15
P3	Alturas de trabajo	Quincenal	Visual	8	2	16
P4	Desgastes	Quincenal	Visual	5	2	10
P5	Adherencias	Semanal	Visual	5	4	20
P6	Deformaciones	Quincenal	Visual	5	2	10

CONTINÚA 

PPS	Placa Prensachapas					
PPS1	Perforado de agujeros	Semanal	Visual	5	4	20
PPS2	Tolerancia de ajuste	Mensual	Dimensional	8	1	8
PPS3	Verificación dimensional	Mensual	Dimensional	8	1	8
PPS4	Marcas en superficie	Quincenal	Visual	3	2	6
PPS5	Deformaciones	Quincenal	Visual	3	2	6
PPS6	Fuerza de pisado	Quincenal	Dimensional	10	2	20
PPS7	Guía de punzones	Semanal	Visual	5	4	20
EE	Elemento elástico					
EE1	Fatiga	Semanal	Visual	3	4	12
EE2	Pandeo	Semanal	Visual	3	4	12
EE3	Tolerancias dimensionales	Mensual	Dimensional	10	1	10
EE4	Deformaciones	Quincenal	Visual	5	2	10
EE5	Centraje	Quincenal	Visual	5	2	10
CCG	Columnas y casquillos guía					
CCG1	Fijación columnas y casquillos guía	Semanal	Visual	5	4	20
CCG2	Verificación tolerancias de ajuste	Mensual	Dimensional	10	1	10
CCG3	Ralladuras	Quincenal	Visual	3	2	6
CCG4	Desprendimientos	Quincenal	Visual	5	2	10
CCG5	Desgastes	Quincenal	Visual	5	2	10
CCG6	Adherencias	Quincenal	Visual	5	2	10
CCG7	Lubricación	Semanal	Visual	5	4	20
CCG8	Deslizamientos	Quincenal	Visual	3	2	6
M	Matrices					
M1	Vida útil de la matriz	Quincenal	Visual	6	4	24
M2	Tolerancias dimensionales	Mensual	Dimensional	15	1	15
M3	Desgastes	Quincenal	Visual	5	2	10
M4	Roturas o melladuras	Semanal	Visual	5	4	20
M5	Deformaciones	Semanal	Visual	5	4	20
PPP	Placa Portamatriz					
PPP1	Perforado de agujeros	Semanal	Visual	3	4	12
PPP2	Sujeción de matrices	Quincenal	Visual	5	2	10
PPP3	Tolerancias dimensionales	Mensual	Dimensional	8	1	8
PPP4	Marcas en superficie	Semanal	Visual	5	4	20
PPP5	Deformaciones	Quincenal	Visual	5	2	10
PI	Placa Inferior					
PI1	Roturas o melladuras	Quincenal	Visual	5	2	10
PI2	Tolerancias de ajuste	Mensual	Dimensional	8	1	8
PI3	Deformaciones	Quincenal	Visual	5	2	10
PI4	Verificación de dimensiones	Mensual	Dimensional	8	1	8
PI5	Sujeción de placas	Mensual	Visual	5	1	5
	TOTAL TIEMPO MANTENIMIENTO MATRIZ DE ESTAMPADO (min):					736

Mantenimiento Correctivo:

El mantenimiento correctivo de la matriz tiene por objeto reparar todos aquellos defectos que han ocurrido o que se sabe que van a ocurrir, con soluciones prácticas (más o menos temporales) que se aplican a la matriz

con el fin de reducir o minimizar los tiempos de paros durante la producción.

Al momento de realizar este tipo de mantenimiento, no es de suma importancia la revisión completa de toda la matriz, sino, la reparación inmediata del elemento causante del problema y conseguir que la producción no se pare más tiempo del estrictamente necesario.

Para poder realizar un buen mantenimiento correctivo también es importante que el diseño de la matriz cuente con unos criterios muy prácticos con el fin de que el operario pueda tener acceso a todos los componentes de la matriz sin necesidad de desmontarla en su totalidad. Hay que tener en cuenta los siguientes aspectos para facilitar y agilizar el mantenimiento:

- Facilidad de acceso a todos los componentes.
- Disponer de los medios necesarios para el mantenimiento.
- Conocer en profundidad la herramienta antes de repararla.
- Operarios con experiencia y profesionalidad.

La matriz de estampado para puertas paneladas metálicas si cuenta en su diseño con estos criterios prácticos para la ejecución del mantenimiento correctivo.

Limpieza, engrase:

Los componentes dañados o rotos de la matriz no es suficiente, sino que éstos deben estar cuidados y limpios en su totalidad cada vez que se haya terminado una fabricación. La limpieza y el engrase de toda la matriz es fundamental si se quiere que está siempre se encuentre en perfecto estado de funcionamiento.

La limpieza de todos y cada uno de los elementos de la matriz, así como el engrase o aceitado general de toda la matriz, permitirá que los elementos que la componen no estén sometidos a posibles oxidaciones que llegarían a

degradar las características mecánicas del material y las tolerancias de ajuste o acabado.

4.3. Pruebas de funcionamiento

4.3.1. Pruebas Dimensionales

Cualquier matriz por sencilla que parezca encierra una gran posibilidad de generar problemas que son directamente proporcionales al número y a la dificultad de las transformaciones que realiza. Es conveniente tener en cuenta que todas y cada una de las transformaciones que se hacen con una matriz son susceptibles de sufrir cambios o modificaciones en sus medidas si no se pone un cuidado especial en la forma en que se realizan.

A continuación se detallan ciertos aspectos que si deben hacerse durante las pruebas de una matriz:

- Preparar la matriz con tiempo suficiente para hacer las pruebas.
- Disponer del plano de la pieza, además del útil de control.
- Disponer de los medios necesarios para cambiar o modificar los parámetros de diseño de la matriz.
- Anotar los resultados obtenidos y analizarlos después de finalizar las pruebas.

En la tabla 14, se muestra la ficha de control dimensional del punzón:

Tabla 14

Ficha de control dimensional matriz de estampado

PRUEBA DE FUNCIONAMIENTO DIMENSIONAL				
Elemento: Punzón matriz de Estampado				
Código: 1203				
<p>El diagrama muestra un punzón matriz de estampado con siete niveles de ranuras concéntricas. Las mediciones A, B, C, D, E, F y G indican las anchuras de cada nivel desde el exterior hacia el interior. La medición G indica el espesor del punzón.</p>				
MEDIDA	VALOR NOMINAL	VALOR REAL	TOLERANCIA (mm)	CUMPLIMIENTO
A	194 mm	193,90 mm	±0,1	OK
B	161 mm	160,98 mm	±0,1	OK
C	133 mm	132,89 mm	±0,1	NO
D	97 mm	96,89 mm	±0,1	NO
E	64 mm	63,97 mm	±0,1	OK
F	39 mm	38,97 mm	±0,1	OK
G	10 mm	10 mm	±0,1	OK

Como se puede observar en la tabla 14, la medida C y D no cumplen con la tolerancia especificada en planos teniendo un error de 0,01mm. No se realizó ningún tipo de corrección en los errores obtenidos de este elemento porque no afecta al funcionamiento de los punzones en el proceso de embutición.

Las fichas de los demás elementos de la matriz de estampado se encuentran en el Anexo C.

4.3.2. Pruebas Funcionales

Durante las pruebas funcionales se va a evaluar si la matriz tiene el funcionamiento correcto, si la pieza obtenida al final del trabajo cumple

con las especificaciones detalladas en el plano y si no presenta ningún tipo de falla.

En la tabla 15, se muestra la ficha de control funcional de la matriz de estampado:

Tabla 15

Ficha de control funcional matriz de estampado

FICHA DE CONTROL FUNCIONAL			
Nombre de la matriz:		Estampado	
Referencia:		P-001	
Número de matriz:		001	
Probado por:		Diego Mullo	
Responsable:		Diego Mullo	
Fecha y firma:		19/12/2014	
Tipo de matriz:		Pieza por golpe:	
Progresiva		Una	X
Manual	X	Dos	
Sistema de transformación:		Tres o más	
Manual	X	Defectos en pieza:	
Semiautomático		Rebabas en material	
Automático		Defectos	
Ciclo de producción:		Grietas	
Pruebas	X	Tolerancia mala	
Prototipos		Defectos embutición	X
Producción		Desprendimientos	
Otros		Otras anomalías	
Tipos de material:		Pieza obtenida:	
Acero	X	OK	X
Aluminio		No OK	
Inoxidable		Pendiente de Informe	
Otros		Otras anomalías	
Funcionamiento de la matriz:			
OK		Correcto Funcionamiento	
No OK		Arrugas	
Irregular		Descentramiento	
Anomalías en pisador		Ninguna	
Anomalías en punzón		Ninguna	
Otros		Desprendimientos	

Tabla 16

Prueba de funcionamiento dimensional panel metálico

PRUEBA DE DIMENSIONAL DE LA PIEZA				
Elemento: Panel Metálico matriz de estampado				
Código: P-001				
MEDIDA	VALOR NOMINAL	VALOR REAL	TOLERANCIA (mm)	CUMPLIMIENTO
A	1020 mm	1020 mm	±1,5	OK
B	540 mm	550 mm	±1,5	NO
C	10 mm	10 mm	±1,5	OK
D	51,70 mm	56 mm	±1,5	NO
E	45 mm	45 mm	±1,5	OK
F	50,90 mm	53 mm	±1,5	NO
G	195 mm	195,4 mm	±1,5	OK
H	45 mm	45 mm	±1,5	OK
I	195 mm	195,4 mm	±1,5	OK
J	195 mm	195,4 mm	±1,5	OK
K	45 mm	43 mm	±1,5	NO

Como se puede observar en la tabla 16, las medidas B, D, F y K no cumplen con la tolerancia especificada en planos del panel metálico. La razón de este error en las medidas es que al momento de realizar la prueba funcional de la matriz de estampado se quitaron los topos diseñados, para que el proceso de embutición sea el adecuado y lograr obtener el panel metálico deseado.

4.4. Análisis de Resultados

Tabla 17

Análisis de Resultados durante las pruebas de matriz de estampado

PRUEBA	TONELAJE	Material	DEFECTO	MEDIDA DEFECTO	FIGURA
1	30	Acero galvanizado	Falta de embutido	6,5 mm	Figura 45
			Arrugas	2 mm	
2	80	Acero galvanizado	Arruga 1	30mm x 7mm	Figura 46
			Arruga 2	50mm x 8mm	
3	120	Acero galvanizado	Arruga 1	45mm x 7mm	Figura 47
			Embutido desigual 1	7,5 mm	
			Arruga 2	55mm x 7mm	
			Embutido desigual 2	7,5 mm	
	120	Acero negro A36	Arruga 1	45mm x 2mm	Figura 48
			Arruga 2	20mm x 2mm	
Embutido desigual 1			7,5 mm		
Embutido desigual 2			7,5 mm		
4	152,5	Acero negro A36	Ningún defecto		Figura 49

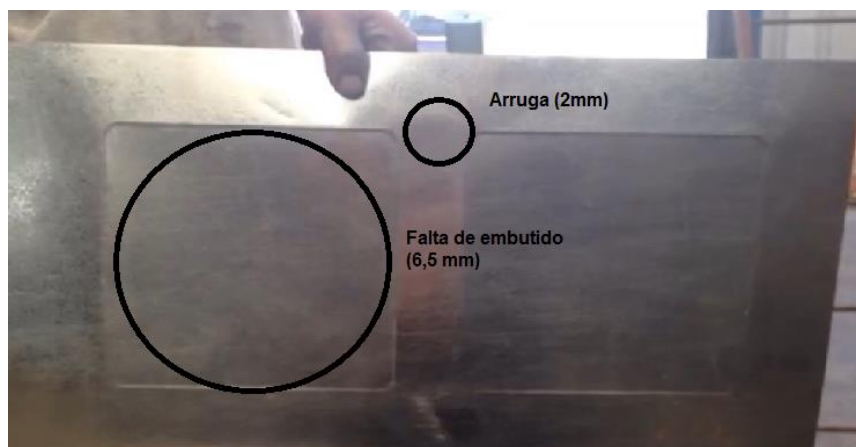


Fig. 45: Resultado lámina metálica primera prueba

Como se puede observar en la figura existen errores de arruga y falta de embutido considerando que la lámina metálica no es aceptada por los defectos existentes. El motivo de esto es la falta de fuerza que existe en

la prensa utilizada para esta prueba, por lo que la siguiente prueba se realizará en una prensa con mayor capacidad.

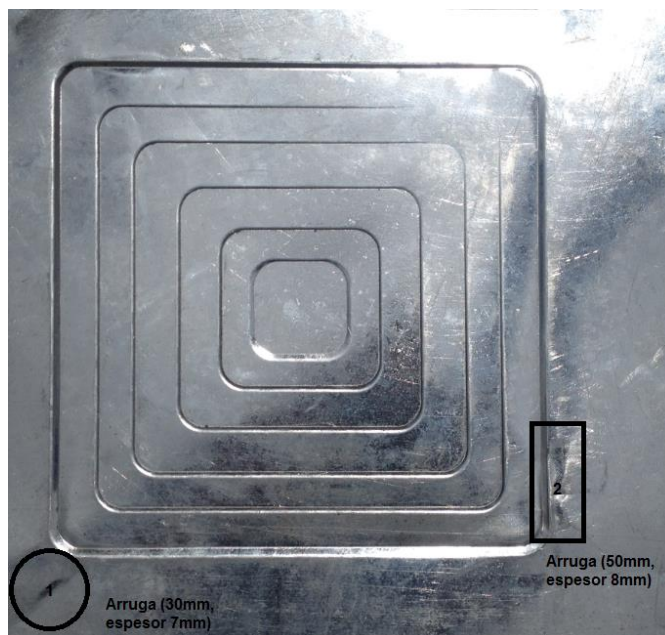


Fig. 46: Resultado lámina metálica segunda prueba

Como se puede observar en la figura 46, existen defectos de arrugas por lo que no es aceptada la lámina metálica. Para lo que se procedió a realizar la siguiente prueba en una troqueladora ya que tiene mayor capacidad de fuerza.

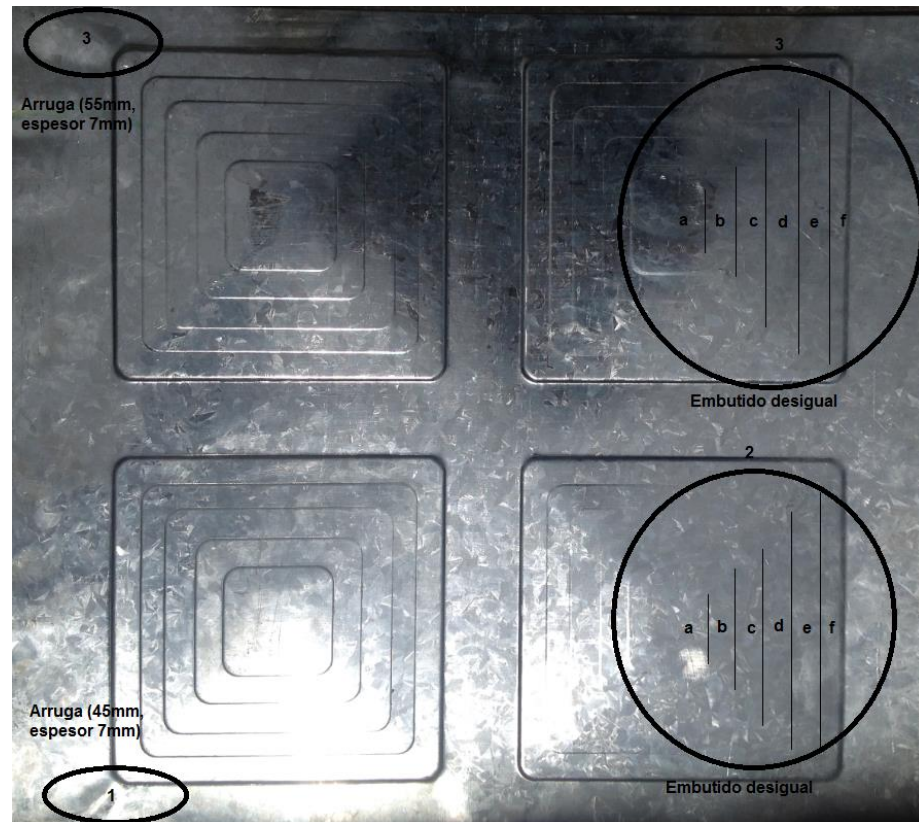


Fig. 47: Resultado lámina metálica tercera prueba

Tabla 18

Resultado lámina metálica tercera prueba

Defecto	Medida	Altura nominal (mm)	Altura real (mm)	Error
Embutido 2	a	7,5	0	-7,5
	b	6,8	0	-6,8
	c	5,6	0	-5,6
	d	4,5	0	-4,5
	e	3,4	0	-3,4
	f	2,25	1,5	-0,75
Embutido 3	a	7,5	0	-7,5
	b	6,8	0	-6,8
	c	5,6	0	-5,6
	d	4,5	0	-4,5
	e	3,4	0	-3,4
	f	2,25	1,5	-0,75

En la figura 47 y la tabla 18 existen defectos de arrugas y embutido desigual, el motivo de estos es la falta de resortes elásticos en el caso de las arrugas y para el embutido desigual es que la matriz de estampado es de gran dimensión y la troqueladora no permite matrices de grandes dimensiones, por lo que el acople entre estos dos elementos no es el adecuado.

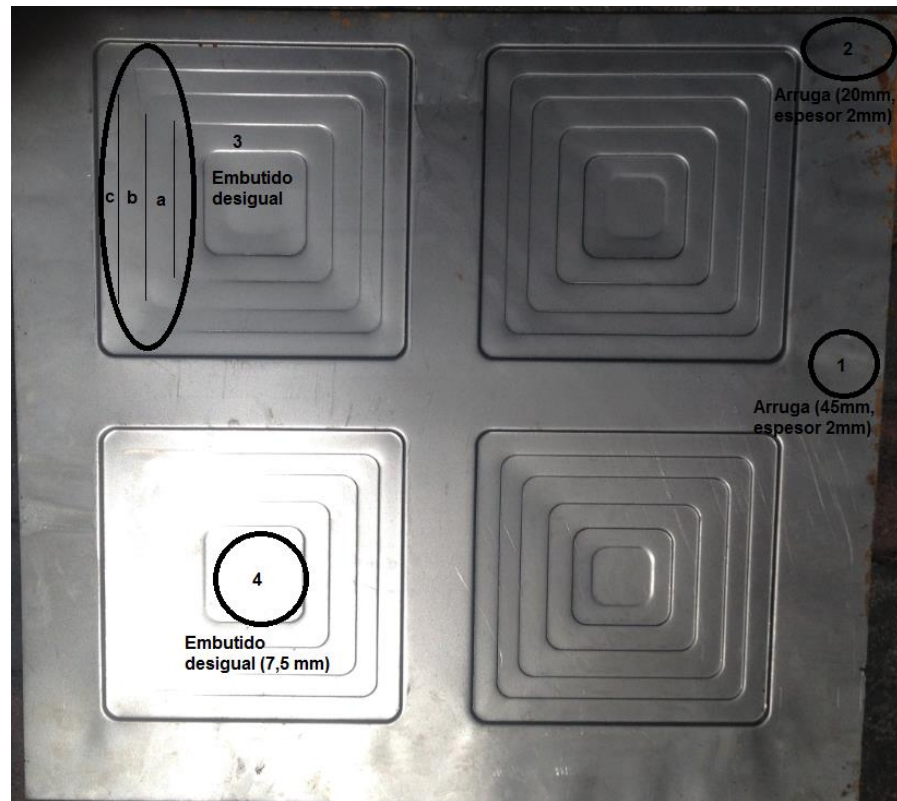


Fig. 48: Resultado lámina metálica tercera prueba

Tabla 19

Resultado medidas lámina metálica tercera prueba

Defecto	Medida	Altura nominal (mm)	Altura real (mm)	Error
Embutido	a	5,6	0,5	-5,1
	b	4,5	0,5	-4
	c	3,4	0	-3,4

En la figura 48 y la tabla 19 existen defectos de arrugas y embutido desigual, el motivo de estos es la falta de resortes elásticos en el caso de las arrugas y para el embutido desigual es que la matriz de estampado es de gran dimensión y la troqueladora no permite matrices de este tipo, por lo que el acople entre estos dos elementos no es el adecuado. Para la siguiente prueba de la lámina metálica se utilizó una prensa hidráulica de gran capacidad (152,5 toneladas).



Fig. 49: Resultado lámina metálica cuarta prueba

En la figura 49 se puede observar el correcto embutido de la matriz en la lámina metálica. Para corregir los errores anteriores se utilizó una mayor cantidad de resortes elásticos, el doble de los diseñados para evitar las arrugas y se utilizó la prensa hidráulica, donde el acople con las dimensiones de la matriz fue adecuado, evitando el embutido desigual y obteniendo lámina metálica final deseada.

5. Capítulo 5: ANÁLISIS ECONÓMICO FINANCIERO

5.1. Análisis Económico

Costos Directos

Los costos directos son aquellos que intervienen directamente en la fabricación de todos los elementos de la matriz.

Dentro de los costos directos se encuentran los costos de materiales directos, los cuales se encuentran presentes físicamente en la matriz de estampado para puertas paneladas metálicas como se muestra en la tabla 20.

Tabla 20
Costos de materiales directos

#	DETALLE	CANT.	COSTO UNITARIO	SUBTOTAL
	Unidades		\$	\$
1	Placas de acero ASTM A36 (705x715x25)	2	134,68	269,36
2	Placas de acero ASTM A36 (605x615x25)	2	101,36	202,72
3	Placa de acero ASTM A36 (605x615x18)	1	81,09	81,09
4	Eje de acero Bohman AISI 4340 (Ø32)	4	3,80	15,20
5	Eje de acero Bohman AISI 4340 (Ø35)	4	1,70	6,80
6	Placas de acero Bohler K460 (210x15)	4	64,03	256,10
7	Placas de acero Bohler K460 (200x50)	4	196,30	785,20
8	Pernos Allen M10	36	1,20	43,20
9	Pernos Allen M12	40	1,60	64,00
10	Eje de acero ASTM A681 (Ø15)	4	3,50	14,00
11	Resortes de plástico uretano	40	5,62	224,80
TOTAL USD				1962,47

El costo de alquiler de las máquinas herramientas utilizadas y el ensamble para la fabricación de la matriz de estampado son también costos directos y se pueden observar en la tabla 21 y en la tabla 22 respectivamente.

Tabla 21**Costos de Máquinas Herramientas**

DESCRIPCIÓN	HORAS	COSTO/HORA	SUBTOTAL
Unidades		\$	\$
Servicio de torno	25	7,00	175,00
Servicio de rectificado	70	10,00	700,00
Servicio de taladro	34	5,00	170,00
Servicio de fresado	60	7,00	420,00
Servicio de oxicorte	24	8,00	192,00
Servicio de troquelado	10	6,20	62,00
TOTAL USD	223	43,20	1.719,00

Tabla22**Costos Ensamble Matriz de Estampado**

DESCRIPCIÓN	HORAS	COSTO/HORA	SUBTOTAL
Unidades		\$	\$
Ensamble	13	7,00	91,00
TOTAL USD			91,00

Otro costo directo es el de la mano de obra designada para la fabricación, montaje y adecuación de los componentes de la matriz de estampado como se observa en la tabla 23.

Tabla 23**Costos de Mano de Obra**

DESCRIPCIÓN	HORAS	COSTO/HORA	SUBTOTAL
Unidades		\$	\$
Mano de obra	223	5,00	1115,00
TOTAL USD			1115,00

Costos Indirectos

Los costos indirectos son los gastos necesarios para el desarrollo de todos los objetivos planteados y se muestra en la tabla 24.

Tabla 24
Costos indirectos

DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL USD
Unidades	\$
Servicios Básicos	125,00
Internet	10,00
Transporte	500,00
Impresiones	100,00
Suministros varios	25,00
TOTAL USD	760,00

Otros costos que intervienen indirectamente son los costos de diseño, los cuales se muestran en la tabla detallada a continuación:

Tabla 25
Costos de diseño

DESCRIPCIÓN	HORAS	\$/HORA	SUBTOTAL
Unidades		\$	\$
Diseño	115,5	5,00	577,50
Material Técnico	24	2,00	48,00
TOTAL USD			625,50

El costo total de la matriz de estampado para puertas paneladas metálicas, es la suma de todos los costos involucrados con la fabricación, los cuales se muestran en la tabla 26.

Tabla 26
Costo Total Matriz de Estampado

DESCRIPCIÓN	SUBTOTAL
Unidades	\$
Costos de materiales directos	1962,47
Costo de Máquinas Herramientas	1810,00
Costo mano de obra	1180,00
Costos indirectos	760,00
Costos de diseño	625,50
TOTAL USD	6337,97

5.2. Análisis Financiero:

Después de la fabricación de la matriz de estampado para puertas paneladas metálicas se realizó una evaluación financiera del proyecto con el fin de obtener información y determinar si su ejecución es viable y rentable.

Para la realización del análisis financiero, se consideró la inversión necesaria para la matriz de estampado para puertas paneladas metálicas que se detallan a continuación:

Tabla 27

Total de inversión inicial proyecto

INVERSION				
CONCEPTO	UNIDAD DE MEDIDA	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
FABRICACIÓN Y ADECUACIONES	Unidades		\$	\$
Materiales directos	unidad	1	1962,47	1962,47
Máquinas Herramientas	unidad	1	1810,00	1810,00
Mano de Obra	unidad	1	1180,00	1180,00
Materiales indirectos	unidad	1	760,00	760,00
Diseño	unidad	1	625,50	625,50
Adecuaciones de la matriz de estampado			1200,00	1200,00
TOTAL INVERSIONES (\$)				7537,97

Continuando con el análisis se realizó un estudio de ingresos de la empresa Aceroscenter para saber con exactitud qué cantidad de producto panelado de medidas 1020mm x 540mm venden anualmente, teniendo el estudio durante los años 2012, 2013 y 2014. En la tabla 28 se muestra con detalle los productos, cantidad y valores vendidos de productos panelados.

Tabla 28

Ingresos de productos panelados vendidos

PRODUCTOS	AÑO	CANT.	VALOR UNITARIO [\$]	TOTAL [\$]	PORCENTAJE INCREMENTO/ DECREMENTO
Cuarto de puerta acero negro A36 (1020mm x 540mm)	2012	900	\$ 6,90	\$ 6.210,00	
Cuarto de puerta acero negro A36 (1020mm x 540mm)	2013	1150	\$ 6,90	\$ 7.935,00	0,22
Cuarto de puerta acero negro A36 (1020mm x 540mm)	2014	2276	\$ 6,90	\$ 15.704,40	0,49

Teniendo en cuenta el cuarto de puerta acero negro A36 (1020mm x 540mm), que es el producto principal a fabricar en este proyecto, se considera la cantidad y el valor total para calcular los costos fijos y los costos variables; los cuales son proyectados para 5 años. En la tabla siguiente se muestran los cálculos de los costos, donde se toma en cuenta que la producción en el primer año es el 20% de los ingresos del panel en el 2014, en el segundo año el 50%, en el tercer año el 70% y en el cuarto ya el 100%.

Tabla 29

Cálculo de costos fijos y costos variables

CALCULO DE COSTOS FIJOS					
CONCEPTOS	AÑOS				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Mano de obra	\$ 236,00	\$ 725,70	\$ 1.015,98	\$ 1.451,40	\$ 1.451,40
Servicios básicos		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
COSTO FIJO TOTAL	\$ 236,00	\$ 725,70	\$ 1.015,98	\$ 1.451,40	\$ 1.451,40
CALCULO COSTOS VARIABLES					
CONCEPTO	AÑOS				
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Produccion	455	1138	1593	2276	2959
Costo Variable Unitario	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00	\$ 5,00
COSTO VARIABLE TOTAL	\$ 2.276,00	\$ 5.690,00	\$ 7.966,00	\$ 11.380,00	\$ 14.794,00

Una vez calculados los costos fijos y variables, se realiza el estudio del capital de trabajo que no es más que una medida de la capacidad que tiene una empresa para continuar con el normal desarrollo de sus actividades en un corto plazo. Con lo anteriormente descrito la tabla 30 muestra los cálculos del capital de trabajo para un ciclo operativo de un mes.

Tabla 30**Cálculo capital de trabajo para un mes**

CALCULO DEL CAPITAL DE TRABAJO					
AÑOS					
COSTOS	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
COSTOS VARIABLES	\$ 2.276,00	\$ 5.690,00	\$ 7.966,00	\$ 11.380,00	\$ 14.794,00
COSTOS FIJOS	\$ 1.180,00	\$ 1.451,40	\$ 1.451,40	\$ 1.451,40	\$ 1.451,40
TOTAL	\$ 3.456,00	\$ 7.141,40	\$ 9.417,40	\$ 12.831,40	\$ 16.245,40
CICLO OPERATIVO	1 MES	1 MES	1 MES	1 MES	1 MES
CAPITAL DE TRABAJO	\$ 284,05	\$ 586,96	\$ 774,03	\$ 1.054,64	\$ 1.335,24

Un factor muy importante para el análisis financiero del proyecto es la depreciación, donde después de ciertos años el valor de la construcción o adecuación decrece y puede ser afectado en la producción, por lo que se analiza si se necesitaría una nueva matriz de estampado o no. En la siguiente tabla se muestra las depreciaciones de la matriz.

Tabla 31**Depreciaciones de construcciones y adecuaciones**

DEPRECIACIONES							
FABRICACIÓN Y ADECUACIONES							
VALOR RESIDUAL	10%						
Materiales directos		Máquinas Herramientas		Mano de Obra		Materiales indirectos	
Valor Adquisición	\$ 1.962,47	Valor Adquisición	\$ 1.810,00	Valor Adquisición	\$ 1.180,00	Valor Adquisición	\$ 760,00
Valor Residual	\$ 196,25	Valor Residual	\$ 181,00	Valor Residual	\$ 118,00	Valor Residual	\$ 76,00
Número Años	10	Número Años	10	Número Años	10	Número Años	10
Depreciación	\$ 176,62	Depreciación	\$ 162,90	Depreciación	\$ 106,20	Depreciación	\$ 68,40
Diseño		Adecuaciones de la matriz		TOTAL FABRICACIÓN Y ADECUACIONES		\$ 624,42	
Valor Adquisición	\$ 625,50	Valor Adquisición	\$ 1.200,00				
Valor Residual	\$ 62,55	Valor Residual	\$ 120,00				
Número Años	10	Número Años	20				
Depreciación	\$ 56,30	Depreciación	\$ 54,00				
TOTAL DEPRECIACIONES	\$ 624,42						

Una vez teniendo todos los datos de ingresos, costos, capital de trabajo, depreciaciones, analizamos el estado de pérdidas en ganancias del proyecto

para la proyección de cinco años, el cual se encuentra detallado en la tabla 32.

Tabla 32

Estado de pérdidas y ganancias

ESTADO DE PERDIDAS Y GANANCIAS					
MATRIZ DE ESTAMPADO PARA PUERTAS METÁLICAS PANELADAS					
DETALLE	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
(+) INGRESOS	\$3.140,88	\$7.852,20	\$10.993,08	\$15.704,40	\$23.556,60
(-) COSTO	\$2.512,00	\$6.415,70	\$8.981,98	\$12.831,40	\$16.245,40
(=) UTILIDAD BRUTA	\$628,88	\$1.436,50	\$2.011,10	\$2.873,00	\$7.311,20
(-) GASTOS ADMINISTRATIVOS	\$624,42	\$624,42	\$624,42	\$624,42	\$624,42
(-) GASTOS DE VENTAS	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
(=) UTILIDAD OPERACIONAL	\$4,46	\$812,08	\$1.386,68	\$2.248,58	\$6.686,78
(-) GASTOS FINANCIEROS	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
(+) OTROS INGRESOS	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00	\$0,00
(=) UTILIDAD ANTES DE PARTICIPACIÓN	\$4,46	\$812,08	\$1.386,68	\$2.248,58	\$6.686,78
(-) 15% PARTICIPACION TRABAJADORES	\$0,67	\$121,81	\$208,00	\$337,29	\$1.003,02
(=) UTILIDAD ANTES DE IMPUESTOS	\$3,79	\$690,27	\$1.178,68	\$1.911,30	\$5.683,77
(-) 25% IMPUESTO A LA RENTA	\$0,95	\$172,57	\$294,67	\$477,82	\$1.420,94
(=) UTILIDAD NETA	\$2,84	\$517,70	\$884,01	\$1.433,47	\$4.262,82

Como se puede observar en la tabla, la utilidad neta en los dos primeros años tienen un saldo negativo, a partir del tercer año la utilidad tiene un valor positivo, lo que permite interpretar que a partir del 2016 comienza a ganar y a recuperar el dinero invertido.

Para poder obtener de manera más exacta el periodo de recuperación de la inversión, primero obtenemos los flujos netos de fondo de todos los años.

Flujo neto de fondo:

El flujo neto de efectivo es un término de contabilidad que describe los movimientos de efectivo (ingresos y gastos) en un periodo determinado. En la tabla 33 se detallan todos los valores de los flujos netos.

Tabla 33

Flujo neto de fondo del proyecto

FLUJO NETO DE FONDO DEL PROYECTO						
	0	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
INGRESOS		\$ 3.140,88	\$ 7.852,20	\$ 10.993,08	\$ 15.704,40	\$ 23.556,60
- Costos Variables Totales		\$ 2.276,00	\$ 5.690,00	\$ 7.966,00	\$ 11.380,00	\$ 14.794,00
- Costos Fijos Totales		\$ 236,00	\$ 725,70	\$ 1.015,98	\$ 1.451,40	\$ 1.451,40
- Gastos Administrativos		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Gastos de Ventas		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Depreciaciones		\$ 624,42	\$ 624,42	\$ 624,42	\$ 624,42	\$ 624,42
- Amortizaciones		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
= Utilidad Operacional		\$ 4,46	\$ 812,08	\$ 1.386,68	\$ 2.248,58	\$ 6.686,78
- Gastos Financieros		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
= Utilidad antes de impuestos		\$ 4,46	\$ 812,08	\$ 1.386,68	\$ 2.248,58	\$ 6.686,78
- 15% trabajadores		\$ 0,67	\$ 121,81	\$ 208,00	\$ 337,29	\$ 1.003,02
= Utilidad antes de impuestos		\$ 3,79	\$ 690,27	\$ 1.178,68	\$ 1.911,30	\$ 5.683,77
- 25% Impuesto a la Renta		\$ 0,95	\$ 172,57	\$ 294,67	\$ 477,82	\$ 1.420,94
= Utilidad neta		\$ 2,84	\$ 517,70	\$ 884,01	\$ 1.433,47	\$ 4.262,82
+ Depreciaciones		\$ 624,42	\$ 624,42	\$ 624,42	\$ 624,42	\$ 624,42
+ Amortizaciones		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Inversiones Iniciales	\$ (7.537,97)	\$ (7.537,97)	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
- Reinversiones		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
+ Recuperacion Capital de Trabajo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 16.245,40
- Pago del Capital del prestamo		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
+ Valor de Desecho		\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
= FLUJO NETO DE FONDOS	-7537,97	\$ 8.165,23	\$ 1.142,12	\$ 1.508,43	\$ 2.057,89	\$ 21.132,64

Valor actual neto (VAN):

El VAN es un indicador financiero que mide los flujos de los futuros ingresos y egresos que tendrá un proyecto, para determinar, si luego de descontar la inversión inicial, nos quedaría alguna ganancia. Si el resultado es positivo, el proyecto es viable.

Con los datos de la tabla 32, procedemos a calcular la VAN, utilizando la siguiente fórmula y mostrando los resultados en la siguiente tabla:

$$VAN = Inversión\ inicial + \sum \frac{FNF}{(1+i)^N}$$

Tabla 34

Cálculo del Valor actual neto del proyecto

CÁLCULO DE LA VAN							
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5		
FLUJO NETO DE FONDOS	\$ 8.165,23	\$ 1.142,12	\$ 1.508,43	\$ 2.057,89	\$ 21.132,64	Inversión Inicial	\$ (7.537,97)
[FNF/(1+i)^N]	\$ 7.423	\$ 944	\$ 1.133	\$ 1.406	\$ 13.122	VAN	\$ 16.489,45
				SUMATORIA	\$ 24.027		

Tasa mínima aceptable de rendimiento (TMAR):

Para calcular la tasa mínima aceptable de rendimiento es importante que se tengan en cuenta dos factores fundamentales como son el valor de lo que es la propia inflación y el premio al riesgo por la correspondiente inversión.

Para el proyecto se consideró la siguiente fórmula con los datos respectivos para calcular la TMAR:

$$TMAR = \%Índice\ inflacionario\%Tasa\ pasiva\ promedio + \%Premio\ al\ riesgo$$

$$TMAR = 4,19\% + 3,16\% + 5,08\%$$

$$TMAR = 12,43\%$$

Tasa interna de retorno (TIR):

La TIR es la tasa de descuento de un proyecto que permite que el beneficio sea igual a la inversión, esto quiere decir que el valor actual neto sea igual a cero. La TIR es la máxima tasa de descuento que puede tener un proyecto para que se a rentable, pues una mayor tasa ocasionaría que el beneficio sea menor que la inversión.

Utilizando las fórmulas de Excel se logró obtener el resultado de la TIR, que se muestra a continuación:

$$TIR = -P + \frac{\sum FNF}{(1+i)^n}$$

$$TIR = 13,53\%$$

Periodo de recuperación de la inversión (PRI):

El PRI es un instrumento que permite medir el plazo de tiempo que se requiere para que los flujos netos de efectivo de una inversión recuperen su costo o inversión inicial. En la tabla 35 se muestra el PRI.

Tabla 35

Periodo de recuperación de la inversión

AÑOS	FLUJOS NETOS DE FONDOS	FLUJOS ACUMULADOS
1	\$ 7.422,94	\$ 7.422,94
2	\$ 943,90	8.366,84
3	\$ 1.133,30	9.500,14
4	\$ 1.405,57	10.905,71
5	\$ 13.121,71	24.027,42
CALCULO DE TIEMPO		
INVERSION INICIAL NETA	\$ 7.537,97	
TOTAL	0,11	
MESES	1,34	
PERIODO RECUPERACION	1 AÑOS	1 MESES
DIAS	10,19876238	
PERIODO RECUPERACION	1 AÑO 1 MES 10 DIAS	

Como se puede observar en la tabla el periodo de recuperación de la inversión es de 1 año 1 mes y 10 días.

Relación costo beneficio:

La relación costo beneficio toma los ingresos y egresos presentes netos del estado de resultado, para determinar cuáles son los beneficios del proyecto. La relación costo/beneficio es un indicador que mide el grado de desarrollo y bienestar que un proyecto puede generar a una comunidad.

La relación costo beneficio del proyecto se detalla a continuación:

$$B/C = \frac{\text{Flujos netos acumulados}}{\text{Inversión inicial neta}}$$

$$B/C = \frac{\$8366,84}{\$7537,97}$$

$$B/C = 1,11$$

Por cada dólar invertido en el proyecto se tiene una utilidad de \$0,11.

Criterios de decisión:

$TIR \geq TMAR$

$B/C \geq 1$

Dentro de los criterios de decisión el proyecto cumple con los dos factores, por lo tanto se acepta el proyecto.

6. Capítulo 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones:

Luego de la finalización del proyecto se obtuvieron las siguientes conclusiones:

- El diseño y fabricación de la matriz modular de estampado para puertas paneladas metálicas con diseño propio tomo un tiempo de 8 meses para su obtención, cumpliendo con el objetivo general del proyecto en un lapso mayor al previsto, el principal motivo de este retraso fue la falta de conocimiento y experiencia en el tema del proyecto. Concluyendo que el tiempo ideal entre diseño y fabricación de una matriz es de 4 meses.
- Los materiales más idóneos que se emplean para la fabricación de los elementos de una matriz de estampado son el acero ASTM A36 para placas superior, inferior, portapunzón, portamatriz, prensachapas; AISI 4340 para columna y casquillo guía; K460 para punzones y matrices; ASTM A681 para topes y Caucho para resortes. Dichos materiales fueron estudiados en libros dedicados específicamente al tema, cumpliendo con los parámetros de dureza, tenacidad, durabilidad y resistencia al desgaste durante el funcionamiento de la matriz.
- La cantidad de resortes utilizados en una matriz cumple un papel muy importante, el mal cálculo de los resortes necesarios puede provocar arrugas en el producto final como se pudo observar en la segunda y tercera prueba de funcionamiento que se utilizaron 18 resortes. Realizando la cuarta prueba de funcionamiento con 25 resortes no se obtuvo ningún defecto de arruga, concluyendo que el cálculo de la cantidad de resortes debe ser preciso para lograr obtener un adecuado producto final.
- Las pruebas funcionales de la matriz se realizaron en una prensa hidráulica o también conocida como embutidora, que son máquinas donde es posible un fácil y rápido acoplamiento de las matrices con grandes dimensiones como la de este proyecto de 710x700 mm, y con

una capacidad de 152,5-155 toneladas, siendo capaz de abastecer la fuerza total de la matriz calculada.

- Cuando se realizó la prueba dimensional del panel metálico obtenido en la cuarta prueba, se lo comparo con el plano diseñado en el capítulo 3, teniendo como resultado un rango considerable de fallas en las medidas externas llegando a un valor de 2mm, el motivo de esta falla es el retiro de los topes inicialmente diseñados con el fin de lograr una lámina metálica final con la mejor calidad, sin ningún tipo de defecto y un correcto embutido. Con lo que respecta a las medidas internas la lámina metálica cumplió con los valores que fue diseñada la lámina metálica.
- Se realizó la simulación del proceso de embutición mediante el software CAE, cuyos resultados experimentales comparándolos con los resultados nominales permitieron obtener un error del 5,28%, cumpliendo dicho valor un rango aceptable.
- La inversión total inicial neta que se debe emplear para la fabricación y adecuación de la matriz de estampado es de \$7537,97 concluyendo que los costos e inversión van a tener un periodo de recuperación de 1 año 1 mes y 10 días.

Recomendaciones:

- Para realizar el diseño de la matriz de estampado, se recomienda tener una gran información acerca de materiales, dimensiones, tolerancias, costos para poder encontrar la alternativa más óptima para este tipo de proyectos.
- Una recomendación muy importante el momento de fabricar las matrices y punzones de la matriz, es considerar la holgura que debe existir entre estos dos elementos ya que se produciría el defecto de corte o perforación. Además se recomienda tener muy en cuenta los tipos de ajustes de los elementos guías hacia las placas superior e inferior respectivamente para que al momento de la producción no exista ningún tipo de falla o descentramiento entre dichos elementos.

- Con respecto a las pruebas de funcionamiento dimensionales, se recomienda tener instrumentos de medida de alta precisión, para que no exista ningún tipo de falla en la tolerancia con la que fue diseñado los elementos de la matriz.
- Se recomienda desde un inicio tener bien realizados los cálculos de los parámetros de la matriz, ya que un mal cálculo no permite el desarrollo adecuado de los elementos que la conforman y en ciertas ocasiones el mal diseño de las mismas.
- Con respecto a la simulación de la lámina metálica y el punzón, se recomienda utilizar cualquier software que sea capaz de plantear las condiciones necesarias más similares a la realidad como es el caso de aplicar cargas, desplazamientos y que permita establecer contactos entre los elementos simulados teniendo en consideración la fricción que existe entre estos.
- Se recomienda que para este tipo de proyectos donde la inversión es elevada y requiere de un gran capital, desarrollar y aplicar una debida planificación financiera con el fin de poder buscar la alternativa más viable para cubrir los costos fijos y variables del proyecto.

BIBLIOGRAFÍA:

FREDERICK GIESECKE. (2006). *Dibujo y comunicación gráfica*. México: Pearson education 3ra Edición.

FUNDACIÓN ASCAMM. (2010). Teoría de la embutición. *Centre Tecnologic*, 126.

HEIZER BARRY. (2004). *Principios de administración de operaciones*. México: Pearson education 5ta Edición.

JOSE MECANICO. (s.f.). *SLIDESHARE*. Obtenido de SLIDESHARE:
<http://www.slideshare.net/josemecanico/tesis-original-jcea-reparado>

KALPAKJIAN SEROPE. (2002). *Manufactura, Ingeniería y Tecnología*. México: Perason Education 4ta Edición.

LEONIDEZ, M. (s.f.). *SLIDESHARE*. Obtenido de SLIDESHARE:
<http://es.scribd.com/doc/113834476/PROCESO-de-Estampado-de-Metales-1>

MATEO LEONIDEZ. (s.f.). *SLIDESHARE*. Obtenido de SLIDESHARE:
<http://www.slideshare.net/MateoLeonidez/diseo-de-estampado-de-matrices>

NORMAS INEN. (2010). *Código de dibujo técnico-mecánico*. Quito: Inen.

OEHLER G. Y KAISER. (1977). *Herramientas de troquelar, estampar y embutir*. Barcelona: Gustavo Gili 6ta Edición.