



# **UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**PROYECTO TÉCNICO**

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

**TEMA:**

---

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TROQUEL DE CORTE Y PERFORADO DE PLATINA METÁLICA DE ESPESOR 1/8 DE PULG. PARA LA EMPRESA INGENIERÍA DEL ACERO Y MATRICERÍA EN LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”.**

---

**AUTOR:**

Edgar Daniel Pérez Pallo

**TUTOR:**

Ing. Mg. Cristian Pérez Salinas

**AMBATO - ECUADOR**

**2018**

## **CERTIFICACIÓN**

En mi calidad de tutor del trabajo de graduación, certifico que el presente Proyecto Técnico realizado por el Sr. Edgar Daniel Pérez Pallo, egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, se desarrolló bajo mi tutoría, es un trabajo personal e inédito, bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TROQUEL DE CORTE Y PERFORADO DE PLATINA METÁLICA DE ESPESOR 1/8 PULG. PARA LA EMPRESA INGENIERÍA DEL ACERO Y MATRICERÍA EN LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

En el presente trabajo de graduación bajo mi tutoría fueron concluidos de manera correcta los 4 capítulos que conforman el proyecto técnico dentro del tiempo establecido según la normativa que rige en la Universidad Técnica de Ambato.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad y puede continuar con el trámite pertinente.

En la ciudad de Ambato, a los 16 días del mes de Enero de 2018.

.....  
**Ing. Mg. Cristian Pérez**

**Tutor**

## **AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO**

Yo, Edgar Daniel Pérez Pallo. C.I. 1804243655, declaro que los contenidos y los resultados en el presente proyecto experimental, como requerimiento previo para la obtención del título de Ingeniero Mecánico, son absolutamente originales, auténticos y personales a excepción de las citas, tablas y gráficos de origen bibliográfico.

.....  
Edgar Daniel Pérez Pallo.

**C.I. 1804243655**

## **DERECHOS DE AUTOR**

Yo, Edgar Daniel Pérez Pallo, autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura, consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi proyecto técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de éste documento dentro de las regulaciones de la Universidad, siempre y cuando ésta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, a 16 de Enero de 2018

**Autor**

.....

Edgar Daniel Pérez Pallo

**CI: 18044243655**

## **APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO**

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizado por el alumno Edgar Daniel Pérez Pallo de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN TROQUEL DE CORTE Y PERFORADO DE PLATINA METÁLICA DE ESPESOR 1/8 PULG. PARA LA EMPRESA INGENIERÍA DEL ACERO Y MATRICERÍA EN LA CIUDAD DE AMBATO PROVINCIA DE TUNGURAHUA”**

Ambato, Enero 2018

Para constancia firman:

.....

Ing. Mg. Segundo Espín Lagos

.....

Ing. Mg. Diego Núñez

## DEDICATORIA

*A mis padres, Eloy y Martha por el infinito cariño y apoyo que me entregan, todo lo que soy, es gracias a ustedes.*

*A Diego, por cada palabra de apoyo que me brindaste para alcanzar este objetivo.*

*A Priscila, por ser parte de este logro, por todo el amor y comprensión que me tienes, recuerda que esto sólo es el principio de todos nuestros sueños.*

## AGRADECIMIENTO

*Gracias infinitas a todas las personas que formaron parte de este sueño, a mis padres por formar mi carácter y permitirme llegar a ser todo lo que soy y a los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica por brindarme su apoyo y conocimientos para lograr este objetivo.*

## ÍNDICE

### A. PÁGINAS PRELIMINARES

PORTADA.....	I
CERTIFICACIÓN.....	II
AUTORÍA DEL PROYECTO TÉCNICO.....	III
DERECHOS DE AUTOR.....	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO.....	V
DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO.....	VII
ÍNDICE.....	VIII
ÍNDICE GENERAL.....	IX
ÍNDICE DE GRÁFICAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XVI
RESUMEN EJECUTIVO.....	XVIII
ABSTRACT. ....	XIX



## ÍNDICE GENERAL

CAPÍTULO I.....	1
ANTECEDENTES.....	1
1.1 Tema.....	1
1.2 Antecedentes .....	1
1.3 Justificación.....	3
1.4 Objetivos .....	4
1.4.1 Objetivo General .....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II .....	5
FUNDAMENTACIÓN .....	5
2.1 Investigaciones previas .....	5
2.2 Fundamentación teórica .....	7
2.2.1 Procesos de transformación de la chapa metálica.....	7
2.2.2 Método De Elementos Finitos (FEM).....	7
2.2.3 Criterio De Resistencia De Von-Mises.....	8
2.2.4 Fundamento teóricos para el cálculo.....	9
2.2.4.1 Elementos sometidos a compresión general.....	9
2.2.4.2 Columnas largas de carga centrada .....	10
2.2.4.3 Columnas de longitud media con carga centrada.....	11
2.2.5 Selección de materiales.....	13
2.2.5.1 Aceros para herramientas .....	14
2.2.6 Diagramas Esfuerzo vs Deformación .....	15
2.2.6.1 Elasticidad y Plasticidad.....	16
2.2.6.2 Elasticidad lineal y ley de Hooke .....	17
2.2.6.3 Relación de Poisson .....	17
2.2.7 Ensayos mecánicos .....	18
2.2.7.1 Ensayo de Tracción .....	18
2.2.7.2 Ensayo de flexión .....	19
2.2.8 Esfuerzo Cortante .....	19
2.2.9 Proceso de conformado.....	20
2.2.9.1 Cizallado o corte.....	20
2.2.9.2 Operaciones de Cizallado.....	21
2.2.9.3 Corte por Matriz Simple.....	21

2.2.9.4 Troquelado Fino .....	22
2.2.10 Elementos constitutivos de un troquel .....	23
2.2.10.1 Descripción de componentes de la matriz de corte y perforado .....	24
CAPÍTULO III.....	27
DISEÑO DEL PROYECTO .....	27
3.1 Selección de Alternativas .....	27
3.1.1 Tipos de Matrices para cizallado.....	27
3.1.1.1 Matrices compuestas.....	27
3.1.1.2 Matrices progresivas.....	28
3.1.1.3 Matrices de transferencia.....	28
3.2 Selección de materiales .....	29
3.3 Ensayos de Tracción y Flexión del acero AISI-SAE D3 (K100).....	30
3.3.1 Ensayo de Tracción del acero AISI-SAE D3.....	31
3.3.1.1 Proceso de mecanizado y ensayo de las probetas para el test de Tracción.....	31
3.3.2 Ensayo de Flexión del acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100). .....	36
3.3.2.1 Proceso de mecanizado y ensayo de las probetas para el test de Flexión bajo norma ASTM E290-14.....	36
3.4 Cálculos .....	40
3.4.1 Fuerza de corte .....	40
3.4.2 Fuerza de ajuste.....	45
3.4.3 Fuerza de expulsión o contrapresión.....	46
3.4.4 Determinación del centro de gravedad de la pieza troquelada.....	48
3.4.5 Selección de la máquina troqueladora.....	49
3.4.6 Características especiales para el cizallado.....	51
3.4.6.1 Forma geométrica del punzón y matriz de cizallado.....	51
3.4.6.2 Juego entre matriz – punzón.....	52
3.4.6.3 Determinación del Juego entre la matriz y el punzón .....	53
3.4.7 Diseño de los componentes del troquel.....	54
3.4.7.1 Diseño de punzones.....	54
a) Tipo de material .....	55
b) Teorías de Diseño.....	55
i. Longitud de pandeo .....	55
ii. Condición de extremo de columna de Euler.....	55

iii. Momento de Inercia de los punzones .....	56
iv. Longitud de pandeo del punzón de corte .....	58
v. Factor de seguridad del punzón de troquelado .....	59
vi. Longitud de pandeo del Elemento de Punzonado.....	60
vii. Factor de Seguridad del elemento de punzonado .....	61
viii. Determinación de la fuerza transversal resultante por el corte.....	62
ix. Fuerza transversal originada por el punzón de troquelado.....	63
x. Fuerza transversal originada por el punzón de troquelado .....	64
3.4.7.2 Diseño de matrices .....	64
a) Tipo de material .....	64
b) Teorías de Diseño .....	65
i. Cálculo del espesor de las matrices .....	65
ii. Espesor de la matriz de troquelado.....	65
iii. Espesor de la matriz de punzonado.....	65
iv. Determinación del ángulo de escape.....	65
v. Dimensionamiento de las matrices .....	66
a) Matriz de troquelado.....	67
i. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pernos .....	67
ii. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pasadores .....	68
b) Matriz de punzonado .....	68
i. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pernos .....	68
ii. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pasadores .....	68
3.4.7.3 Diseño de las columnas guía .....	69
a) Tipo de material .....	69
b) Teorías de Diseño .....	70
i. Dimensionamiento de las columnas guía .....	70
3.4.7.4 Diseño de las placas porta punzón.....	71
a) Tipo de material .....	71
b) Teorías de Diseño .....	72
i. Espesor de la placa porta punzón.....	72
ii. Espesor de la placa porta punzón del punzón de troquelado.....	72
iii. Espesor de la placa porta punzón del elemento de punzonado.....	72
3.4.7.5 Diseño de las placas inferior y superior del troquel .....	72
a) Tipo de material .....	73

b) Teorías de Diseño .....	73
i. Dimensionamiento de las placas base superior e inferior.....	73
3.4.7.6 Diseño del vástago o espiga de sujeción .....	74
a) Tipo de material del vástago de sujeción.....	75
b) Teorías de Diseño .....	75
i. Dimensionamiento del vástago de sujeción.....	75
3.4.8 Análisis de esfuerzos y deformaciones de los elementos de corte y perforado utilizando el Método de Elementos Finitos. ....	76
3.4.8.1 Metodología para el análisis de esfuerzos y deformaciones mediante el Método de Elementos Finitos.....	77
a) Elaboración de la Geometría .....	77
b) Elaboración del modelo mediante el método de Elementos Finitos....	77
c) Solución del modelo de Elementos Finitos. ....	80
d) Análisis de resultados obtenidos mediante el análisis por Elementos Finitos.....	80
3.4.8.2 Análisis de esfuerzos y deformaciones del punzón de corte mediante el método de Elementos Finitos. ....	81
a) Desarrollo del modelo para el punzón de corte mediante software de dibujo mecánico. ....	81
b)Elaboración del modelo de Elementos Finitos para el punzón de corte.	82
c) Solución del Modelo de Elementos Finitos para el Punzón de Corte....	93
d) Análisis e interpretación de los resultados .....	93
3.4.8.3 Análisis de esfuerzos y deformaciones del punzón de perforado mediante el método de Elementos Finitos. ....	94
a)Desarrollo del modelo geométrico para el punzón de perforado mediante software de dibujo mecánico. ....	94
b) Elaboración del modelo de Elementos Finitos para el punzón de perforado. ....	95
c) Solución de esfuerzos y deformaciones del punzón de perforado.....	98
3.4.9 Análisis de optimización del corte de los elementos de punzonado.....	99
3.4.9.1 Geometrías del punzón de Perforado .....	99
3.4.9.2 Geometrías del punzón de Corte .....	102
3.4.10 Criterio de convergencia del análisis .....	105
3.5 Construcción.....	107
3.5.1 Máquina EDM DK77 CNC Wire Cut.....	108
3.5.1.1 Componentes de la Máquina EDM DK77 Wire Cut.....	108

3.5.1.2	Parámetros de operación de la máquina DK77 CNC Wire Cut EDM.....	114
3.5.2	Mecanizado de los componentes del troquel. ....	114
3.5.2.1	Cálculo de la velocidad de corte para el mecanizado de las columnas ..	120
a)	Cálculo de la velocidad de corte para el mecanizado de los bujes Guía.....	121
b)	Cálculo de la velocidad de corte para el mecanizado de la espiga de sujeción.....	121
3.6	Pruebas de Funcionamiento .....	122
3.7	Presupuesto .....	125
CAPÍTULO IV .....		127
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		127
4.1	Conclusiones .....	127
4.2	Recomendaciones.....	128

## ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 2-1.	Operaciones representativas de troquelado.....	5
Gráfica 2-2.	Esfuerzos Planos de Von-Misses.....	8
Gráfica 2-3.	Condiciones de extremos columna larga con carga centrada. ....	10
Gráfica 2-4.	Curva de Euler mediante la ecuación 2.1 y $C = 1$ . ....	12
Gráfica 2-5.	Diagrama Esfuerzo vs Deformación del acero estructural. ....	16
Gráfica 2-6.	Espécimen rectangular para ensayo de tracción. ....	18
Gráfica 2-7.	Proceso de corte o cizallado.....	20
Gráfica 2-8.	Efectos de la distancia de holgura entre el punzón y la matriz de corte.....	21
Gráfica 2-9.	Diferencia entre punzonado y troquelado.....	21
Gráfica 2-10.	Operaciones de corte por matriz. ....	22
Gráfica 2-11.	Esquema de configuración para troquelado fino. ....	22
Gráfica 2-12.	Partes de un troquel.....	23
Gráfica 3-1.	Matriz compuesta.....	27
Gráfica 3-2.	Configuración de una matriz progresiva.....	28
Gráfica 3-3.	Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción. ....	31
Gráfica 3-4.	Barra de acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100).....	31

Gráfica 3-5. Probeta cilíndrica ensayo tracción. ....	32
Gráfica 3-6. Probeta cilíndrica rosca M20 x 2,5 para el ensayo de tracción.....	32
Gráfica 3-7. Máquina de Ensayos Universal Metro Test 1500 KN para el .ensayo de tracción. ....	33
Gráfica 3-8. Montaje de Probeta Cilíndrica acero AISI-SAE D3 para el ensayo de tracción. ....	33
Gráfica 3-9. Probetas Cilíndricas ensayadas acero AISI-SAE D3.....	35
Gráfica 3-10. Curvas Esfuerzo-Deformación de las probetas de acero K 100 sometidas al Ensayo Mecánico de Tracción. ....	36
Gráfica 3-11. Barra cilíndrica de acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100).....	37
Gráfica 3-12. Esquematación para el ensayo guiado de flexión en tres puntos..	37
Gráfica 3-13. Configuración para el ensayo guiado de flexión en tres puntos.. ....	38
Gráfica 3-14. Curvas Esfuerzo-Deformación resultantes del ensayo guiado de flexión en tres puntos. ....	39
Gráfica 3-15. Probetas ensayadas mediante el ensayo guiado de flexión en tres puntos. ....	40
Gráfica 3-16. Perímetro de corte exterior de placa metálica 1 ½ pulg., de ancho y 1/8 pulg., de espesor.....	41
Gráfica 3-17. Perímetro de corte interno placa metálica 1 ½ pulg., de ancho y 1/8 pulg., de espesor.....	44
Gráfica 3-18. Área de corte del primer cuadrante de placa metálica 1 ½ pulg., de ancho y ½ pulg., de espesor. ....	46
Gráfica 3-19. Área de punzonado de la platina metálica 1 ½ pulgada de ancho por 1/8 de espesor. ....	47
Gráfica 3-20. Dimensiones de la finales de la platina deseada. ....	48
Gráfica 3-21. Geometrías representativas para el proceso de cizallado.....	52
Gráfica 3-22. Curva para determinar el juego matriz-punzón en función del espesor de la chapa y tipo de material.....	52
Gráfica 3-23. Selección de la holgura entre matriz-punzón.....	54
Gráfica 3-24. Condición de extremo de punzones. ....	56
Gráfica 3-25. Sección transversal punzón de troquelado.....	56
Gráfica 3-26. Punzón de perforado. ....	57

Gráfica 3-27. Dimensionamiento de punzón de troquelado.....	59
Gráfica 3-28. Dimensiones base del elemento de punzonado.....	61
Gráfica 3-29. Determinación del ángulo de escape. ....	62
Gráfica 3-30. Ángulo de escape de la matriz. ....	66
Gráfica 3-31. Dimensionamiento de la placa matriz de troquelado.....	67
Gráfica 3-32. Geometría de la matriz de punzonado. ....	68
Gráfica 3-33.Tolerancias y acabado superficial recomendado para columnas y bujes guía .....	69
Gráfica 3-34. Dimensiones de las columnas guía. ....	70
Gráfica 3-35. Dimensionamiento de la placa base inferior.....	73
Gráfica 3-36. Dimensionamiento de la placa base superior.....	74
Gráfica 3-37. Dimensionamiento del vástago de sujeción.....	76
Gráfica 3-38. Parámetros de análisis de la geometría previo a la aplicación del método de Elementos Finitos .....	78
Gráfica 3-39. Parámetros de Calidad de Malla. ....	78
Gráfica 3-40. Mallado de un Modelo de Elementos Finitos.....	79
Gráfica 3-41. Análisis de deformación por el método de Elementos Finitos. ....	80
Gráfica 3-42. Representación de deformaciones de un elemento mecánico.....	80
Gráfica 3-43. Modelo de geometría del punzo de corte.....	82
Gráfica 3-44. Verificación del modelo geométrico del punzón de corte. ....	83
Gráfica 3-45. Datos de las propiedades de los materiales utilizados. ....	87
Gráfica 3-46. Curva (Plastic Strain vs Stress) del acero ASTM A36. ....	87
Gráfica 3-47. Curva (Plastic Strain vs Stress) del acero AISI SAE D3.....	88
Gráfica 3-48.Tipo de contacto utilizado en el modelo de Elementos Finitos.....	89
Gráfica 3-49. Factor Skewness para el conjunto de troquelado.....	89
Gráfica 3-50. Indicador Element Quality para el conjunto de troquelado. ....	90
Gráfica 3-51. Indicador Aspect Ratio para el conjunto de troquelado.....	90
Gráfica 3-52. Condiciones iniciales y de frontera del conjunto de troquelado.....	92
Gráfica 3-53. Esfuerzo generado por el punzón de corte.....	93
Gráfica 3-54. Modelo geométrico del punzón de perforado. ....	94
Gráfica 3-55. Verificación de idoneidad del punzón de perforado.....	95
Gráfica 3-56. Indicador Skewnwss de mallado del conjunto de punzonado .....	95

Gráfica 3-57. Indicador Element Quality del conjunto de punzonado.....	96
Gráfica 3-58. Indicador Aspect Ratio del conjunto de punzonado .....	96
Gráfica 3-59. Condiciones iniciales y de frontera del conjunto de perforado.. .....	98
Gráfica 3-60. Esfuerzo de corte generado por el punzón de perforado.. .....	99
Gráfica 3-61. Esfuerzo de corte generado por el punzón de perforado óptimizado.....	101
Gráfica 3-62. Modelo geométrico óptimo del punzón de perforado.....	101
Gráfica 3-63. Análisis comparativo de las geometrías del punzón de perforado.	102
Gráfica 3-64. Análisis comparativo de las geometrías del punzón de corte .....	103
Gráfica 3-65. Estudio de convergencia de malla del punzón de corte .....	105
Gráfica 3-66. Estudio de convergencia de malla del punzón de perforado. ....	106
Gráfica 3-67. Proceso de corte EDM electroerosión por hilo [14]. .....	107
Gráfica 3-68. Módulo de Control de la máquina DK77 CNC [15].....	113
Gráfica 3-69. Ensamble del troquel de corte y perforado. ....	121
Gráfica 3-70. Piezas obtenidas mediante el troquel de corte y perforado.....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1. Clasificación de los procesos de transformación de la chapa metálica..	7
Tabla 2-2. Constantes de condiciones finales de las columnas de Euler. ....	10
Tabla 2-3. Tipos de Acero de herramientas. ....	14
Tabla 2-4. Partes constitutivas del troquel. ....	24
Tabla 2-5. Descripción de los elementos constitutivos del troquel de corte y perforado. ....	24
Tabla 2-6. Clasificación de los pasadores de posicionamiento.....	26
Tabla 3-1. Propiedades del acero seleccionado AISI-SAE D3.....	29
Tabla 3-2. Propiedades físicas y mecánicas del equivalente al acero AISI-SAE D3 según la norma DIN.....	30
Tabla 3-3. Resultados del ensayo de Tracción.....	34
Tabla 3-4. Cuadro comparativo entre los resultados del ensayo mecánico y catálogos de fabricantes de acero AISI SAE D3.....	35



Tabla 3-5. Resultados del ensayo de Flexión.....	39
Tabla 3-6. Resistencia a la rotura, materiales laminados más comunes. ....	42
Tabla 3-7. Propiedades del acero ASTM A36. ....	43
Tabla 3-8. Determinación del centro de gravedad y momentos de inercia de la platina metálica 1 ½ pulgada de ancho y espesor 1/8. ....	49
Tabla 3-9. Características técnicas de la máquina troqueladora disponible.....	50
Tabla 3-10. Criterios de selección del juego matriz-punzón.....	53
Tabla 3-11. Resumen de cálculos de M.I. y C.G punzón de troquelado.....	57
Tabla 3-12. Resumen de cálculos de M.I. y C.G del elemento de punzonado. ....	58
Tabla 3-13. Métodos de sujeción de los punzones en las placas porta punzón. ....	71
Tabla 3-14. Diámetro recomendado para el vástago.....	75
Tabla 3-15. Plastic Strain ( <i>mm – 1</i> )vsStress (MPa) para el acero ASTM A36....	84
Tabla 3-16. Plastic Strain ( <i>mm – 1</i> )vsStress (MPa) para el acero AISI SAE D3.84	
Tabla 3-17. Condiciones iniciales y configuraciones para el análisis del conjunto de troquelado.....	91
Tabla 3-18. Condiciones iniciales y configuraciones para el análisis del conjunto de punzonado. ....	97
Tabla 3-19. Análisis se esfuerzos en función de las geometrías simuladas. ....	100
Tabla 3-20. Análisis se esfuerzos en función de las geometrías de punzón de corte simuladas.....	104
Tabla 3-21. Características del PC y tiempos empleados para el análisis. ....	106
Tabla 3-22. Conjunto de movimiento del hilo de corte. ....	109
Tabla 3-23. Conjunto de soporte del hilo de corte. ....	110
Tabla 3-24. Conjunto de la estructura de la mesa. ....	111
Tabla 3-25. Conjunto Dispositivo de Accionamiento del Hilo de Corte. ....	112
Tabla 3-26. Principales Parámetros de la máquina DK77. ....	113
Tabla 3-27. Parámetros de corte por electroerosión de Hilo.....	114
Tabla 3-28. Componentes mecanizados por el proceso de electroerosión por Hilo. ....	11515
Tabla 3-29. Resultados obtenidos mediante las pruebas de funcionamiento realizadas al elemento. ....	123
Tabla 3-30. Presupuesto del proyecto. ....	125

## RESUMEN EJECUTIVO

Este proyecto tiene como finalidad desarrollar una metodología para el diseño y construcción de troqueles que realizan operaciones de corte y punzonado, además permite al lector comprender cómo funciona el criterio de optimización, creando un modelo mediante el método de Elementos Finitos que facilite el proceso de corte y perforado de platina metálica de espesor 1/8 de pulgada. Para lo que se realizó una serie de ensayos mecánicos de Tracción y Flexión, utilizando la Norma ASTM E8-16a y ASTM E290-14 respectivamente, para determinar las propiedades del acero AISI SAE D3 conocido comercialmente como BOHLER K 100, acero seleccionado para la construcción del troquel.

Para realizar la optimización del proceso de troquelado y punzonado se efectuaron series de simulaciones, mediante software de Elementos Finitos para determinar la geometría de los punzones que produzca el menor esfuerzo de corte posible cuando se realizan estas operaciones.

Los resultados obtenidos mediante las simulaciones realizadas alternando la geometría de los punzones permitieron determinar valores del esfuerzo de corte producido, de los que se seleccionó el menor valor obtenido, el que representa una reducción del 62% en relación al esfuerzo obtenido cuando se simuló la operación sin geometría específica de punzón de perforado.

**Autor:** Edgar Daniel Pérez Pallo

## **ABSTRACT**

The main objective of this project is to develop a methodology for the design and construction of dies that perform cutting and punching operations. It also allows the reader to understand how the optimization criterion works, creating a model using the Finite Elements method that facilitates the cutting process and perforated for a metal plate that has 1/8 inch of thick. For which a series of mechanical Traction and Bending tests were carried out, using the ASTM E8-16a and ASTM E290-14 standards respectively, to determine the properties of AISI SAE D3 steel commercially known as BOHLER K 100, steel selected for construction of the die

To carry out the optimization of the punching process, series of simulations were carried out using a Finite Element software to determine the geometry of the punches that produces the least possible cutting effort when these operations are carried out.

The results obtained through the simulations carried out by alternating the geometry of the punches allowed to determine values of the shear stress produced, from which the lowest value obtained was selected, which represents a reduction of 62% in relation to the effort obtained when the operation was simulated whit any specific geometry of the drilling punch.

# CAPÍTULO I

## ANTECEDENTES

### **1.1 Tema**

Diseño y construcción de un troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 1/8 de pulgada.

### **1.2 Antecedentes**

La investigación relacionada al diseño y construcción de matrices, punzones y troqueles de corte en la industria matricera, presenta el siguiente resumen de antecedentes investigativos:

Álvarez Bermúdez Luis, determinó la metodología necesaria para realizar el diseño de una matriz de corte mediante elementos estandarizados enmarcados dentro del proceso de diseño ingenieril e identificó las etapas fundamentales del diseño de troqueles siendo estas: la determinación del requerimiento, la identificación del problema, etapa de análisis preliminar, la etapa de cálculo y la etapa de evaluación y documentación.

Barbarín Matute Iñaki, determinó que la implementación de este tipo de troqueles permite reducir los tiempos de producción dentro de un proceso de fabricación y además optimizó los procesos de corte de la platina metálica mediante la creación de un modelo de Elementos Finitos que permita aproximar los valores de esfuerzos y deformaciones que se generan en el procesos de corte mediante la variación de la geometría de los punzones de corte.

Castillo Covarrubias Julio, realizó el estudio para determinar un articulado de acciones consecutivas que permitan agilizar los procesos de producción en la industria matricera y las tareas asociadas a ingeniería como son: mantenimiento de troqueles, operación de troqueladoras, tratamiento térmico de los punzones,

determinación del juego necesario entre las matrices y los punzones para prolongar la vida útil de los elementos de troquelado y rectificación de los componentes de la matriz diseñada.

Ferreiro López Marcos, realizó la descripción del proceso de diseño de una matriz progresiva, además analizó la optimización de los procesos de producción mediante la implementación del troquel diseñado. Concluyó mediante el análisis desarrollado la importancia de crear modelos que permitan abaratar costos y disminuir los tiempos de fabricación de los componentes desarrollados en la industria matricera.

Martínez Carreño Luis y otros, determinaron mediante el análisis un método especializado para el dimensionamiento y diseño mediante el método de Elementos Finitos de los elementos que componen una matriz compuesta para la fabricación de elementos seccionados mediante la técnica fine-blanking (corte-fino).

Murillo López Alejandro, determinó mediante este estudio la factibilidad de implementar los troqueles de corte, punzonado y marcado resaltando su influencia en los tiempos de producción, ya que asegura, se reducen al mínimo número las piezas defectuosas lo que además disminuye los costos de producción. Analizó también la influencia del material seleccionado para la fabricación de las matrices y establece que los aceros de grado herramienta, del grupo D son los más idóneos para la construcción de troqueles.

Vásquez Víctor H., estableció que en el creciente auge de evolución de técnicas que permitan mejorar los procesos de producción y los resultados obtenidos de forma rápida, estos deben ser más eficientes en términos económicos y con más garantías que los ofertados por la competencia. Esto puede ser mejorado mediante el uso de técnicas de simulación o modelado de los procesos, en software, facilitando la eliminación de la incertidumbre de que el modelo diseñado logre los beneficios esperados.

### **1.3 Justificación**

En la industria matricera obtener las piezas que deben ser construidas y/o procesadas de forma idónea en un periodo de tiempo mínimo, es crucial, agregando a esto que el resultado funcional del elemento debe ser positivo, se requiere de gran habilidad y conocimiento que permita obtener este objetivo y que se convierta en un beneficio económico para la empresa, los clientes y la industria metalmeccánica en general.

Durante los últimos años ha tenido un gran desarrollo la eficiencia de los procesos de producción de piezas utilizadas en la industria matricera, parte importante de este desarrollo se debe a la mejora en las prestaciones de las herramientas que conforman cada una de las etapas de producción. La empresa Ingeniería del Acero y Matricería se orienta a la producción de estructuras metálicas y elementos mecánicos para ensamblado de las estructuras de los buses TIPO que se construyen en la provincia, es así que las industrias beneficiarias serian todas aquellas que engloba el proceso productivo de la empresa Ingeniería del Acero y Matricería, puesto que mediante la implementación del tema planteado se reducirá los tiempos de producción y se agilizará la entrega de los componentes mecánicos que son desarrollados por la empresa.

El desarrollo de este trabajo contribuirá con un impacto positivo sobre los procesos productivos de la empresa Ingeniería del Acero y Matricería, ya que esta entidad se orienta al trabajo de tipo artesanal y mediante este proyecto se entregará una metodología con criterios ingenieriles para el posterior diseño y construcción de cualquier troquel de corte y punzonado necesario en la empresa.

La factibilidad de la realización de este proyecto es adecuada debido a que existe gran cantidad de información sobre el tema, es así que existen metodologías que permiten optimizar el diseño de troqueles, además los materiales a seleccionar son de adquisición poco compleja y costo moderado y que están disponibles en el mercado, adicionalmente la empresa contribuyó con el 90% los recursos económicos y materiales disponibles en la planta de producción para la realización de este proyecto motivo por el que fue factible el proyecto desarrollado.

## **1.4 Objetivos**

### **1.4.1 Objetivo General**

Diseñar y construir un troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 1/8" utilizando criterios de diseño relacionados con el Método de Elementos Finitos (FEM).

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

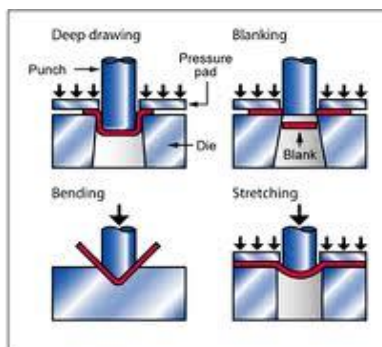
- Seleccionar el tipo de acero apto para soportar los esfuerzos generados en el proceso de corte y punzonado.
- Realizar ensayos de tracción y flexión de los materiales seleccionados para el diseño punzones y matrices del troquel.
- Diseñar las matrices y punzones de corte y perforado mediante modelos de Elementos Finitos.
- Crear un modelo de elementos finitos que optimice el proceso de corte y perforado para la platina metálica de espesor 1/8 pulg.
- Construir el troquel y realizar pruebas de funcionamiento de corte y punzonado.

## CAPÍTULO II

### FUNDAMENTACIÓN

#### 2.1 Investigaciones previas

La implementación de herramientas de corte sin desprendimiento de viruta en la industria matricera representa un avance que se evidencia en la reducción de los tiempos de producción, es decir permite a las empresas que se dedican a la fabricación de partes y piezas mecánicas eliminar operaciones de producción como: señalado, rayado, pulido, etc., de los elementos que se someterán al proceso de corte, al implementar herramientas diseñadas para la producción en serie se eliminan las operaciones descritas anteriormente. Se define el troquelado como una operación de corte, sin desprendimiento de viruta, que permite la transformación de un componente metálico mediante procesos de corte o formado para obtener un modelo según el requerimiento deseado. La transformación se realiza mediante trabajo en frío que es el procedimiento más común, pero también se conocen procesos de forjado y embutido que se realizan sometiendo los aceros a una variación de temperatura. Las operaciones más comunes de troquelado son: deformación plástica o doblado, ranurado, cizallado, punzonado entre otras. Para realizar el proceso de troquelado son necesarios dos elementos principales, la matriz y la prensa o troquel por lo que también se conoce este proceso con el nombre de prensado y/o estampado [1].



Gráfica 2-1. Operaciones representativas de troquelado [1].



Según Murillo. L. [2], Las operaciones de troquelado se emplean para conformar la mayoría de modelos que se pueden apreciar en la vida cotidiana de las personas sin que estas sepan cómo se lograron obtener dichos modelos y formas, por ejemplo se utilizan para fabricar componentes de cocinas, partes y piezas empleadas en el ensamble de carrocerías metálicas, para fabricar suelas de zapatos, entre otros elementos, es decir las aplicaciones de las operaciones de troquelado son tan amplias que se aprecian en casi todas las cosas que nos rodean. Las operaciones de troquelado continuo se realizan por medio de alimentadores automáticos (banda transportadora) o de forma manual lo que requiere de gran precisión por parte de los operadores del troquel [2].

Según Álvarez Bermúdez Luis. [3], existe un proceso de deformación plástica del acero que es sometido a una determinada operación de troquelado para obtener una parte con dimensiones y formas preestablecidas, lo que se consigue con elementos y herramientas denominadas matrices que se montan en las prensas o troqueles, máquinas dotadas de un sistema de movimiento circular – rectilíneo. Además de presentar la ventaja del corte fino, no requiere operaciones secundarias de mecanizado, permite una capacidad alta de fabricación, logra disminuir el costo de producción de la pieza requerida y garantiza la homogeneidad de las partes obtenidas, siendo la principal desventaja que la inversión inicial es elevada debido a la fabricación de las herramientas de troquelado [3].

Según Martínez Carreño A. y Otros. [4], en la publicación del XVIII Congreso de la SOMIM celebrado en México, se asegura que la optimización de los recursos empleados para realizar un análisis más extenso del comportamiento mecánico de un determinado diseño, se ha evidenciado en la última década, siendo la teoría más empleada, el criterio de VON-MISSES mediante el análisis por Elementos Finitos el que permite estimar el rendimiento de los materiales dúctiles y establece que la falla se genera cuando la energía de distorsión en el elemento estudiado alcanza igual magnitud que la energía de fluencia en tensión uniaxial. El método de Elementos Finitos en el análisis estructural posee un alcance muy extenso a la hora de interpretar el comportamiento mecánico de los elementos diseñados ya que permite resolver sistemas de ecuaciones lineales o no lineales que describen la conducta de un sistema físico [4].

## 2.2 Fundamentación teórica

### 2.2.1 Procesos de transformación de la chapa metálica

La industria matricera es tan extensa que permite clasificar las operaciones realizadas mediante el uso de un troquel o estaciones de troquelado para lograr el conformado de una geometría específica según Martínez C. (2012), los procesos de conformado se pueden clasificar como se observa en la Tabla 2-1.

**Tabla 2-1.** Clasificación de procesos de transformación de la chapa metálica [4].

Procesos de transformación de chapa metálica			
Corte	Cizallado Punzonado Muescado Recortado Corte interrumpido Recalcado Corte fino		
Conformado	Doblado	Embutido	Otros procesos
	Curvado Enrollado Engrapado Perfilado	Bordonado Reducido Abombado Abocardado Extrusionado	Repulsado Estampado Acuñado Remachado

### 2.2.2 Método De Elementos Finitos (FEM)

El Método de Elementos Finitos (FEM) se utiliza para determinar el análisis de resistencia del modelo planteado, ya que mediante este método es posible dar solución a las ecuaciones que rigen los problemas físicos que se presentan en el análisis de la resistencia de los materiales a emplear. El principal objeto del análisis con el método (FEM) es visualizar en función de espacio y tiempo el comportamiento de un determinado sistema, mediante la aplicación de algún software que utilice este método para realizar el análisis del diseño establecido. El FEM, permite resolver sistemas de ecuaciones para determinar el comportamiento de los elementos diseñados por este método, la ecuación 2-1 se utiliza para el desarrollo del método de Elementos Finitos.

$$[M]\{\ddot{U}\} + [C]\{\dot{U}\} + [K]\{U\} = F \quad \text{Ec. 2-1}$$

Donde:

$[M]$  = Matriz de Masa

$\{\ddot{U}\}$  = Vector de Aceleración

$[C]$  = Matriz de Amortiguamiento

$\{\dot{U}\}$  = Vector de Velocidad

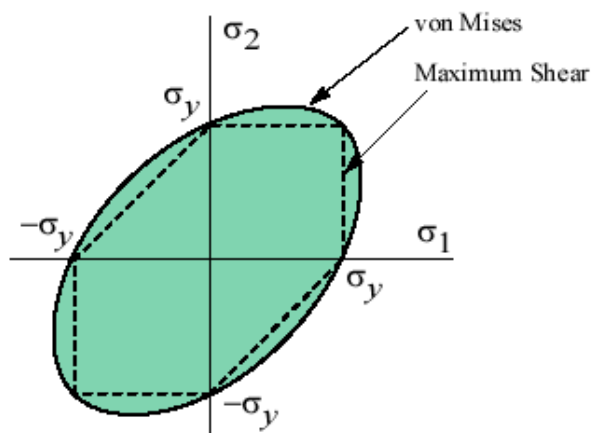
$[K]$  = Matriz de Rigidez

$\{U\}$  = Vector de Desplazamiento

$F$  = Vector de Fuerza

### 2.2.3 Criterio De Resistencia De Von-Mises

El análisis establecido en el año 1913 también conocido como la teoría de esfuerzo cortante octaédrico o teoría de Maxwell-Huber-Hencky-von Mises permite estimar el rendimiento de los materiales dúctiles sometidos a un ciclo de esfuerzos. Este criterio es muy útil ya que establece que la falla se produce cuando la energía de distorsión alcanza la misma magnitud que la energía de fluencia en tensión uniaxial, lo que permite estimar el límite de resistencia de cualquier diseño mecánico.



**Gráfica 2-2.** Esfuerzos Planos de Von-Misses [4].

El criterio de Von Mises se puede observar en la Gráfica 2-2, donde se distingue la línea continua, este criterio es muy aceptado en el campo del diseño mecánico por ser muy aproximado a la realidad, pero si se desea tener un diseño más conservador, en el gráfico se observa la línea entrecortada, que es el criterio de diseño del esfuerzo cortante máximo, ambos criterios son aceptados para la realización de algún análisis mecánico. En términos matemáticos esta teoría se expresa en la ecuación 2-2.

$$\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] \leq \sigma_y^2 \quad \text{Ec 2-2}$$

Cuando se tienen casos donde los esfuerzos planos se presentan en el diseño mecánico el valor de  $\sigma_3 = 0$ , la ecuación anterior se reduce a la ecuación 2-3.

$$\sigma_1^2 - \sigma_1\sigma_2 + \sigma_2^2 \leq \sigma_y^2 \quad \text{Ec 2-3}$$

#### **2.2.4 Fundamento teóricos para el cálculo**

Para diseñar el troquel que permita troquelar y punzonar la placa metálica ASTM A36 de 1/8 de pulgada de espesor, es necesario conocer las teorías para el cálculo existentes, mediante las que se pueda lograr un diseño que cumpla con estas afirmaciones y permita garantizar la funcionalidad y durabilidad de los elementos diseñados.

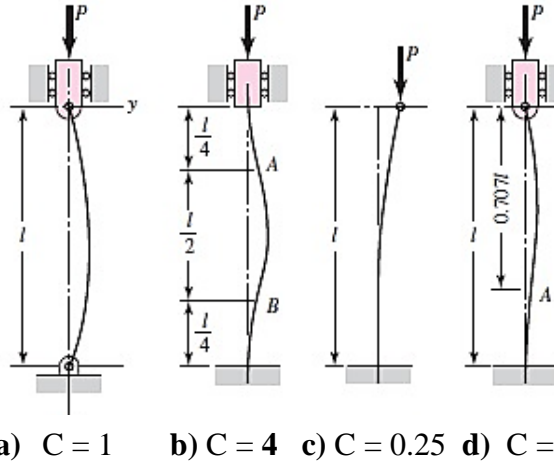
##### **2.2.4.1 Elementos sometidos a compresión general**

Este método se aplica para determinar las deformaciones (pandeo) de una columna cuando se le aplica cargas de compresión en cada uno de sus extremos, estos elementos se pueden diferenciar por medio de la ubicación de la carga aplicada y la longitud que posee la columna, sea está centrada o excéntrica y corta o larga respectivamente. Por lo que se pueden clasificar de la siguiente forma:

- Columnas largas de carga centrada.
- Columnas de longitud media con carga centrada.
- Columnas con carga excéntrica.
- Columnas cortas con carga excéntrica.

### 2.2.4.2 Columnas largas de carga centrada

Para el primer caso se analiza cuatro diferentes condiciones de extremo de la columna, donde se ubica la constante  $C$ , que permite determinar la ecuación de Euler completa para la viga como se observa en la Gráfica 2-3.



**Gráfica 2-3.** Condiciones de extremos columna larga con carga centrada [5].

La constante  $C$  (Condiciones de extremos de columna), puede tomar valores como los que se describen en la Tabla 2-2, esto sucede cuando se conoce con exactitud el valor de la carga que se ejerce sobre la columna y se requiere de factores de seguridad más amplios [5].

**Tabla 2-2.** Constantes de condiciones finales de las columnas de Euler [5].

Constante $C$ de condición de extremos de columna.			
Condiciones de extremos de columna	Valor teórico	Valor conservador	Valor recomendado
Empotrado – Libre	0.25	0.25	0.25
Articulado – Articulado	1	1	1
Empotrado – Articulado	2	1	1.2
Empotrado - empotrado	4	1	1.2

La fórmula de Euler para columnas considerando la constante C, para el primer caso de elementos sometidos a compresión general es:

$$P_{cr} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} \quad \text{Ec. 2-4}$$

Donde:

$P_{cr}$  = Fórmula de Euler para columnas

C = constante de extremos de columna

$\pi$  = constante

E = Módulo de elasticidad del material

I = Momento de Inercial

l = Longitud de la viga o columna.

La relación de esbeltez es un criterio de análisis paralelo a la ecuación de columna de Euler, según J.K., Budynas R.G. y Nisbett, (2008) en la obra “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley” mediante esta afirmación se puede distinguir los casos en los que se utilizara las teorías de compresión simple o la ecuación de columna de Euler. Es decir que cuando la relación de esbeltez sea casi igual a la relación  $\left(\frac{l}{k}\right)$ , no se debe utilizar ningún método como los descritos anteriormente. Solo se utilizara la ecuación de columna de Euler cuando la relación de esbeltez sea mayor a la relación  $\left(\frac{l}{k}\right)$ .

#### **2.2.4.3 Columnas de longitud media con carga centrada**

Este criterio se denomina fórmula parabólica o fórmula de J. B. Johnson, que se utiliza cuando no se puede utilizar la fórmula de columna de Euler, las que sólo consideran un material de análisis o la denominada carga unitaria, la mayoría de fórmulas empleadas consideran el uso de una razón lineal entre la relación de esbeltez y la carga unitaria. La ecuación 2-5 describe la fórmula parabólica:

$$\frac{P_{cr}}{A} = a - b * \left(\frac{l}{k}\right)^2 \quad \text{Ec. 2-5}$$

Donde:

a y b = Constantes que se evalúan ajustando al parábola de la curva de Euler.

$P_{cr}$  = Formula de Euler para columnas.

A = Área de la columna donde se aplica la carga.

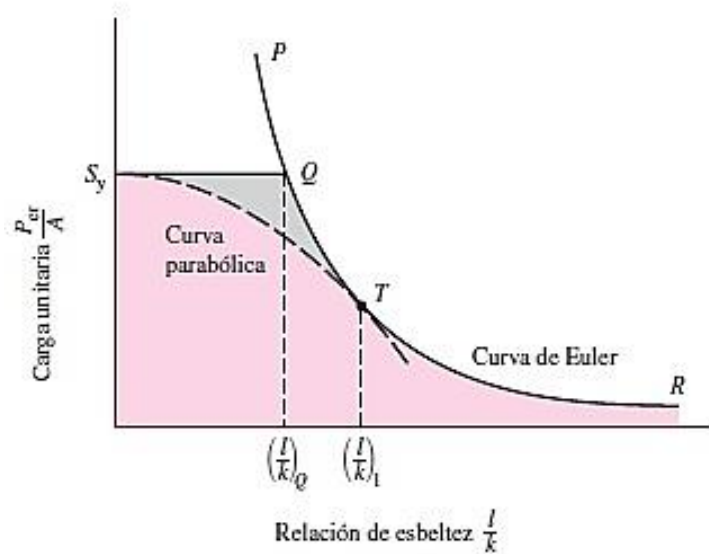
$\left(\frac{l}{k}\right)$  = Relación de esbeltez.

$$si a = S_y \rightarrow a = \left(\frac{l}{k}\right)_1$$

$$b = \left(\frac{S_y}{2\pi}\right)^2 * \frac{1}{C * E} \quad \text{Ec. 2-6}$$

Remplazando los valores asumidos de a y b se tiene la ecuación de la fórmula parabólica.

$$\frac{P_{cr}}{A} = S_y - \left(\frac{S_y}{2\pi} * \frac{l}{k}\right)^2 * \frac{1}{C * E} \quad si \frac{l}{k} \leq \left(\frac{l}{k}\right)_1 \quad \text{Ec. 2-7}$$



**Gráfica 2-4.** Curva de Euler mediante la ecuación 2.1 y  $C = 1$  [5].

### 2.2.5 Selección de materiales

La selección del material idóneo para la construcción de una parte o pieza mecánica se considera de especial interés para el diseñador, existen varios autores que definen metodologías para la selección de materiales dentro del proceso de diseño, siendo una técnica muy utilizada la gráfica de la burbuja, este método consiste en la utilización de esquemas de selección de materiales desarrollados por M. F. Ashby, que mediante la representación en dos dimensiones de los rangos lineales de cada propiedad del material forman elipses o burbujas las que permiten tener un criterio de selección tomando en consideración el módulo de Young (E) y la densidad ( $\rho$ ) del elemento para utilizar un criterio que se denomina “Diseño de masa mínima”. Para la selección de materiales en el proceso de diseño se debe considerar la medida de desempeño del elemento estructural (P), el éxito de la selección de materiales depende de la maximización o minimización de este factor. Los criterios que reúne el factor (P) son: requerimientos funcionales, parámetros geométricos del diseño y propiedades de los materiales, siendo el último criterio el que permite obtener un valor idóneo de desempeño del elemento estructural para lo que se emplea la ecuación 2-8. Así:

$$P = [(F)(G)(M)] \quad \text{Ec. 2-8}$$

Donde:

P = Medida de desempeño del elemento estructural.

F = Requerimientos funcionales.

G = Requerimientos geométricos del diseño.

M = Propiedades físicas y mecánicas de los materiales.

Para lograr la maximización o minimización de P, se debe seleccionar un valor ideal para el factor (M), que se conoce con el nombre de coeficiente de eficiencia del material seleccionado para garantizar la validez de la selección realizada y determinar con exactitud las características del material seleccionado [5].



### 2.2.5.1 Aceros para herramientas

Los aceros para herramientas son tipos de acero que se utilizan para la fabricación de elementos de corte como son punzones, matrices, hojas de corte, cinceles, elementos de máquinas como guillotinas, los que deben tener un borde agudo trabajando bajo condiciones abrasivas. Las características de este grupo de aceros son: elevada resistencia al desgaste, elevada dureza superficial, gran estabilidad dimensional, alta resistencia a la compresión y templabilidad, su principal aplicación es en el campo de la ingeniería de manufactura [6]. Los aceros de herramientas se clasifican en siete grupos en función de la composición química del acero y la aplicación que vaya a tener la herramienta como se observa en la Tabla 2-3.

**Tabla 2-3.** Tipos de Acero de herramientas [6].

		Tipos específicos	Ejemplos		
Tipo General	Símbolo del tipo	Principales elementos de aleación	Núm. AISI	Núm. UNS	Usos típicos y aleaciones comunes
Alta velocidad	M	Molibdeno	M2 M10 M42	T11302 T11310 T11342	Herramientas de corte y forja, extracción, doblado, estirado y penetrado. (M1, M3, M4-M7, M30, M34, M36, M41-M47). Semejantes a los de tipo M (T2, T4, T5, T6, T8).
	T	Tungsteno	T1 T15	T12001 T12015	
Trabajo en caliente	H	Cromo	H10	T20810	Matrices en frío, cuchillas cortantes, partes de aviones, para extracción a baja temperatura y colado a presión (H1-H19). Cuchillas corte en caliente (H20-H39). Aplicaciones de gran desgaste. (H40-H59).
		Tungsteno	H21	T20821	
		Molibdeno	H42	T20842	
Trabajo en frío	D	Alto carbono Alto cromo	D2	T30402	Matrices de estampado, punzones y calibradores (D3, D5 y D7). Matrices para colado a presión, dados de terraja (A3-A10).  Machuelos, brochas, calibradores, porta
	A	Medio carbono	A2	T30102	
	O	Temple al aire	O1	T31501	

		Temple al aceite			piezas, bujes, etc. (O2, O6 y O7).
Resistentes al choque	S		S1	T41901	Piezas sometidas a choque, trabajo pesado (S2, S4-S7).
Aceros moldeados	P		P2	T51602	Matrices de moldeo de plásticos y de colocado de zinc a presión (P3-P6, P20 Y P21).
Uso especial	L	Tipos con baja aleación Tipos al Carbono - Tungsteno	L2	T61202	Para piezas y máquinas de gran tenacidad (L3, L6).
	F		F1	T60601	Igual al tipo L, mayor resistencia a la abrasión (F2).
Temple al agua	W		W1	T72301	Herramientas de mano, usos generales, sujetadores (W2, W5).

### 2.2.6 Diagramas Esfuerzo vs Deformación

Para determinar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en procesos relacionados con la ingeniería, se determinan mediante pruebas realizadas a probetas fabricadas según la especificación ASTM, del material en cuestión, estas pruebas permiten aplicar cargas estáticas y dinámicas a tensión, compresión y flexión. Para determinar el esfuerzo axial, según J. Gere, por ejemplo en el ensayo de tracción, se utiliza la ecuación 2-9, cuando se considera el área inicial de la probeta para realizar el cálculo.

$$\text{Esfuerzo ingenieril } (\sigma) = \frac{\text{fuerza}}{\text{área}} \quad \text{Ec. 2-9}$$

Sin embargo cuando se requiere mayor precisión se debe calcular el esfuerzo real, mediante el remplazo del área final de la probeta una vez sometida al ensayo, en la ecuación 2-9. Para analizar la deformación que sufre la probeta después del ensayo se debe considerar la deformación unitaria como se muestra en la ecuación 2-10.

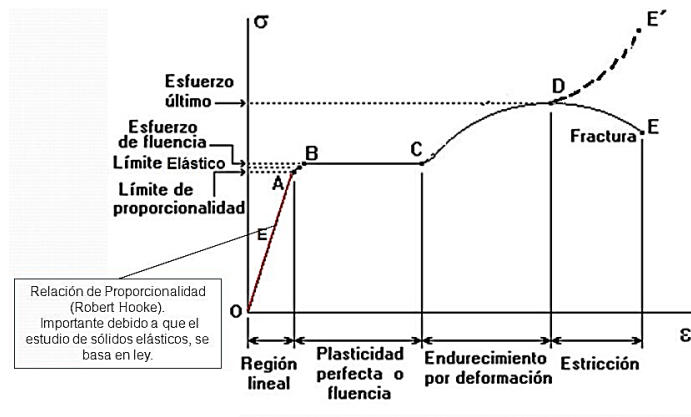
$$\text{Deformación Unitaria normal } (\epsilon) = \frac{\delta}{L} \quad \text{Ec. 2-10}$$

Donde:

$\delta$  = variación total de longitud.

L = longitud de la barra.

Esta afirmación es verdadera sólo si el material de la barra sometida a tracción o compresión es homogéneo en toda su longitud. Esta deformación se determina dividiendo la variación de longitud ( $\delta$ ) medida entre los puntos de calibración ubicados en la probeta y la longitud calibrada ( $L$ ) de la probeta, mediante esta operación se determina la deformación unitaria nominal, para determinar la deformación real se debe remplazar la longitud final de la probeta una vez realizado el ensayo en la ecuación 2-9. Cuando ya se han definido los valores de esfuerzo vs deformación, se puede trazar una gráfica característica del material ensayado y que entrega información sobre las propiedades mecánicas de dicho elemento. Como se muestra en la gráfica 2-5.



**Gráfica 2-5.** Diagrama Esfuerzo vs Deformación del acero estructural [6]

### 2.2.6.1 Elasticidad y Plasticidad

Las propiedades de elasticidad y plasticidad son características de los tipos de acero utilizados en ingeniería, motivo por el cual es importante estudiar su comportamiento con el fin de comprender el mismo, se define a un material como elástico cuando se recupera las dimensiones originales que posee antes de ser sometido a una carga, es decir al ser descargado regresa a su estado inicial. Cuando un material después de ser descargado recupera parcialmente su forma se dice que este material es parcialmente elástico, esto se debe a que se forma un alargamiento permanente en el material.

Se dice que un material es plástico cuando soporta deformaciones inelásticas superiores al límite elástico de dicho elemento, como se observa en la gráfica 2-5, esta propiedad permite que un material sea cargado y descargado varias veces sin

que se registre un cambio significativo en las dimensiones de la probeta, esto se conoce como flujo plástico, el flujo plástico modifica la estructura interna y propiedades del material.

### 2.2.6.2 Elasticidad lineal y ley de Hooke

Como se pudo observar en la gráfica 2-5, la mayoría de materiales estructurales al inicio del diagrama esfuerzo vs deformación, tienen un comportamiento lineal elástico, la relación lineal entre el esfuerzo y la deformación se calcula con la ecuación 2-11.

$$\sigma = E * \epsilon \quad \text{Ec. 2-11}$$

**Donde:**

$\sigma$  = esfuerzo.

E = módulo de elasticidad (Young).

$\epsilon$  = deformación.

### 2.2.6.3 Relación de Poisson

Este fenómeno tiene lugar cuando se carga axialmente un material lo que produce una concentración lateral de esfuerzos en dirección perpendicular a la carga aplicada, cuando un material sea isótropo y homogéneo, la deformación lateral es proporcional a la deformación axial hasta el límite elástico lineal del material, esto se debe a que los materiales isótropos tienen las mismas propiedades elásticas en todas las direcciones. La ecuación 2-12, describe la relación de Poisson.

$$\nu = - \frac{\text{deformación lateral}}{\text{deformación axial}} \quad \text{Ec. 2-12.}$$

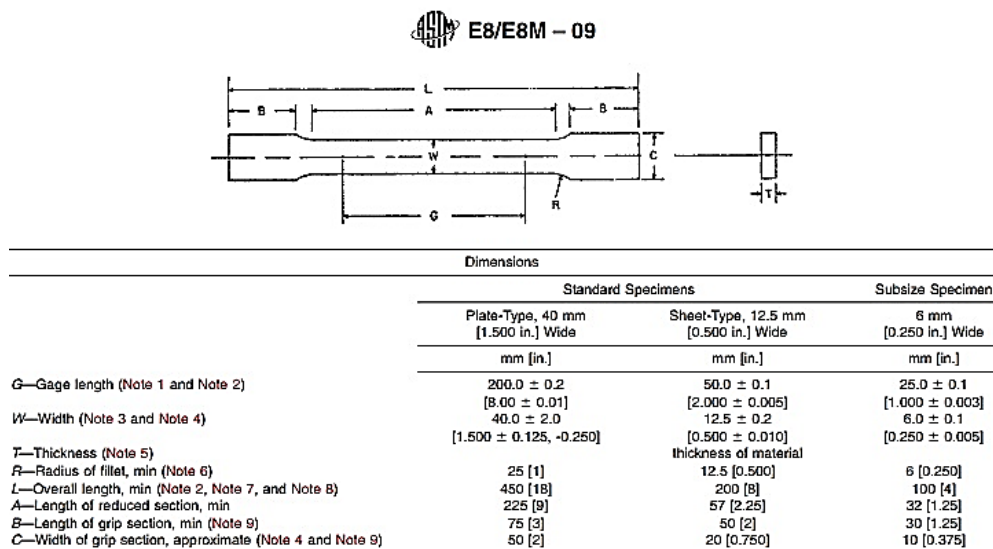
El signo negativo indica reducción en el ancho de la probeta y la deformación axial muestra un aumento en la longitud de la probeta cuando se trata de un ensayo de tracción, lo opuesto sucede cuando se realiza un ensayo de compresión, donde se reduce la longitud de la probeta y se aumenta el ancho de la misma motivo por el que se debe variar los signos de la ecuación planteada para cada caso.

## 2.2.7 Ensayos mecánicos

La realización de los diferentes ensayos mecánicos sirvió en este trabajo para, determinar las propiedades del acero de grado herramienta como límite de tracción ( $S_y$ ),  $S_{ut}$ , etc. que se utilizará para crear un modelo que permita optimizar el proceso de corte así como también para evidenciar las propiedades del acero AISI SAE D3, y permitir que se utilicen los datos obtenidos para realizar futuras investigaciones que permitan garantizar la funcionalidad del troquel mediante utilizando el método de Elementos Finitos.

### 2.2.7.1 Ensayo de Tracción

Para la realización de este ensayo se tomará como referencia la normativa ASTM E8, (American Society for Testing Materials) “Método de prueba estándar para tensión en materiales metálicos”. Mediante este estándar se puede evaluar límite elástico y plástico de los materiales metálicos a temperatura ambiente, es decir determinar la resistencia a la fluencia, resistencia a la tracción, elongación, reducción del área y el rendimiento del punto de alargamiento. Para la realización de este ensayo la normativa establece un espécimen o probeta con dimensiones y tolerancias las que deben ser cumplidas a cabalidad para garantizar la efectividad de la prueba [7].



**Gráfica 2-6.** Espécimen rectangular para ensayo de tracción [7].

### 2.2.7.2 Ensayo de flexión

El ensayo de flexión de un material metálico permite obtener datos que revelan la ductilidad que posee dicho espécimen, se define la ductilidad como la capacidad que posee el elemento para absorber la energía de deformación hasta un instante antes de romperse. Este método consiste en aplicar una fuerza en la parte central de una probeta rectangular normada mediante el estándar ASTM E290 “Ensayo de flexión para ductilidad de metales” hasta obtener un ángulo específico entregado por la norma o hasta que la probeta se rompa y mediante las especificaciones de la norma se generan criterios de aceptación o rechazo en función de las discontinuidades que presenta el material ensayado [8].

### 2.2.8 Esfuerzo Cortante

El esfuerzo cortante actúa paralelo o tangencial a los esfuerzo axiales producidos durante el corte de la platina metálica de espesor 1/8 de pulgada, para determinar el valor del esfuerzo cortante producido en el proceso de troquelado y punzonado se utiliza la ecuación 2-13, dividiendo la fuerza cortante total entre el área seccionada. Así:

$$\tau_{med} = \frac{V}{A} \quad \text{Ec. 2-13.}$$

Donde:

$\tau_{med}$  = esfuerzo cortante.

V = Fuerza de Corte.

A = Área seccionada.

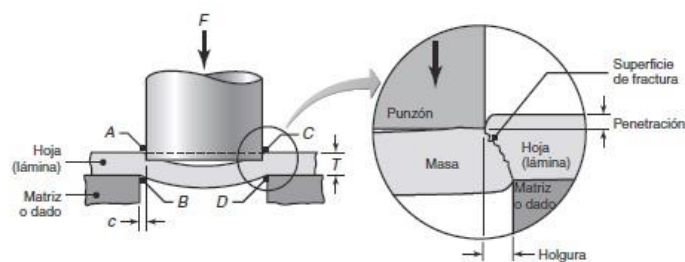
Mediante este cálculo se puede realizar un análisis que permita asegurar las sujeciones de los elementos a las placas base tanto superior e inferior para garantizar que el conjunto permanezca unido, lo que atenúa los esfuerzos laterales generados cuando se corta y perfora la platina metálica, permitiendo que la vida útil de las matrices y punzones sea la mayor posible en términos de duración.

## 2.2.9 Proceso de conformado

Las operaciones que engloba el proceso de conformado son muy extensas y principalmente se efectúan dependiendo del requerimiento que se desea obtener para la pieza metálica que se someterá al dicho proceso. Dentro de la industria matricera la operación más común es el cizallado o corte, la que permite conseguir una geometría determinada sin desprendimiento de viruta y con un acabado de corte que no requiere operaciones adicionales como son el limado y/o pulido de la parte cortada. Entre las operaciones más conocidas en la industria tenemos:

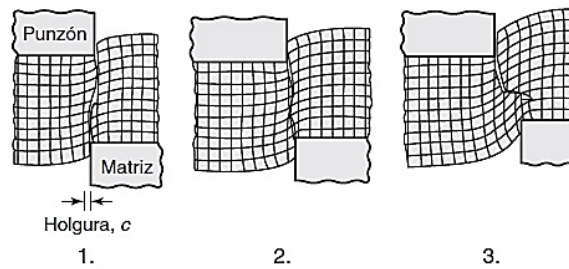
### 2.2.9.1 Cizallado o corte

La operación de cizallado corresponde a la eliminación de la masa de una hoja metálica que generalmente viene en rollos de donde se extrae la pieza deseada mediante la aplicación de esfuerzos de corte generados con una matriz de corte y el punzón de corte montados en la prensa o troqueladora. Mediante la formación de grietas en las superficies de trabajo producto de la presión ejercida por la prensa se consigue el cizallado de la placa metálica obteniendo dos tipos de superficies rugosa y lisa las que dependen del contacto entre las superficies de la placa metálica y las herramientas de corte, por ejemplo se tiene una superficie lisa, por el rozamiento entre las superficies cortadas y las superficies del punzón o matriz de corte [9].



**Gráfica 2-7.** Proceso de corte o cizallado [9].

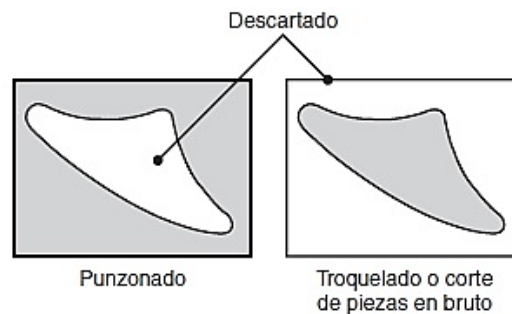
La gráfica 2-7, Describe la operación de cizallado, donde es un factor de elevada trascendencia la holgura que existe entre el punzón y la matriz de corte, ya que de este parámetro depende la calidad del corte, es decir presenta menor formación de rebaba cuando la zona cizallada es angosta como se observa en la Gráfica 2-8, las holguras varían entre [2-10] % del espesor de la placa metálica trabajada.



**Gráfica 2-8.** Efectos de holgura entre el punzón y la matriz de corte [9].

### 2.2.9.2 Operaciones de Cizallado

Las operaciones de cizallado más comunes son el punzonado y el troquelado, estas operaciones son realizadas aplicando una fuerza de presión sobre herramientas de corte denominadas, matriz y punzón, mediante el uso de maquinaria de movimiento lineal-alternativo que permite realizar esta operación. El punzonado aprovecha la masa que no fue cizallada, mientras que el troquelado utiliza la masa cizallada y el retal se desecha o es parte de otro proceso.



**Gráfica 2-9.** Diferencia entre punzonado y troquelado [9].

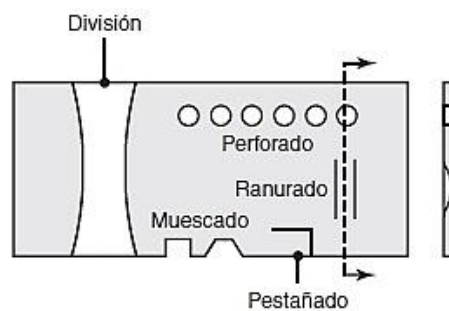
### 2.2.9.3 Corte por Matriz Simple

Este tipo de operación se destina principalmente para producir componentes que formarán parte de un ensamble mecánico, utilizando matrices y equipos especiales de corte. Los procesos más comunes del corte por matriz son:

- **Muescado:** Consiste en la eliminación de material en formas geométricas específicas de las orillas del componente metálico.



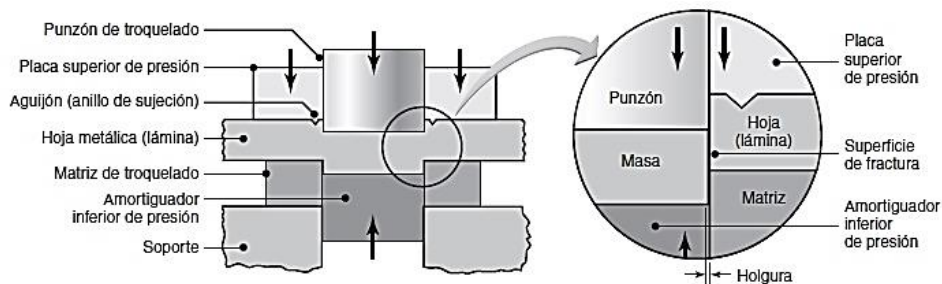
- **Perforado:** Es la operación que consiste en realizar orificios en la placa metálica.
- **Pestañado:** Es la operación donde mediante el uso de prensas mecánicas y/o hidráulicas se deja doblado el componente metálico, pero se caracteriza por no eliminar material de la placa metálica.
- **Seccionado:** Consiste en la separación de la placa metálica en dos o más partes según el requerimiento, es la operación más empleada para separar las partes útiles de un elemento según el requerimiento previamente establecido.



**Gráfica 2-10.** Operaciones de corte por matriz [9].

#### 2.2.9.4 Troquelado Fino

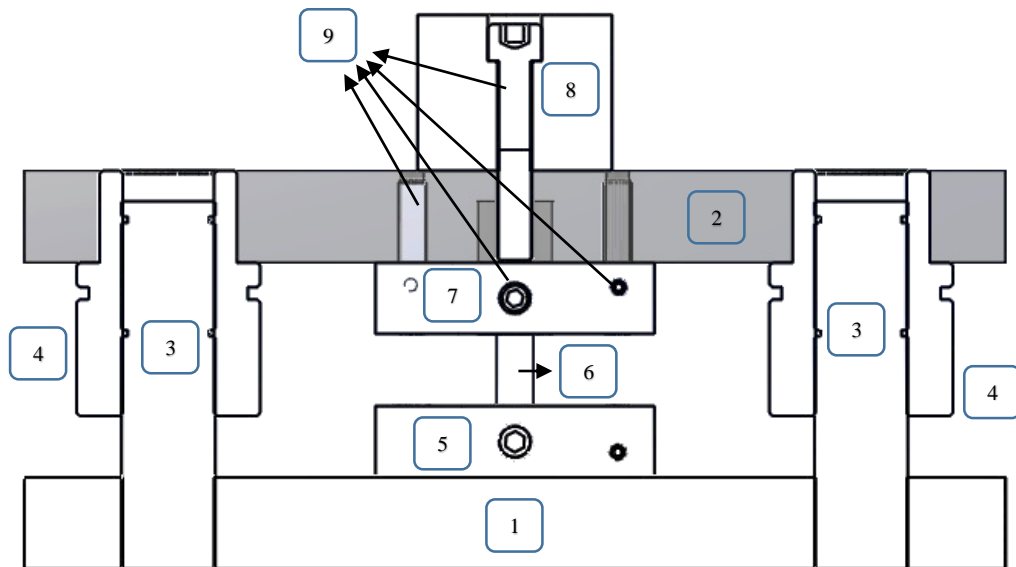
Este proceso de cizallado se conoce desde la década de 1960 y consiste en realizar cortes en la placa metálica cuya principal característica es la obtención de orillas lisas que no requieren de operaciones adicionales de rectificado. En este proceso se tienen holguras de orden 1% del espesor de la hoja metálica, y las tolerancias geométricas se encuentran en un rango de  $\pm 0.05$  mm y  $\pm 0.025$  mm cuando se requiere la perpendicularidad de los bordes troquelados.



**Gráfica 2-11.** Esquema de configuración para troquelado fino [9].

### 2.2.10 Elementos constitutivos de un troquel

Los elementos que componen una matriz o troquel de corte deben permitir soportar los esfuerzos generados durante el proceso de cizallado, es decir el material y los tratamientos térmicos que se empleen para la fabricación de cada elemento, deben garantizar la vida útil del diseño planteado, ya que las fuerzas de corte y reacciones resultantes por las operaciones descritas anteriormente son valores con magnitudes que oscilan en un rango [15 - 30] toneladas de presión. A continuación se describirá brevemente cada elemento que forma parte de un troquel y la función que realiza dentro del proceso de troquelado.



**Gráfica 2-12.** Partes constitutivas de un troquel.

**Fuente:** [El Autor]

La Tabla 2-4, muestra los componentes que conforman el conjunto de troquelado y punzonado para la platina metálica de espesor 1/8 de pulgada, para este caso se hace referencia a un troquel de tipo compuesto, es decir que permite realizar dos acciones consecutivas en una misma estación de trabajo, ya que para otro tipo de troquel las partes constitutivas del mismo suelen ser más, para el troquel compuesto no se utilizaron expulsores ni placas separadoras debido a que las operaciones de corte y perforado de la platina metálica se realizan al mismo tiempo.

**Tabla 2-4.** Partes constitutivas del troquel.

**Fuente:** [El Autor].

Parte constitutiva	Descripción
1	Placa base inferior
2	Placa base superior
3	Columnas guía
4	Bujes guía
5	Matriz base
6	Punzón de troquelado
7	Placa porta punzón
8	Espiga de sujeción
9	Elementos de ensamble

#### 2.2.10.1 Descripción de componentes de la matriz de corte y perforado

La tabla 2-5 muestra las características, función y el material del que se construyó cada componente del troquel de corte y perforado.

**Tabla 2-5.** Descripción de los elementos constitutivos del troquel de corte y perforado.

**Fuente:** [El Autor].

Elemento	Descripción	Función	Material	Características Especiales	T. T.
Placa base	Placa inferior donde se montan las matrices de corte	Asegurar la sujeción de los elementos fijos del troquel.	Acero AISI-SAE 1010	Espesor que varía entre 25 y 50 mm en función del tipo de operación de troquelado.	No

Placa superior	Placa base donde se ensamblan los punzones y porta punzones	Asegurar la sujeción de los elementos móviles del troquel.	Acero AISI-SAE 1010	Espesor que varía entre 25 y 50 mm en función del tipo de operación de troquelado.	No
Columna guía	Elementos donde se desliza verticalmente la placa base superior sobre los elementos de la placa base inferior	Disipar los esfuerzos laterales generados por troquelado o cizallado	AISI-SAE 4340	Elevada resistencia al desgaste	No
Buje guía	Elementos que se ensamblan en la placa base superior del troquel	permiten el movimiento de los elementos de la placa superior	AISI-SAE 4340	Tolerancia eje agujero entre las columnas y el buje	No
Matriz	Elemento en el que se introduce el punzón de corte o perforado.	Permite que el punzón realice la operación de troquelado.	AISI-SAE D3	Diseño de holgura adecuado [2-8] % del espesor del material.	Si

Punzón	Soportar la presión ejercida por la máquina y la reacción obtenida por el corte.	Realizar las operaciones de troquelado, cizallado, embutido y doblado.	AISI-SAE D3	Dureza [60-70 HRC]	Si
Porta punzón	Placa metálica donde se aloja el punzón.	Permite sujetar el punzón a la placa base superior.	Acero AISI-SAE 1010	Tolerancia eje agujero entre el punzón y la placa porta punzón.	No
Elementos de ensamble	Tronillos hexagonales de cabeza hueca tipo Allen y pasadores de posicionamiento	Garantizar la correcta sujeción de todos los elementos del troquel	Acero	Tipo Allen diseñados bajo norma DIN 912.	Si

En la Tabla 2-6, se presenta los tipos de pasadores de posicionamiento que se utilizan para garantizar la unión de los componentes del troquel.

**Tabla 2-6.** Clasificación de los pasadores de posicionamiento [5].

<b>Tipo de pasador</b>	<b>Resistencia a la tracción</b>	<b>Material</b>
<b>Cilíndrico</b>	$\geq 500$ MPa	Acero plata
<b>Cónicos</b>	$\geq 500$ MPa	Acero
<b>Hendidos</b>	$\geq 600 - 700$ MPa	Acero
<b>Estriados</b>	$\geq 400$ MPa	Latón, Cobre.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO DEL PROYECTO

#### 3.1 Selección de Alternativas

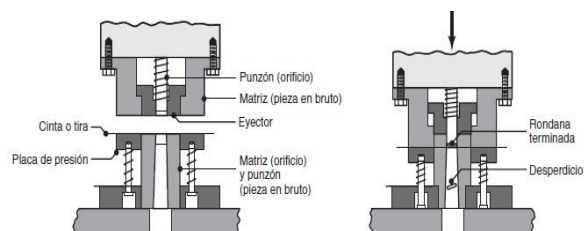
Para el diseño del troquel de corte y perforado se tomó en cuenta aspectos relacionados con el proceso productivo, actividad económica y la maquinaria disponible en la empresa Ingeniería del Acero y Matricería, ya que según la capacidad de la empresa, la matriz que se construyó debe ser acorde a la necesidad de la misma. Los tipos de matrices según la capacidad de la empresa se describen a continuación:

##### 3.1.1 Tipos de Matrices para cizallado

Existen varios tipos de troqueles que permiten realizar las operaciones de cizallado de las que los principales tipos de matrices de cizallado, que son empleadas en la industria matricera de manufacturera se describen a continuación:

##### 3.1.1.1 Matrices compuestas

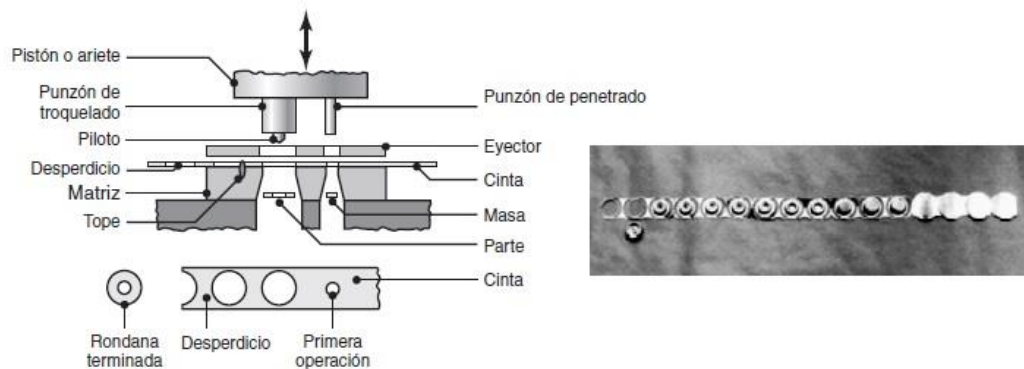
Este tipo de matriz permite realizar varias operaciones en una placa metálica con solo una estación de un proceso, por lo general este tipo de matriz se utiliza con geometrías no tan complejas dentro de un proceso que no requiere alta velocidad de producción, el costo de producción de esta matriz es elevado en comparación a las matrices simples donde se utiliza operaciones individuales de cizallamiento [9]. Este tipo de matriz se observa en la Gráfica 3-1.



Gráfica 3-1. Matriz compuesta [9].

### 3.1.1.2 Matrices progresivas

Este tipo de matriz engloba todas las operaciones necesarias para realizar el formado de una parte o pieza, se emplea para procesos múltiples como: troquelado, ranurado, muescado, etc. es decir se consigue en una misma estación de la máquina realizar todas las operaciones que con una matriz simple no podría realizarse, como se aprecia en la gráfica 3-2, permite cortar, perforar y mover la chapa metálica de forma automática mediante los pilotos del troquel.



**Gráfica 3-2.** Configuración de una matriz progresiva [9].

### 3.1.1.3 Matrices de transferencia

Este tipo de matriz reúne las características de los modelos anteriores, es decir permite realizar operaciones individuales de cizalladura, en un conjunto de máquinas troqueladoras que se distribuyen de forma radial o lineal, las que realizan operaciones consecutivas de formado, en donde la placa metálica se alimenta en serie para los distintos procesos, es decir después de cada paso la parte se traslada a la estación continua para las operaciones posteriores de formado [9].

Con los criterios descritos anteriormente y considerando que la empresa Ingeniería del Acero y Matricería se considera una organización de tipo artesanal, la mejor opción que se adapta a las necesidades de la empresa es el diseño y construcción de una matriz o troquel compuesto, que permita realizar dos operaciones de cizallado en un solo golpe de troqueladora, este tipo de troquel cumple con los requerimientos y capacidades que posee la empresa matricera.

### 3.2 Selección de materiales

La selección de materiales se realizó en función a los criterios de diseño obtenidos mediante esta investigación y que se resumieron en la Tabla 2-3, en la que se describen las características de cada familia de aceros para herramientas, en este trabajo se coincide con la selección del material, tomando en cuenta las siguientes especificaciones: El acero debe ser de la familia D, ya que se trata de un proceso de conformado en frío, además este acero se utiliza en la mayoría de herramientas de cizallado. Se seleccionó es el acero AISI-SAE D3, por la factibilidad comercial, propiedades mecánicas y propiedades físicas que este material posee como se describe en la Tabla 3-1.

**Tabla 3-1.** Propiedades del acero seleccionado AISI-SAE D3 [10].

<b>Acero AISI – SAE D3</b>				
<b>Composición química (%)</b>				
Carbono [C]			2,0 – 2,35	
Manganeso [Mn]			0,25 – 0,45	
Fósforo [P]			0,04 máx.	
Azufre [S]			0,04 máx.	
Cromo [Cr]			11,0 – 13,0	
Vanadio [V]			1,0 máx.	
Tungsteno [W]			1,0 máx.	
<b>Tratamiento térmico</b>				
<b>Tratamiento</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Enfriamiento</b>	<b>Dureza</b>	
			<b>HRc</b>	<b>HBN</b>
Recocido	870 – 900 °C	Horno	-	255 máx.
Temple	925 – 980 °C	Aire/Sales	66 máx.	-
Revenido	200 – 540 °C	-	56 - 62	-
<b>Características</b>			<b>Aplicaciones</b>	
Elevada dureza superficial.			Matricería y troquelaría.	
Elevada resistencia al desgaste.			Herramientas de corte.	
Contenido alto de carbono y cromo.			Herramientas de cizallado.	
Elevada resistencia a la compresión.			Herramientas de punzonado.	
Elevada templabilidad.			Fresas, brocas, buriles.	
Elevada estabilidad dimensional.			Rodillos de formado.	
			Dados de extracción.	



En la Tabla 3-2., se observa las propiedades físicas y mecánicas del equivalente en Norma DIN, del acero seleccionado, AISI-SAE D3 (BOHLER K100) que se utilizó para la construcción de los elementos de corte y punzonado y para la realización de los ensayos mecánicos de tracción y flexión para determinar las propiedades de este tipo de acero.

**Tabla 3-2.** Propiedades físicas y mecánicas del equivalente al acero AISI-SAE D3 según la norma DIN [9].

<b>Propiedades Físicas</b>	
Expansión Térmica	$10 * e^{-6}/K$
Conductividad Térmica	$25W/m * K$
Calor específico	$460J/Kg * K$
Temperature de Fusión	[1450-1510] °C
Densidad	$7700 Kg/m^3$
Resistividad	$0.55\Omega * mm^2/m$
<b>Propiedades Mecánicas</b>	
Módulo de Elasticidad	[190 – 210]GPa
Módulo de Poisson	[0,27-0.3]
Resistencia a la Tracción	[650-880] MPa
Elongación	[8-25]%
Resistencia a la Fatiga	275 MPa
Límite Elástico	[350-650] MPa

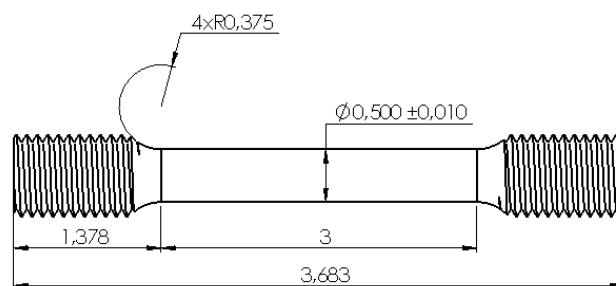
### 3.3 Ensayos de Tracción y Flexión del acero AISI-SAE D3 (K100)

Para la realización de los ensayos mecánicos de tracción y flexión del acero AISI-SAE grado herramienta D3, se procedió con la utilización de las normas ASTM descritas en el capítulo II, se utilizará la norma ASTM E8 – 16a para el ensayo de Tracción y la norma ASTM E290 – 14 para el ensayo de Flexión. De los ensayos se obtendrá los valores, Sut (Ultimate Tensile Strength) Esfuerzo último antes de la ruptura y Sy (Yield Strength) esfuerzo de cedencia, además los valores esfuerzo – deformación los que se utilizaron para generar la curva (Effective Plastic Strain vs

Stress) del nuevo material que se analizó en el software de diseño mediante el método de Elementos Finitos.

### 3.3.1 Ensayo de Tracción del acero AISI-SAE D3.

El ensayo de tracción se realizó en cinco probetas de acero AISI-SAE D3 las que fueron mecanizadas según establece la norma ASTM E8 – 16a, que es la norma actual que se utiliza para realizar este análisis y que presenta las siguientes especificaciones como se observa en la Gráfica 3-3.



**Gráfica 3-3.** Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción.

**Fuente:** [El Autor].

#### 3.3.1.1 Proceso de mecanizado y ensayo de las probetas para el test de Tracción.

La fabricación y ensayo de las probetas descritas en la norma ASTM E8-16a se describe a continuación:

- Adquisición del material



**Gráfica 3-4.** Barra de acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100).

**Fuente:** [El Autor].

- Mecanizado según las especificaciones de la norma ASTM E8-16a



**Gráfica 3-5.** Probeta cilíndrica ensayo tracción.

**Fuente:** [El Autor].



**Gráfica 3-6.** Probeta cilíndrica rosca M20 x 2,5 para el ensayo de tracción.

**Fuente:** [El Autor].

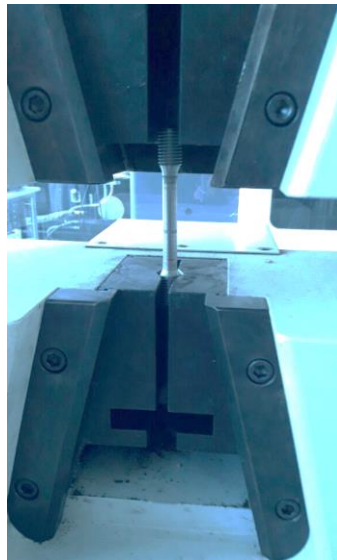
La máquina que se empleó para realizar el ensayo de tracción, es la Máquina de Ensayo Universal Metro Test 1500KN, la máquina se encuentra precargada a 30 KN, y el ensayo se realizó con una velocidad de 10 mm/min. Esta máquina consta de una estructura superior y una inferior, en la estructura superior se realizan las diferentes pruebas, mientras que la estructura inferior se encarga de soportar el peso de la máquina y servir de alojamiento para los distintos aditamentos que se utilizan en las pruebas, las cuales se realizan gracias a la fuerza generada por un émbolo hidráulico de operación automática con la capacidad de fuerza suficiente para desarrollar los ensayos de Tracción y Flexión, considerando condiciones como: Temperatura a la que se realiza la prueba, Humedad Relativa y Absoluta, estas son las principales características que se consideran para realizar el ensayo de tracción. En la gráfica 3-7 se muestra la máquina que se usó para realizar los ensayos.



**Gráfica 3-7.** Máquina de Ensayos Universal Metro Test 1500 KN para el ensayo de tracción.

**Fuente:** [El Autor].

La Gráfica 3-8, muestra la sujeción de la probeta previa al ensayo de Tracción bajo las condiciones descritas anteriormente.



**Gráfica 3-8.** Montaje de Probeta Cilíndrica acero AISI-SAE D3 para el ensayo de tracción.

**Fuente:** [El Autor].

Los resultados obtenidos mediante el ensayo mecánico de tracción se consiguieron bajo condiciones normales, sin registrarse inconvenientes durante la prueba de las probetas, los resultados generados mediante el estudio realizado al acero AISI-SAE D3, se muestran en la Tabla 3-3.

**Tabla 3-3.** Resultados del ensayo de Tracción del Acero AISI SAE D3.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Resistencia a la Tracción</b>						
<b>Ítem</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>Fuerza de Rotura (N)</b>	<b>Fuerza de Fluencia (N)</b>	<b>SUT (MPa)</b>	<b>SY (MPa)</b>	<b>Deformación (%)</b>
	<b>Diámetro</b>					
<b>1</b>	12,47	99000,01	92650,01	810,61	758,62	8,4
<b>2</b>	12,36	97600,01	91850,01	813,44	765,51	7,6
<b>3</b>	12,55	98550,01	88200,01	796,67	713,00	7,5
<b>4</b>	12,55	101100,01	83650,01	817,29	676,22	9,8
<b>5</b>	12,50	98850,01	75200,01	805,50	612,78	8,8
	<b>Promedio</b>	99020,01	86310,01	808,70	705,23	
	<b>Desviación estándar Sn-1</b>	1283,842	7158,33	7,98	63,11	
	<b>Coefficiente de variación CV</b>	1,3	8,3	1,0	8,9	

Las probetas ensayadas se rompieron dentro de la zona calibrada, sin registrar inconvenientes durante el ensayo. Para validar los resultados obtenidos mediante el ensayo de tracción se realizó una tabla comparativa tomando como referencia la Tabla 3-2, que establece los valores de las propiedades mecánicas del acero de grado herramental AISI-SAE D3, según la designación alemana que utiliza la norma DIN que establece valores similares a los obtenidos mediante prueba, los rangos para el límite elástico y la resistencia a la tracción se pueden comparar con los establecidos mediante el ensayo de tracción realizado bajo la norma ASTM E8 16a como se muestra en la Tabla 3-4.

**Tabla 3-4.** Cuadro comparativo entre los resultados del ensayo mecánico y catálogos de fabricantes de acero AISI SAE D3.

**Fuente:** [El Autor].

Comparación de resultados			
	Catálogo	Ensayo [Prom]	Variación
<b>Resistencia a la Tracción [MPa]</b>	[650-880]	808,7	0%
<b>Limite elástico [MPa]</b>	[350-650]	705,23	8,497%

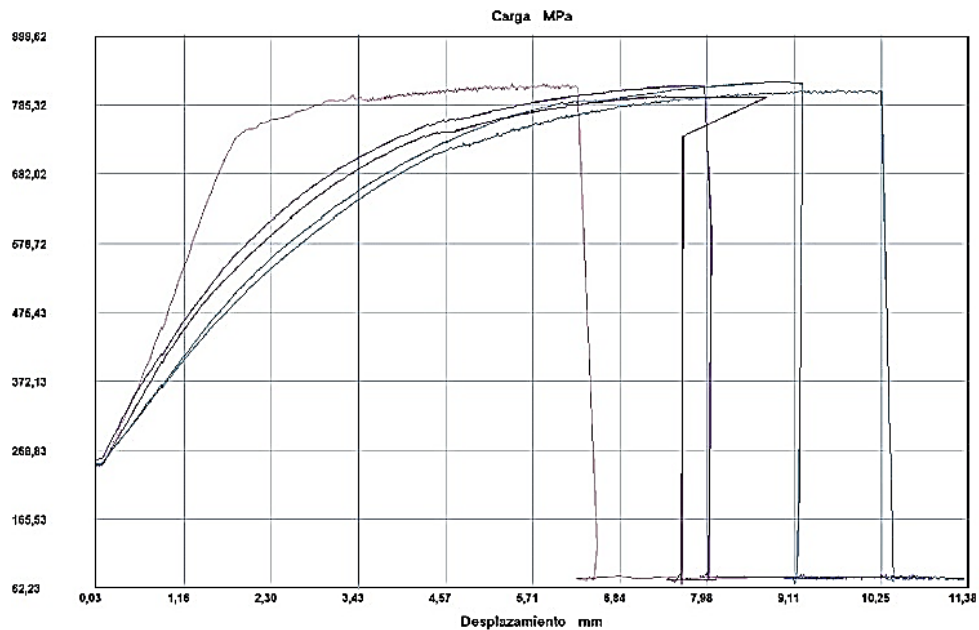
Para el primer caso la resistencia a la tracción obtenida se encuentra dentro del rango que se establece mediante investigación, caso opuesto sucede con el límite elástico que se encuentra fuera de rango un 8,497% veces más que el establecido por la designación DIN que para el acero AISI SAE D3, es DIN 1.2080 X210Cr12, la variación en los resultados obtenidos se considera es por procesos de manufactura mediante los que se obtuvo el acero. La gráfica 3-9, muestra las probetas sometidas al ensayo de tracción mediante la máquina Metro Test 1500 KN



**Gráfica 3-9.** Probetas Cilíndricas ensayadas acero AISI-SAE D3.

**Fuente:** [El Autor].

En la Gráfica 3-10, se puede apreciar el comportamiento de las probetas ensayadas, esta gráfica se conoce como la curva Esfuerzo-Deformación que para nuestro análisis se asemeja en gran magnitud a las propiedades mecánicas descritas por el fabricante del acero y que se enunciaron en la Tabla 3-2.



**Gráfica 3-10.** Curvas Esfuerzo-Deformación de las probetas de acero K 100 sometidas al Ensayo Mecánico de Tracción.

**Fuente:** [Anexo 9]

### 3.3.2 Ensayo de Flexión del acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100).

El ensayo de Flexión se desarrolló con la misma máquina y bajo las mismas condiciones de ensayo, utilizando la norma ASTM E290-14, para determinar la configuración inicial del análisis, se realizó el análisis de flexión simple en tres puntos de apoyo.

#### 3.3.2.1 Proceso de mecanizado y ensayo de las probetas para el test de Flexión bajo norma ASTM E290-14.

El ensayo de flexión se utiliza para determinar los esfuerzos y deformaciones que un material es capaz de soportar antes de romperse, para determinar la resistencia a la flexión y el módulo de flexión del material, que a su vez permite complementar el análisis mecánico del material. Al igual que el ensayo de tracción este test se usa para encontrar la resistencia mecánica del acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100). El proceso de mecanizado y ensayo se describe a continuación:

- **Adquisición del acero**

El eje de acero Bohler K100, es la designación comercial obtenida para el acero AISI-SAE D3.

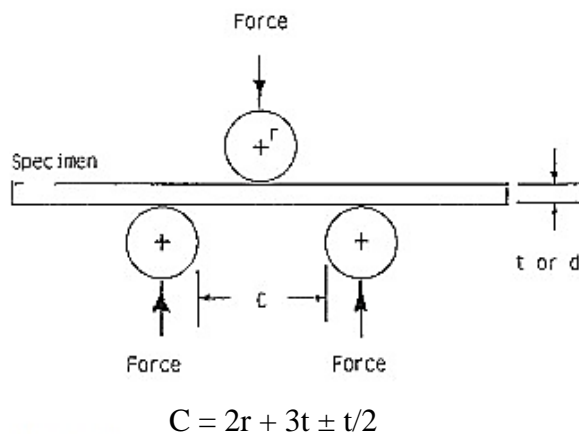


**Gráfica 3-11.** Barra cilíndrica de acero AISI-SAE D3 (BOHLER K100)

**Fuente:** [El Autor].

- **Mecanizado de las probetas.**

Para el mecanizado de las probetas para el ensayo de flexión se debe cortar la barra de acero de acuerdo a las especificaciones descritas en la norma ASTM E290-14, donde se describe la distancia entre apoyos para el ensayo de flexión en tres puntos, con apoyos simples como se muestra en la gráfica 3-12.



**Gráfica 3-12.** Ensayo guiado de flexión en tres puntos [8].

Donde:

C = Distancia entre los apoyos inferiores



r = Radio del extremo del mandril o émbolo

t = Espesor de la hoja (probeta)

d = diámetro de la probeta

w = ancho de la probeta

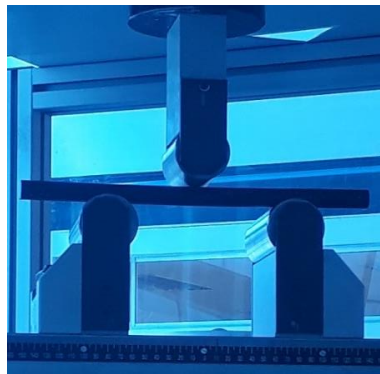
Para determinar la distancia entre apoyos C, se procedió como establece la ecuación 3-1, tomada de la Norma ASTM E290-14, para realizar el ensayo guiado de flexión en tres puntos.

$$C = 2r + 3d \pm \frac{d}{2} \quad \text{Ec. 3.1}$$

$$C = 2(25) + 3(16.5) + \frac{16,5}{2}$$

$$C = 107,75 \approx 108 \text{ mm} \rightarrow \text{Distancia entre apoyos}$$

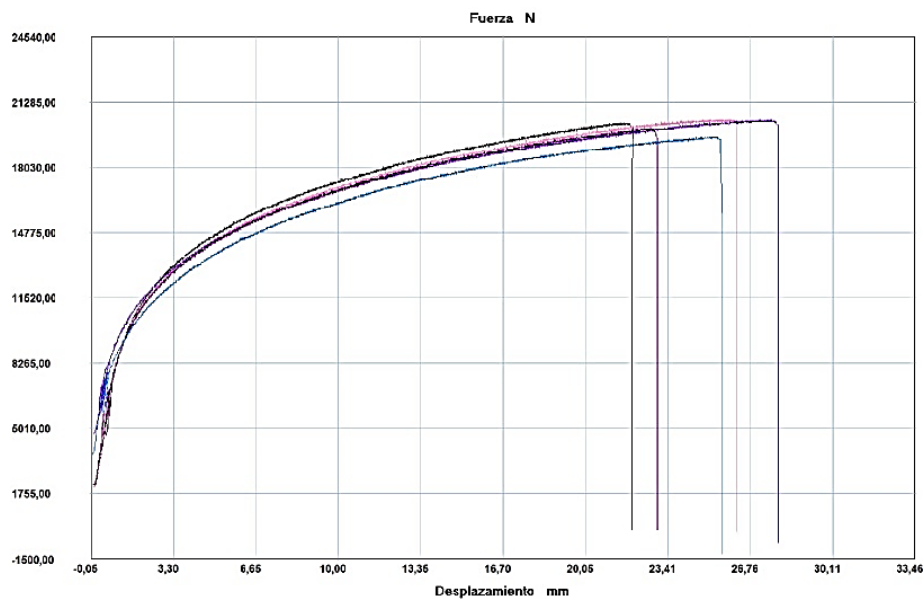
La Gráfica 3-13 muestra cómo se configuró la distancia entre apoyos calculada mediante la ecuación 3-1, para realizar el ensayo guiado de Flexión mediante la Norma ASTM E290-14.



**Gráfica 3-13.** Configuración para el ensayo guiado de flexión en tres puntos.

**Fuente:** [El Autor].

La Gráfica 3-14, muestra las cinco curvas obtenidas durante el test de Flexión, en esta gráfica se observa el comportamiento (Esfuerzo vs Deformación del Acero AISI-SAE D3).



**Gráfica 3-14.** Curvas Esfuerzo-Deformación resultantes del ensayo guiado de flexión en tres puntos.

**Fuente:** [El Autor].

Mediante el ensayo de flexión se pudieron obtener los siguientes resultados como se muestra en la tabla 3-5.

**Tabla 3-5.** Resultados del ensayo de Flexión.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Resistencia a la Flexión</b>					
<b>Ítem</b>	<b>Dimensiones (mm)</b>	<b>Fuerza Máx. (N)</b>	<b>Deflexión (mm)</b>	<b>Esfuerzo Máx. a Flexión (MPa)</b>	<b>Deformación (%)</b>
	<b>Diámetro</b>				
<b>1</b>	16,94	20250,00	21,354	1145,64	18,61
<b>2</b>	16,65	20450,00	25,868	1218,47	22,16
<b>3</b>	16,65	20400,00	27,118	1215,49	23,23
<b>4</b>	16,67	20000,00	22,439	1187,37	19,24
<b>5</b>	16,64	19550,00	24,549	1166,94	21,01
	<b>Promedio</b>	20130,00	24,27	1186,78	20,85
	<b>Desviación Estándar Sn-1</b>	368,44	2,38	31,28	1,94
	<b>Coficiente de Variación CV</b>	1,83	9,80	2,64	9,29

Las cinco probetas sometidas al ensayo de flexión se rompieron cuando alcanzaron el límite de deformación esto es normal considerando que el acero ensayado AISI-SAE D3 posee características mecánicas de dureza elevada por lo que las probetas no se doblaron considerablemente como se puede observar en la tabla 3-5, en la Gráfica 3-15, se aprecia las probetas que fueron sometidas al ensayo de flexión.



**Gráfica 3-15** Probetas ensayadas con el ensayo guiado de flexión en tres puntos.

**Fuente:** [El Autor].

### 3.4 Cálculos

#### 3.4.1 Fuerza de corte

Este parámetro es la fuerza necesaria para vencer las posibilidades de resistencia molecular interior de la chapa cuando el punzón ejerce una presión continua sobre el área que se eliminará del elemento metálico. Para determinar la fuerza de corte necesaria en las operaciones de troquelado y punzonado se debe considerar la ecuación 3-2 de M. Rossi, (1979).

$$Q = \sigma_R * S * P \quad \text{Ec. 3-2}$$

Donde:

Q = Esfuerzo cortante necesario [Kg]

$\sigma_T$  = Carga de ruptura del material por cizalladura.  $[\frac{Kg}{mm^2}]$

S = Espesor de la placa metálica. [mm]

P = Perímetro del área cortada. [mm]

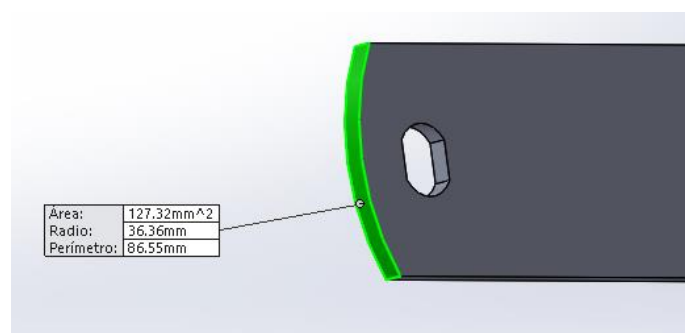
$\sigma_R =$  Carga de ruptura por tracción  $[\frac{Kg}{mm^2}]$

$\sigma_T = [0,75 \text{ a } 0,8]$  de  $\sigma_R$

Para el diseño y selección de la prensa o troqueladora se recomienda considerar la dilatación del material por rozamiento entre las paredes de la matriz en el proceso de corte, para lo que es necesario determinar el mayor esfuerzo generado por el rozamiento, esto se logra multiplicando el esfuerzo teórico por un factor de diseño que M. Rossi, recomienda sea [1,1 a 1,2] veces el esfuerzo cortante como se observa en la ecuación 3-3.

$$Q^i = [1,1 \text{ a } 1,2] * Q \quad \text{Ec. 3-3}$$

Determinar la fuerza de corte necesaria será de utilidad para diseñar los punzones de corte y perforado así como la selección del troquel que permita realizar las operaciones descritas anteriormente. En la Gráfica 3-16, se puede evidenciar la geometría que se desea obtener mediante las operaciones de cizallado de placa metálica de dimensiones 1 ½ pulgada de ancho y 1/8 de pulgada de espesor, mediante un software de dibujo se determinó el perímetro del área cortada, dato que es necesario para determinar la fuerza de corte necesaria para realizar las operaciones de corte y perforado del elemento metálico que será utilizado para el ensamble de la estructura metálica de los asientos de los buses TIPO construidos en la ciudad de Ambato.



**Gráfica 3-16.** Perímetro de corte exterior de placa metálica 1 ½ pulg., de ancho y 1/8 pulg., de espesor.

**Fuente:** [El Autor].

Los materiales más empleados en las operaciones de matricería y sus respectivos valores de resistencia a la cizalladura según A. Florit, (2016) se pueden observar en la tabla 3-6., así:

**Tabla 3-6.** Resistencia a la rotura, materiales laminados más comunes [12].

Material	Resistencia a la Rotura $\sigma_T$ [ $\frac{Kg}{mm^2}$ ]		Resistencia a la cortadura $\sigma_R$ [ $\frac{Kg}{mm^2}$ ]		Peso específico [ $\frac{Kg}{dm^3}$ ]
	Recocido	Crudo	Recocido	Crudo	
Acero laminado 0,1% C	31	40	25	32	7,8-7,9
Acero laminado 0,2% C	40	50	32	40	
Acero laminado 0,3% C	44	60	35	48	
Acero laminado 0,4% C	56	70	45	56	
Acero laminado 0,6% C	70	90	56	72	
Acero laminado 0,8% C	90	110	72	90	
Acero laminado 1% C	100	130	80	105	
Acero laminado inoxidable	65	75	52	60	
Acero laminado al Silicio	56	70	45	56	
Aluminio	7,5 – 9	16 – 18	6 – 7	13 – 15	2,7
Anticorodal	11 – 13	32 – 36	9 – 10	25 – 29	2,8
Duraluminio	16 – 20	38 – 45	13 – 16	30 – 36	2,8
Siluminio	12 – 15	25	10 – 12	20	2,7
Alpaca laminada	35 – 40	56 – 58	28 – 36	45 – 46	8,3 – 8,45
Bronce	40 – 50	50 – 75	32 – 40	40 – 60	8,4 – 8,9
Cinc	15	25	12	20	7,1 – 7-2
Cobre	22 – 27	31 – 37	18 – 22	25 – 30	8,9 – 9
Estaño	4 – 5	-	3 – 4	-	7,40
Fibra	-	-	17	-	-
Latón	28 – 37	44 – 50	22 – 30	35 – 40	8,5 – 8,6
Oro	-	-	18	30	19,3 – 19,35
Plata laminada	29	29	23,5	23,5	10,5
plomo	2,5 – 4	-	2 – 3	-	11,4

Para determinar la fuerza de corte necesaria al realizar las operaciones de cizallado, en la platina metálica de espesor 1/8 de pulgada, se debe conocer el valor de la resistencia al corte del material que va a ser procesado, que en este caso se trata del acero estructural ASTM A36, en la Tabla 3-7., se muestra las características mecánicas de este acero y se considerara un valor promedio entre los valores mostrados, ya que esto depende de la composición química de acero y del fabricante.

**Tabla 3-7.** Propiedades del acero ASTM A36 [12].

<b>Propiedades mecánicas</b>	
<b>Características</b>	<b>Magnitud</b>
Resistencia a la tracción	$[41 - 56] \frac{Kg}{mm^2}$
Elongación en 8 pulg.	20%
Elongación en 2 pulg.	23%
Mínimo punto de fluencia	$25 \frac{Kg}{mm^2}$
<b>Propiedades químicas</b>	
Carbono (C)	0,26 % máx.
Fósforo (P)	0,04% máx.
Azufre (S)	0,05% máx.
Silicio (Si)	0,40% máx.
Cobre (Cu)	0,20% mín.

$$Q1 = \sigma_R * S * P$$

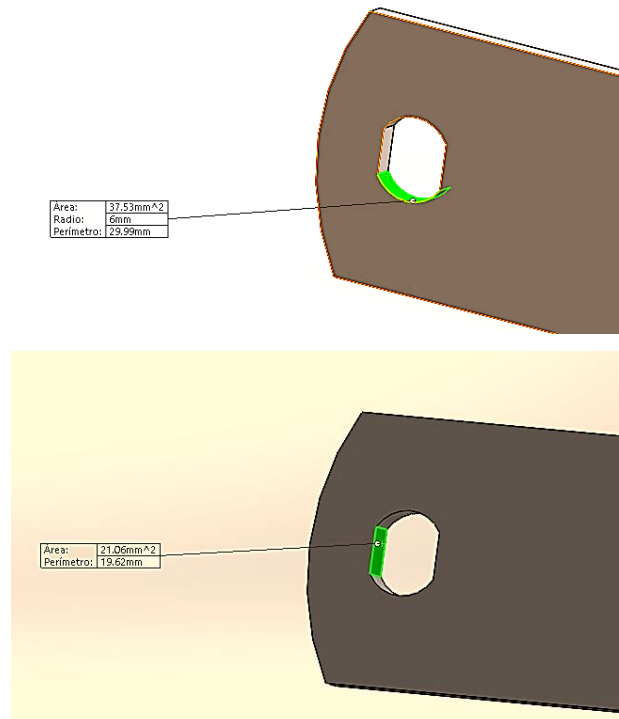
$$Q1 = 49 \left[ \frac{Kg}{mm^2} \right] * 3,175 \text{ mm} * (2)86,55 \text{ mm}$$

$$Q1 = 26930,0325 \text{ Kg}$$

$$Q1 = 26,93 \text{ Ton}$$

La fuerza necesaria para realizar la operación de troquelado en la platina metálica es de  $\approx 27$  Ton. Para la operación de punzonado se debe considerar que el perímetro

del agujero varía para lo que es necesario realizar un cálculo adicional. En la Gráfica 3-17, se muestra el perímetro del área perforada para realizar el cálculo de la fuerza de corte necesaria para realizar la perforación.



**Gráfica 3-17.** Perímetro de corte placa metálica 1 ½ pulg., de ancho y 1/8 pulg.

**Fuente:** [El Autor].

$$Q2 = \sigma_R * S * P$$

$$Q2 = 49 \left[ \frac{Kg}{mm^2} \right] * 3,175 \text{ mm} * 2(29.99) + 2(19.62) \text{ mm}$$

$$Q2 = 15436,152 \text{ Kg} * \frac{0,001 \text{ Ton}}{1 \text{ Kg}}$$

$$Q2 = 15,4362 \approx 16 \text{ Ton}$$

La fuerza de corte para la operación de punzonado es menor que la necesaria para realizar el troquelado, debido al dimensionamiento de la perforación por lo que una prensa con capacidad de 43 Toneladas o mayor capacidad permitirá realizar las operaciones de cizallado para la platina metálica de espesor 1/8 de pulgada.

Mediante la determinación del área seccionada y la fuerza de corte necesaria para perforar la platina metálica por el punzón de perforado, se determinó el esfuerzo cortante producido mediante la ecuación 2-13, descrita en el capítulo II.

$$\tau_{med \text{ punzón corte}} = \frac{V}{A}$$

$$\tau_{med \text{ punzón corte}} = \frac{15436,152 (2,2)}{(0,83)(1/8)} = 377320,8 \text{ lbf}$$

$$\tau_{med \text{ punzón perforado}} = \frac{V}{A}$$

$$\tau_{med \text{ punzón perforado}} = \frac{15436,152 (2,2)}{(0,472)(1/8)} = 575585,3 \text{ lbf}$$

### 3.4.2 Fuerza de ajuste

La fuerza de sujeción hace referencia al ajuste necesario para evitar que la matriz se mueva, para este análisis el producto de la fuerza de corte por la fuerza de sujeción es proporcional, para evitar el movimiento de la matriz, se debe considerar un factor 0.35, para determinar la fuerza de ajuste necesaria según M. Rossi, (1979) se tiene la ecuación 3-4.

$$F_r = 0.35 * Q \quad \text{Ec. 3-4}$$

Donde:

$F_r$  = Fuerza de Ajuste.

Q = Fuerza de corte.

$$F_{r1} = 0,35 * Q_1$$

$$F_{r1} = 0,35 * 27 \text{ Ton}$$

$$F_{r1} = 9,45 \text{ Ton}$$

$$F_{r2} = 0,35 * Q_2$$

$$F_{r1} = 0,35 * 16 \text{ Ton}$$

$$F_{r1} = 5,6 \text{ Ton}$$



### 3.4.3 Fuerza de expulsión o contrapresión

La fuerza de contrapresión se basa en el principio de Arquímedes el que habla de una fuerza de repulsión o contrapresión cuando se ejerce una fuerza ajena al sistema cerrado, la fuerza resultante en este caso es conocida como fuerza de empuje. En nuestro caso la fuerza de contrapresión es aquella que resulta opuesta a la fuerza de corte, que es proporcional a la superficie de la pieza cortada y la dureza del material. Para este análisis la ecuación 3-5, de M. Rossi, (1979) permite determinar la fuerza de contrapresión.

$$F_G = A_S * Q_G \quad \text{Ec. 3-5}$$

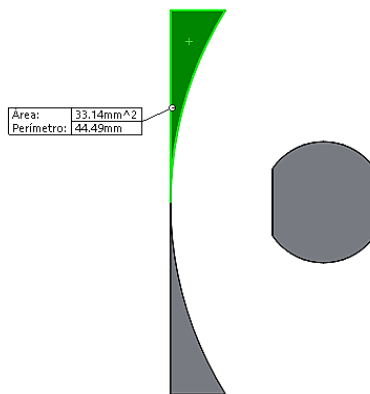
Donde:

$F_G$  = Fuerza de expulsión o contrapresión. [N]

$A_S$  = Área de la pieza troquelada. [ $mm^2$ ]

$Q_G$  = Presión específica de empuje. [ $\frac{N}{mm^2}$ ]

La presión específica de empuje  $Q_G$  se puede determinar en función de la superficie troquelada de la pieza, y oscila en el rango de  $[20-70]\frac{N}{mm^2}$ , es decir entre más área tenga la pieza el valor de  $Q_G$  se acercará a  $70\frac{N}{mm^2}$  y cuanto menor sea la superficie se aproximará al límite inferior de  $20\frac{N}{mm^2}$ .



**Gráfica 3-18.** Área de corte del primer cuadrante de placa metálica 1 ½ pulg., de ancho y ½ pulg., de espesor.

**Fuente:** [El Autor].

Para determinar la magnitud de la presión específica de empuje en función del criterio enunciado anteriormente y con el área separada de la platina metálica, como se observa en la Gráfica 3-18, cada cuadrante del corte mide  $33.14 \text{ mm}^2$  y se debe considerar que existen cuatro cuadrantes es decir el área total cizallada es  $132.56 \text{ mm}^2$ , por lo que el valor de la presión específica de empuje tomará la magnitud de  $49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$  que es el promedio del rango que Martínez Carreño y Otros (2012), recomienda.

$$F_G = A_S * Q_G$$

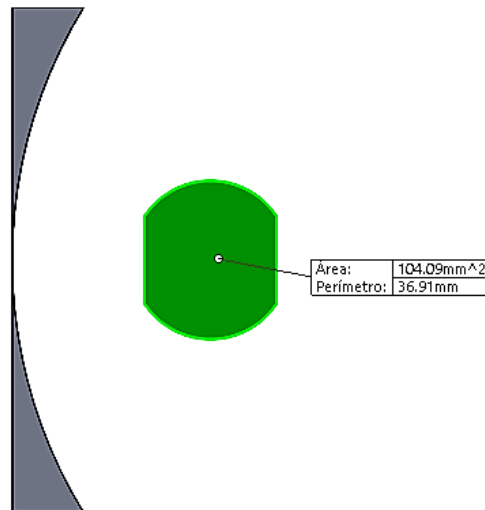
$$F_{G1} = 132.56 \text{ mm}^2 * 49 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{G1} = 6495,44 \text{ N}$$

$$F_{G1} = 6495,44 \text{ N} * \frac{1 \text{Kgf}}{9,81 \text{ N}}$$

$$F_{G1} = 662,124 \text{ Kgf} * \frac{0.001 \text{ Ton}}{1 \text{Kgf}}$$

$$F_{G1} = 0,662 \text{ Ton.}$$



**Gráfica 3-19.** Área de punzonado de la platina metálica 1 ½ pulgada de ancho por 1/8 de espesor.

**Fuente:** [El Autor].

$$F_{G2} = 104,09 \text{ mm}^2 * 49 \frac{N}{\text{mm}^2}$$

$$F_{G2} = 5100,41 \text{ N}$$

$$F_{G2} = 5100,41 * \frac{1\text{Kgf}}{9,81 \text{ N}}$$

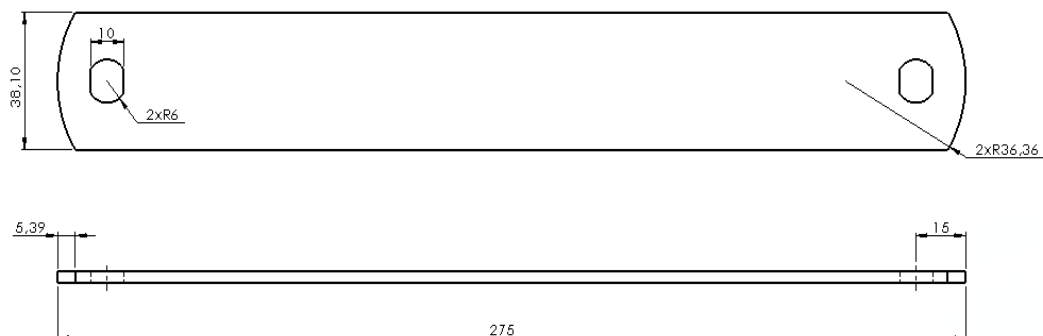
$$F_{G2} = 519,92 \text{ Kgf} * \frac{0.001 \text{ Ton}}{1\text{Kgf}}$$

$$F_{G1} = 0,519 \text{ Ton.}$$

#### 3.4.4 Determinación del centro de gravedad de la pieza troquelada.

Es importante determinar el centro de gravedad de los esfuerzos de corte, con el objeto de minimizar sobreesfuerzos que generan cortes defectuosos, deformación del punzón, rotura de las placas porta punzón y matrices lo que reduce la vida útil del utillaje. Para lo que se debe hacer coincidir los centros de gravedad de los elementos mencionados con el centro de gravedad calculado.

Para determinar el centro de gravedad del troquel se consideró las dimensiones finales de la pieza que será sometida a las operaciones de cizallado. En la Gráfica 3-20, se muestra la pieza que se requiere, para formar parte del ensamble de la estructura de los asientos que componen los buses TIPO y que fabrica la empresa Ingeniería del Acero y Matricería.



**Gráfica 3-20.** Dimensiones de la finales de la platina deseada.

**Fuente:** [El Autor].

La Tabla 3-8, describe los valores obtenidos mediante el software de dibujo mecánico, y que serán utilizados para el posicionamiento de los elementos que componen el troquel de corte y perforado.

**Tabla 3-8.** Determinación del centro de gravedad y momentos de inercia de la platina metálica 1 ½ pulgada de ancho y espesor 1/8.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Centro de gravedad con relación al origen del sistema de coordenadas de salida: (mm)</b>			
X = 137,5			
Y = 19.05			
Z = 1.59			
<b>Momentos de inercia, del área, en el centro de gravedad: (mm<sup>4</sup>)</b>			
Lxx = 31025.96	Lxy = 0.00	Lxz = 0.00	
Lyx = 0.00	Lyy = 1506993.62	Lyz = 0.00	
Lzx = 0.00	Lzy = 0.00	Lzz = 1537595.11	
<b>Momentos principales de inercia, del área, en el centro de gravedad: (mm<sup>4</sup>)</b>			
Ix = 31025.96			
Iy = 1506993.62			
Iz = 1537595.11			
Densidad	Masa	Volumen	Área superficie
0,01 gr/mm <sup>3</sup>	252,65 gr	32184,16 mm <sup>3</sup>	22440,30mm <sup>2</sup>

### 3.4.5 Selección de la máquina troqueladora.

La selección del equipo que permitió realizar el corte mediante la matriz que se diseñó en este trabajo se efectuó tomando en consideración la fuerza de corte calculada anteriormente, la fuerza de corte necesaria para realizar la perforación y el corte de la platina metálica tiene que ser menor a la capacidad que posee la máquina troqueladora. Para lo que se empleó la ecuación 3-6.

$$Q^i = [1,1 \text{ a } 1,2] * Q \quad \text{Ec. 3-6}$$

**Tabla 3-9.** Características técnicas de la máquina troqueladora disponible.

**Fuente:** [El Autor].

<b>DATOS Y CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA Y/O EQUIPO</b>		
<b>NOMBRE DE MÁQUINA Y/O EQUIPO</b> TROQUELADORA		<b>CÓDIGO</b> TR-02
<b>MARCA</b>	JOHNSON	<b>ESTADO INICIAL</b> BUENO <input checked="" type="checkbox"/> REGULAR <input type="checkbox"/> MALO <input type="checkbox"/>
<b>MODELO</b>	5	
<b>N° SERIE</b>	N/I	
<b>PROCEDENCIA</b>	USA	
<b>Año de fabricación</b>	N/I	
<b>DATOS DEL EQUIPO</b>		
<b>Voltaje</b>	220 V	
<b>Número de Fases</b>	3	
<b>Frecuencia</b>	60 Hz	
<b>Presión de golpe</b>	60 Ton	
<b>Dimensiones de la cama</b>	(32x 21) pulgadas	
<b>Carrera</b>	4 pulgadas	
<b>Golpes por minuto</b>	[40-45]	
<b>Motor</b>	5 Hp, 1725 RPM	
<b>Dimensiones de la maquina:</b>	Largo: 1.82 m Ancho: 2 m Alto: 2.59 m	
<b>Peso</b>	3 Toneladas	
<b>Función</b>	Acumular energía mediante un volante de inercia y transmitirla mecánicamente (prensa de revolución total) o neumáticamente (prensa de revolución parcial) a un troquel o matriz mediante un sistema de biela-manivela, para realizar perforaciones, cortes y doblado de elementos metálicos.	

$$Q^i = (1,2) * (Q_1 + Q_2)$$

$$Q^i = (1,2) * (27 + 16)Ton$$

$$Q^i = 51,6 Ton$$

Mediante este cálculo se estimó la fuerza en toneladas que debe ejercer la máquina troqueladora para cortar y/o perforar la platina metálica que se observa en la Gráfica 3-20. Es así que la máquina troqueladora marca JOHNSON 5 de capacidad 60 Toneladas, la que dispone la empresa INGENIERÍA del ACERO y MATRICERÍA cumple a satisfacción la capacidad de golpe para realizar el corte y perforado de la platina metálica.

En la Tabla 3-9, se detalla las características y datos técnicos de la troqueladora JOHNSON 5, que posee la empresa INGENIERÍA DEL ACERO Y MATRICERÍA, ubicada en el cantón Ambato, provincia de Tungurahua.

### **3.4.6 Características especiales para el cizallado**

Las operaciones con matrices requieren especial atención a factores y características que definen la funcionalidad del elemento de corte, estos aspectos se deben considerar de forma correcta a la hora de realizar el diseño del troquel, lo que garantizara el desempeño positivo y funcional del modelo diseñado. Caso contrario no se conseguirá realizar cortes con la mínima cantidad de rebaba en los bordes cortados. Las principales características se describen a continuación:

#### **3.4.6.1 Forma geométrica del punzón y matriz de cizallado**

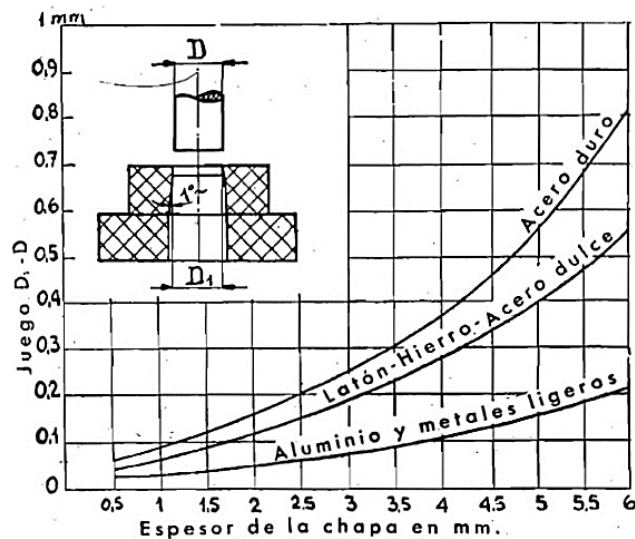
Para determinar la forma geométrica idónea del punzón y la matriz de corte, hay que considerar el espesor del material que va a ser cizallado, es decir que se deberá utilizar ángulos de cizallado en los punzones y matrices los que se diseñan en función del espesor de la placa metálica, dichos ángulos permiten reducir la fuerza necesaria al principio de la carrera de corte y disminuir el nivel de ruido que se produce cuando se realiza el proceso de cizallado. En la Gráfica 3-21, se puede observar detalladamente las geometrías más representativas de los elementos de corte.



**Gráfica 3-21.** Geometrías representativas para el proceso de cizallado [10].

### 3.4.6.2 Juego entre matriz – punzón

La calidad de la operación de troquelado y/o punzonado depende exclusivamente del juego que exista entre el punzón y la matriz de corte, que se evalúa con instrumentos de medida, esto en función de la complejidad geométrica que estos elementos posean es decir con formas geométricas simples será más fácil obtener los valores de tolerancia entre la matriz y el punzón, caso contrario se utilizan sistemas ópticos de aumentos lo que permite evidenciar los lugares que deben ser corregidos. Según Rossi. M. (1979), en su obra “Estampado en Frío de la Chapa Metálica”, el valor del juego entre la matriz y el punzón puede variar entre el [5 – 13] % el espesor de la chapa metálica. El juego existente entre las matrices y los punzones al igual que el término holgura se considera en función del espesor del material sometido al proceso de cizallado como se muestra en la Gráfica 3-22.



**Gráfica 3-22.** Curva para determinar el juego matriz-punzón en función del espesor de la chapa y tipo de material [10].

El juego entre la matriz y el punzón depende esencialmente de los siguientes factores:

- a) Tipo de material.
- b) Tipo de tratamiento térmico.
- c) Espesor y dimensiones de la placa metálica.
- d) Distancias entre cortes y bordes de los modelos de placa metálica.

Determinar el juego adecuado entre la matriz y el punzón permite garantizar la funcionalidad del diseño, así como prolongar la duración de las aristas de corte de las herramientas diseñadas, ya que en iguales condiciones holguras excesivas reducen aproximadamente el 65% de la vida útil del utillaje, y con holguras reducidas se reduce hasta el 85% la vida útil de la herramienta de corte [10].

### 3.4.6.3 Determinación del Juego entre la matriz y el punzón

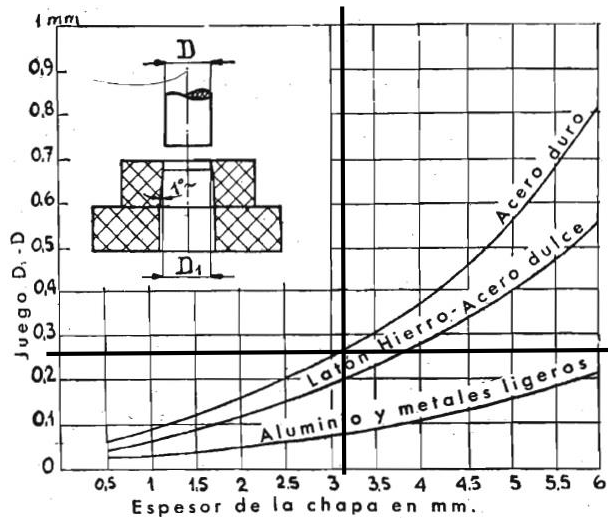
Los criterios a considerar para determinar el valor ideal del juego entre los elementos de corte del troquel se describen en la Tabla 3-10, tomando la gráfica 3-22, como referencia para la determinación del juego entre matriz y punzón la que establece un criterio de selección en función del tipo de material (Acero duro, acero dulce, latón, hierro, aluminio y metales ligeros), si tiene tratamiento térmico el componente y en función del espesor de la pieza a troquelar. Se trazó dos líneas perpendiculares entre sí, las que cortan en un punto en común, obteniendo así el valor del juego necesario entre la matriz y los punzones.

**Tabla 3-10** Criterios de selección del juego matriz-punzón.

**Fuente:** [Autor].

<b>Aspectos a considerar para determinar la holgura ideal eje agujero</b>	
<b>Factores</b>	<b>Características</b>
Tipo de material	Acero Duro
Tratamiento térmico	No
Espesor de componente metálico	3.175 mm (1/8 pulgada)





**Gráfica 3-23.** Selección de la holgura entre matriz-punzón [10].

Mediante la Gráfica 3-23, se puede determinar el valor de la holgura o juego entre la matriz y el punzón del troquel de corte y perforado a diseñar, que para este caso considerando el espesor de la platina y el tipo de material, Acero ASTM A36 (acero duro), será 0,26 mm este valor se debe considerar para el modelado y la fabricación de estos componentes.

$$\text{Juego matriz - punzón} = 0.26 \text{ mm}$$

### 3.4.7 Diseño de los componentes del troquel

El diseño de los componentes del troquel permite establecer criterios de aceptación que garanticen la vida útil del elemento, para la fabricación del utillaje de punzonado y troquelado se debe considerar los aspectos que se describen a continuación:

- a) Tipo de material, características físicas y mecánicas del material.
- b) Teorías de diseño.

#### 3.4.7.1 Diseño de punzones

Para diseñar los elementos que se utilizarán para el punzonado y troquelado de la platina metálica de dimensiones 1 ½ pulgada de ancho y 1/8 de pulgada de espesor

se debe considerar las teorías de diseño correspondientes ya que estos elementos son los que mayor inconveniente generan cuando se realizan las operaciones de cizallado. Del diseño adecuado de estos elementos se garantiza el correcto funcionamiento del troquel así como la máxima vida útil del diseño.

#### **a) Tipo de material**

Según las investigaciones y trabajos mencionados anteriormente, los punzones y elementos que realizan las operaciones de cizalladura, y demás operaciones de conformado se pueden construir con acero tipo herramienta AISI-SAE grupo D, cuando se realice trabajo de conformado en frío, las propiedades de este acero se describen con detalle en la Tabla 3-1. De las obras estudiadas se determinó que el acero de los punzones debe ser AISI-SAE D3 por las propiedades mecánicas, físicas y de maquinado que este acero presenta, resaltando además que la empresa Ingeniería del Acero y Matricería dispone de este tipo de acero en sus bodegas, la selección es la idónea para la construcción de estos elementos, así como el resto de componentes que posee el troquel.

#### **b) Teorías de Diseño**

##### **i. Longitud de pandeo**

Como se describió en el Capítulo II, esta teoría de diseño es muy utilizada para determinar la deformación que sufre un elemento cuando se aplica un esfuerzo sobre el componente.

$$P_{cr} = \frac{C * \pi^2 * E * I}{l^2} \quad \text{Ec. 3-7}$$

##### **ii. Condición de extremo de columna de Euler.**

La condición de extremo C, para el diseño que se seleccionó es la que describe la Gráfica 3-24, y cuya magnitud es de  $\frac{1}{4}$ , ya que este tipo de columna representa el esfuerzo que se aplica sobre los elementos del troquel de corte y perforado cuando se realiza las operaciones de cizallado.

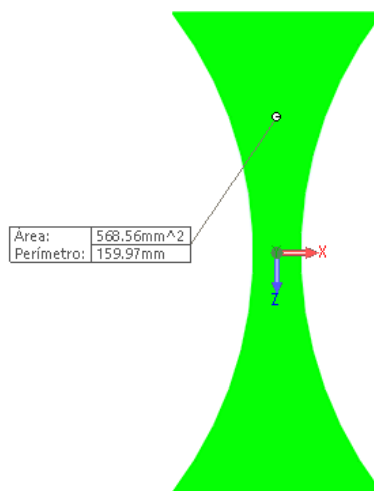


c)  $C = \frac{1}{4}$

**Gráfica 3-24.** Condición de extremo de punzones [5].

**iii. Momento de Inercia de los punzones**

Para aplicar la fórmula de columna de Euler se debe determinar los momentos de inercia de la sección transversal de los punzones que realizan las operaciones de cizallado. Para este caso se empleara dos punzones con secciones transversales como las que se describen a continuación:



**Gráfica 3-25** Sección trasversal punzón de troquelado.

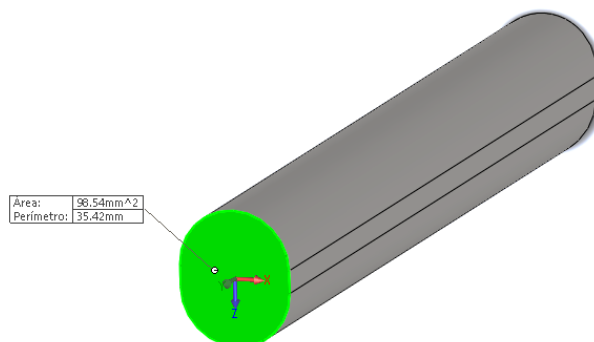
**Fuente:** [El Autor].

En la tabla 3-11, se resumen los datos obtenidos para el elemento de troquelado mediante un software de dibujo mecánico.

**Tabla 3-11.** Resumen de cálculos de M.I. y C.G del punzón de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Resumen de cálculos del elemento de Troquelado</b>	
Área	568,56 mm <sup>2</sup>
Perímetro	159,97 mm
Centro de gravedad respecto eje x	0 mm
Centro de gravedad respecto eje y	75 mm
Centro de gravedad respecto eje z	0 mm
Momento de Inercia del área en el C.G.	$L_{xx} = 191549,41 \text{ mm}^4$ $L_{yy} = 201412,27 \text{ mm}^4$ $L_{zz} = 9862,55 \text{ mm}^4$
Momento principal de inercia del área en el C.G.	$I_x = 9862,55 \text{ mm}^4$ $I_y = 191549,71 \text{ mm}^4$
Momento Polar de Inercia en C.G.	201412,27 mm <sup>4</sup>



**Gráfica 3-26.** Punzón de perforado.

**Fuente:** [El Autor].

Para el elemento de punzonado mostrado en la Gráfica 3-26, la longitud de pandeo se calculó considerando el momento de inercia de la sección transversal que se observa de color verde.

En la tabla 3-12, se resumen los datos obtenidos para el elemento de punzonado mediante un software de dibujo mecánico.

**Tabla 3-12.** Resumen de cálculos de M.I. y C.G del elemento de punzonado.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Resumen de cálculos del elemento de punzonado</b>	
Área	98,54 mm <sup>2</sup>
Perímetro	35,42 mm
Centro de gravedad eje x	0 mm
Centro de gravedad eje y	0 mm
Centro de gravedad eje z	0 mm
Momento de inercia eje x	657,54 mm <sup>4</sup>
Momento de inercia eje y	909,41 mm <sup>4</sup>

Para el análisis se consideró que la fuerza axial necesaria para realizar el corte es igual a la fuerza de corte calculada.

#### iv. Longitud de pandeo del punzón de corte

$$P_{cr1} = \frac{\left(\frac{1}{4}\right) (\pi^2) (210 \times 10^3) \frac{N}{mm^2} * \frac{1Kgf}{9.81 N} (191549,71) mm^4}{l^2}$$

$$P_{cr} = Q = \sigma_R * s * p$$

Para determinar la longitud de pandeo despejamos de la ecuación anterior el valor l, que representa la longitud máxima que puede tener nuestro punzón.

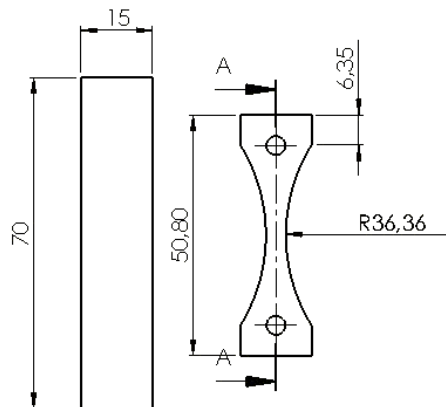
$$l = \sqrt{\frac{\frac{1}{4}(\pi)^2(E)(I)}{P_{cr1}}} \quad \text{Ec. 3.8}$$

$$l = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{4}\right) (\pi^2) (210 \times 10^3) \frac{N}{mm^2} * \frac{1Kgf}{9,81 N} (191549,71) mm^4}{26930,0325 Kgf}}$$

$$l = \sqrt{375694,35 mm^2}$$

$$l = 612,94 mm$$

La longitud máxima antes que se produzca la falla por pandeo es 612,94 mm, considerando que la longitud del punzón de troquelado no es superior a 100 mm es óptimo el diseño planteado de falla por pandeo. En la Gráfica 3-27, se observa las dimensiones base para el diseño del punzón.



**Gráfica 3-27.** Dimensionamiento de punzón de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

#### v. Factor de seguridad del punzón de troquelado

Para determinar la validez del diseño planteado se establece la siguiente ecuación que según J.K., Budynas R.G. y Nisbett, (2008) en su obra “Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley” permite relacionar la carga crítica de columna de Euler, con la fuerza cortante necesaria para cizallar la platina metálica como se describe en la ecuación 3-9.

$$F_S = \frac{P_{cr}}{Q} \quad \text{Ec. 3.9}$$

Donde:

$F_S$  = Factor de Seguridad

$P_{cr}$  = Carga critica de Euler

$Q$  = Fuerza cortante necesaria para la cizalladura.

$$P_{cr} = \frac{C * \pi^2 * E * I}{l^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\left(\frac{1}{4}\right) (\pi^2) (210 \times 10^3) \frac{N}{mm^2} * \frac{1Kgf}{9.81 N} (191549,71) mm^4}{(75mm)^2}$$

$$P_{cr} = 1798659,74 Kgf$$

Para determinar el factor de seguridad reemplazamos el valor de la ecuación de columna de Euler en la ecuación 3.7.

$$F_{S1} = \frac{1798659,74}{26930,0325}$$

$$F_S = 66,8 \cong 67 \rightarrow OK$$

#### vi. Longitud de pandeo del Elemento de Punzonado

$$P_{cr} = \frac{\frac{1}{4} * \pi^2 * E * I}{l^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\left(\frac{1}{4}\right) (\pi^2) (210 \times 10^3) \frac{N}{mm^2} * \frac{1Kgf}{9,81 N} (909,41) mm^4}{l^2}$$

$$P_{cr} = Q = \sigma_R * s * p$$

$$l = \sqrt{\frac{\frac{1}{4} (\pi)^2 (E) (I)}{P_{cr}}}$$

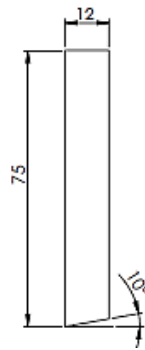
$$l = \sqrt{\frac{\left(\frac{1}{4}\right) (\pi^2) (210 \times 10^3) \frac{N}{mm^2} * \frac{1Kgf}{9,81 N} (909,41) mm^4}{15436,152 Kgf}}$$

$$l = \sqrt{3111,8 mm^2}$$

$$l = 55,78 mm$$

La longitud teórica de pandeo máxima del elemento de punzonado para realizar el perforado del agujero, es de 55,78 mm lo que es crucial ya que la longitud mínima del punzón es de 70 mm, el diseño del punzón será necesariamente muy estudiado para evitar la falla por pandeo de este elemento, la configuración geométrica del mismo permitirá soportar los esfuerzos generados en el proceso de corte, lo que se corroborara cuando se cree el modelo que permita optimizar el corte de la platina metálica mediante el método de Elementos Finitos (FEM).

En la Gráfica 3-28., se muestra las dimensiones básicas que debe tener el elemento de punzonado, para determinar un factor de seguridad que garantice que el diseño planteado es idóneo.



**Gráfica 3.28.** Dimensiones base del elemento de punzonado.

**Fuente:** [Autor].

**vii. Factor de Seguridad del elemento de punzonado**

$$F_{S2} = \frac{P_{cr}}{Q_2} \quad \text{Ec. 3.10}$$



$$P_{cr} = \frac{C \cdot \pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\left(\frac{1}{4}\right) (\pi^2) (210 \times 10^3) \frac{N}{mm^2} * \frac{1 Kgf}{9.81 N} (909,41) mm^4}{(70mm)^2}$$

$$P_{cr} = 8539,34 Kgf$$

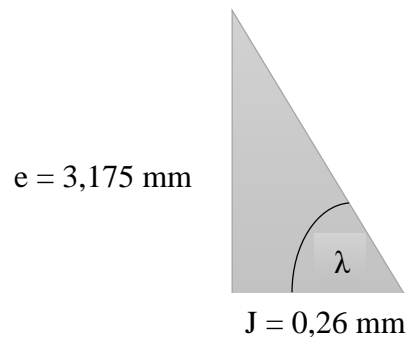
Para determinar el factor de seguridad reemplazamos el valor de la ecuación de columna de Euler en la ecuación 3.6.

$$F_s = \frac{8539,34}{15436,1529} \rightarrow F_s \cong 1$$

El factor de seguridad para el primer caso es satisfactorio, el segundo caso se debe considerar la forma geométrica del punzón y analizarla a fondo, la resistencia del modelo para obtener un factor de seguridad mayor que garantice la funcionalidad del diseño.

#### viii. Determinación de la fuerza transversal resultante por el corte

Se utilizó relaciones trigonométricas para determinar el ángulo de escape formado entre el espesor de la placa metálica y el juego matriz-punzón. Y mediante la determinación de este ángulo se evaluó la fuerza transversal resultante producida por el proceso de cizallado, como se observa en la gráfica 3-29.



**Gráfica 3-29.** Determinación del ángulo de escape.

**Fuente:** [El Autor].

$$\tan \lambda = \frac{co}{ca}$$

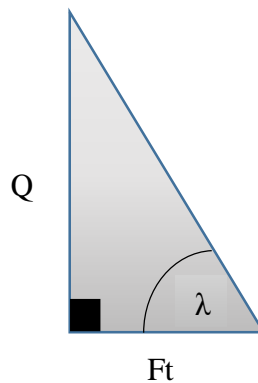
$$\tan \lambda = \frac{3,175}{0,26}$$

$$\tan \lambda = 12,212$$

$$\lambda = \tan^{-1} 12,212$$

$$\lambda = 85.32^\circ$$

El ángulo de escape  $\lambda$  es igual al ángulo del triángulo de fuerzas que intervienen en el proceso de corte, el triángulo representa la fuerza transversal en sentido axial que se origina por el corte. En la Gráfica 3-28, se representa el triángulo de fuerzas descrito.



**ix. Fuerza transversal originada por el punzón de troquelado**

$$\tan 85,32^\circ = \frac{co}{ca}$$

$$\tan 85,32^\circ = \frac{26930,0325}{F_{t1}}$$

$$F_{t1} = \frac{26930,0325}{\tan 85,32^\circ}$$

$$F_{t1} = 2204,6 \text{ Kgf}$$

**x. Fuerza transversal originada por el punzón de troquelado**

$$\tan 85,32^\circ = \frac{co}{ca}$$

$$\tan 85,32^\circ = \frac{Q_2}{F_{t2}}$$

$$F_{t2} = \frac{15436,1529}{\tan 85,32^\circ}$$

$$F_{t2} = 1263,7 \text{ Kgf}$$

Mediante este análisis se puede determinar el valor de la fuerza transversal en sentido axial  $F_t$  que resulta por acción del corte de la platina metálica de espesor 3.175 mm.

**3.4.7.2 Diseño de matrices**

De similar importancia que el diseño de punzones es el diseño de las matrices, ya que de estos elementos depende que el corte de la placa metálica sea adecuado y que los esfuerzos generados por el corte no deterioren los elementos de punzonado y troquelado. Usualmente se calcula el espesor de la matriz que es una magnitud que está en función de los esfuerzos de corte generados. A continuación se detalla el proceso de diseño.

**a) Tipo de material**

Para la fabricación de estos elementos se utilizó un acero indeformable al temple con la aplicación de tratamiento térmico posterior al mecanizado, también aceros con alto grado de dureza por lo que se utilizará el acero AISI-SAE D3, que cumple con las características necesarias para la construcción de estos elementos y además la empresa Ingeniería del Acero y Matricería dispone de este tipo de acero herramental en sus bodegas.

El diseño de los componentes del conjunto de troquelado y punzonado se realizó tomando como referencia las teorías de diseño presentadas en el capítulo II.

## b) Teorías de Diseño

### i. Cálculo del espesor de las matrices

Según J. Cruz., en su obra “Automatización de una Troqueladora y diseño de un troquel para fabricar arandelas de cobre”, estableció que para determinar el espesor de la placa matriz se debe emplear la ecuación 3-11. Así:

$$e_m = \frac{2}{5} * L \quad \text{Ec. 3-11.}$$

Donde:

$e_m$  = Espesor de la matriz. [mm]

L = Longitud del elemento de punzonado. [mm]

### ii. Espesor de la matriz de troquelado

$$e_{m1} = \frac{2}{5} * L$$

$$e_{m1} = \frac{2}{5} * (75)mm$$

$$e_{m1} = 30 \text{ mm}$$

### iii. Espesor de la matriz de punzonado

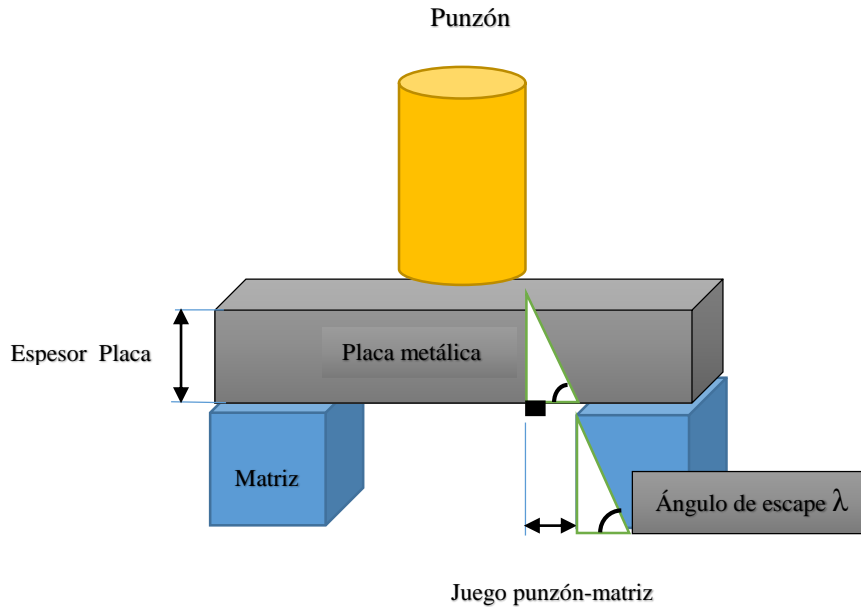
$$e_{m2} = \frac{2}{5} (75)mm$$

$$e_{m2} = 30 \text{ mm}$$

### iv. Determinación del ángulo de escape

Debido a la acción de corte, el material removido de la placa metálica sufre un fenómeno denominado fleje, este quiere decir que el material se recupera elásticamente después de ser cortado. Por este motivo se diseña la matriz con un ángulo de inclinación que permita una geometría en forma de cono invertido y que facilite la expulsión del material que se deposita en la matriz cuando se corta [11].

En la gráfica 3-30, se observa la configuración del ángulo de escape y las relaciones trigonométricas que lo conforman.



**Gráfica 3-30.** Ángulo de escape de la matriz.

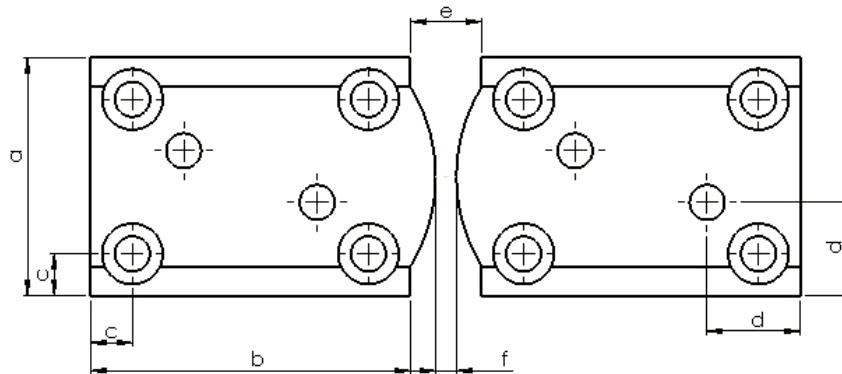
**Fuente:** [El Autor].

Se determinó el valor del ángulo de escape en la matriz mediante la recomendación de que el valor para el ángulo de escape en la matriz esté comprendido entre  $[1^\circ - 3^\circ]$ . La selección para este diseño fue de  $3^\circ$  con la finalidad de facilitar la extracción del material cortado considerando que el material cizallado se depositara dentro de las matrices este valor es idóneo para facilitar su extracción, por lo que debe ser tomado en cuenta para la construcción de estos elementos.

#### v. Dimensionamiento de las matrices

El dimensionamiento de las elementos de cizallado debe considerar el valor del juego entre la matriz y el punzón determinado en el apartado 3.4.6.3 y el ángulo de escape  $\lambda$  determinado anteriormente lo que hará que las geometrías de las matrices tengan una forma de cono invertido y una holgura adecuada que garantice el funcionamiento y vida útil de los elementos de corte y punzonado, en general del troquel diseñado. La gráfica 3-31, muestra el dimensionamiento de la placa matriz para el proceso de corte y punzonado.

**a) Matriz de troquelado**



**Gráfica 3-31.** Dimensionamiento de la placa matriz de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

Donde:

**a** = ancho de la matriz.

**b** = largo de la matriz.

**c** = distancia de extremo al centro del diámetro de los pernos Allen. 1,7 a 2 veces el tamaño de la cavidad más grande de la matriz.

**d** = distancia de extremo al centro del diámetro de los pasadores  $\frac{3}{4} e_m$ , Espesor de la matriz si  $e_m \geq 20mm$

**e** = distancia del ancho del punzón considerando el juego matriz-punzón.

**f** = distancia de separación entre matrices.

**i. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pernos**

$$c = 1.7(7.63)$$

$$c = 12.971 \text{ mm}$$

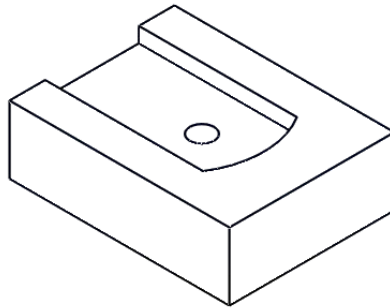
**ii. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pasadores**

$$d = \frac{3}{4} e_m \text{ si } e_m \geq 20\text{mm}, d = \frac{3}{4} (28) \text{ mm}$$

$$d = 21 \text{ mm}$$

**b) Matriz de punzonado**

En la Gráfica 3-32, se muestra la matriz de punzonado, y su geometría básica para el cálculo de las distancias donde se ubicará los pernos tipo Allen y los pasadores de posicionamiento y sujeción.



**Gráfica 3-32.** Geometría de la matriz de punzonado.

**Fuente:** [El Autor].

**i. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pernos**

$$c = 1.7(9.36)$$

$$c = 16 \text{ mm}$$

**ii. Distancia de extremo al centro del diámetro de los pasadores**

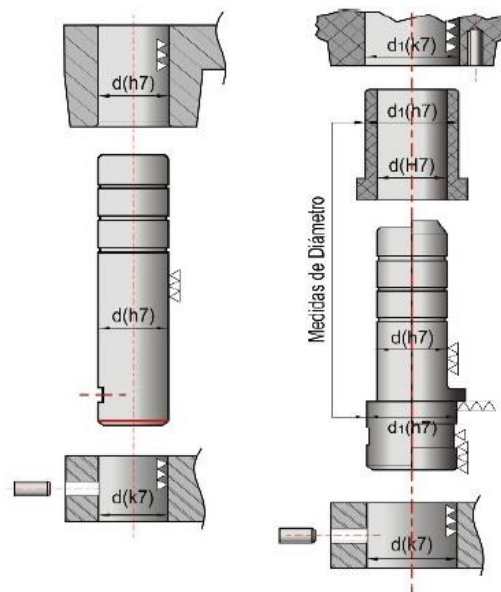
$$d = \frac{3}{4} e_m \text{ si } e_m \geq 20\text{mm}$$

$$d = \frac{3}{4} (28) \text{ mm}$$

$$d = 21 \text{ mm}$$

### 3.4.7.3 Diseño de las columnas guía

Como se mencionó en las secciones anteriores el diseño de las columnas guía tiene como objetivo principal proporcionar al utillaje de corte la alineación ideal para evitar que se generen sobreesfuerzos y averías además permite que se disipen los esfuerzos tangenciales axiales producidos cuando se corta la platina metálica. El valor de tolerancia y acabado superficial entre las columnas y los bujes guía son aspectos de gran importancia ya que del correcto diseño y construcción de estos elementos depende el correcto funcionamiento del troquel, alineación y holgura adecuada serán los criterios seleccionados para realizar el diseño de estos elementos. En la Gráfica 3-33, se muestra la configuración recomendada para la construcción y modelado de estos elementos [12].



**Gráfica 3-33** Tolerancias y acabado superficial recomendado para columnas y bujes guía [12].

#### a) Tipo de material

Este tipo de elementos requieren ser construidos con acero resistente al desgaste debido a que estarán en constante contacto, es decir estos elementos permiten el desplazamiento de la parte móvil del troquel sobre la parte fija, el acero AISI – SAE 4340 es un acero bonificado al Cr-Ni-Mo que posee alta resistencia a procesos de

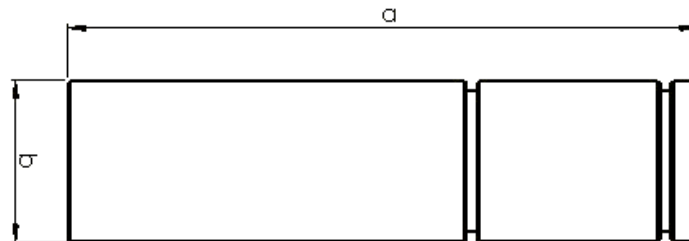


tracción, flexión y torsión, posee una dureza de [240 - 380]HB pre templado, este acero cumple con los requerimientos mecánicos y físicos necesarios para la construcción de las columnas guía.

## b) Teorías de Diseño

### i. Dimensionamiento de las columnas guía

El dimensionamiento de estos elementos está diseñado considerando las dimensiones de los punzones, espesores de matrices y placas base superior e inferior, esto se realiza de tal forma que no se genere contacto entre las columnas guía y la parte móvil de la prensa. En la gráfica 3-34 se muestra el dimensionamiento de las columnas guía.



**Gráfica 3-34.** Dimensiones de las columnas guía.

**Fuente:** [El Autor].

Donde:

**a** = Altura de la columna [70 - 100] mm.

**b** = Diámetro de la columna [25 - 50] mm.

Para este diseño se utilizó los valores mínimos del rango recomendado por A. Florit (2016), considerando que no se realizan cortes complejos y que este tipo de elementos atenúan las cargas laterales que se generan en el proceso de corte y/o perforado de la platina metálica, se recomienda tener una lubricación adecuada para alargar la vida útil del troquel.

### 3.4.7.4 Diseño de las placas porta punzón

Las placas porta punzones son elementos que alojan a los punzones y permiten la sujeción de estos elementos a la placa superior del troquel, todo el conjunto permite el movimiento rectilíneo–alternativo que realiza la máquina prensadora para ejecutar las operaciones de cizallado. La industria matricera respecto a este tema presenta criterios divididos, ya que para asegurar la sujeción del punzón a la placa porta punzón existen dos métodos los que presentan ventajas y desventajas [12], las que se describen en la Tabla 3-13.

**Tabla 3-13.** Métodos de sujeción de los punzones en las placas porta punzón.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Métodos de sujeción de los elementos de corte en los porta punzones.</b>			
<b>Ajuste</b>		<b>Ajuste deslizante (holgura ligera)</b>	
Pernos Tornillos Apriete con golpe	Rotura de los elementos del utillaje. Deficiente alineación entre los elementos del utillaje.	Holgura ligera	Evita rotura de los elementos. Minimiza la alineación deficiente entre elementos. No debe realizarse en elementos de gran tamaño.

#### a) Tipo de material

El material que se recomienda para la construcción de este elemento es un acero suave es decir de dureza menor a la de los elementos de corte para que permita atenuar a absorber los esfuerzos generados por la operación de corte, además no se requiere de un proceso de tratamiento térmico para este elemento. El acero más empleado para el desarrollo de las placas porta punzones es el acero AISI SAE 1010, por su factibilidad de maquinado que posee y demás características mecánicas que hacen que sea de fácil elección para esta aplicación.

## b) Teorías de Diseño

### i. Espesor de la placa porta punzón

El espesor de la placa porta punzón según A. Florit (2016), se calcula en función de la longitud de punzones y elementos de corte, para lo que utiliza la ecuación 3-12.

$$e_{portapunzón} = 0,25(L) \quad \text{Ec. 3-12.}$$

Donde:

$e_{portapunzón}$  = espesor de la placa porta punzón

$L$  = Longitud del punzón

### ii. Espesor de la placa porta punzón del punzón de troquelado

$$e_{portapunzón} = 0,25(L)$$

$$e_{portapunzón1} = 0,25(75)mm$$

$$e_{portapunzón1} = 18,75 \approx 19 \text{ mm}$$

### iii. Espesor de la placa porta punzón del elemento de punzonado

$$e_{portapunzón} = 0,25(L)$$

$$e_{portapunzón2} = 0,25(75)mm$$

$$e_{portapunzón2} = 19 \text{ mm}$$

#### 3.4.7.5 Diseño de las placas inferior y superior del troquel

Estos elementos permiten la sujeción de los componentes de menor tamaño: punzones, porta punzones, matrices, placas guía, mediante tornillos y pernos que se alojan en las cavidades diseñadas para cada elemento y que son roscadas a las placas tanto superior e inferior.

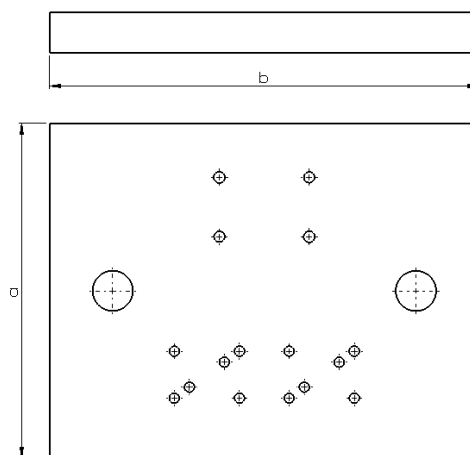
### a) Tipo de material

Para el diseño y construcción de este elemento se utiliza acero suave que posteriormente no requiere de tratamiento térmico, según A. Florit., se recomienda usar este tipo de acero debido a las operaciones de mecanizado que se realizarán en las placas tanto superior como inferior, cabe resaltar que se realizarán agujeros para las uniones roscadas, para la eliminación del material cizallado y para los elementos de posicionamiento que permitan la sujeción del troquel.

### b) Teorías de Diseño

#### i. Dimensionamiento de las placas base superior e inferior

El dimensionamiento de estos elementos depende de la longitud de las matrices, porta matrices y elementos que componen el troquel, según A. Florit, en su obra “Tratado de matricería” las dimensiones de estos elementos no varían, salvo en casos donde necesariamente se requiera disminuir las dimensiones de la placa superior. Los espesores de estos elementos oscilan entre [20 – 50] mm, cuando no se utiliza casquillos (bujes) guía y [30 – 60] mm, cuando se emplean casquillos y columnas guía [12]. En las gráficas 3-35 y 3-36, se muestra el dimensionamiento de las placas inferior y superior del troquel respectivamente.



**Gráfica 3-35.** Dimensionamiento de la placa base inferior.

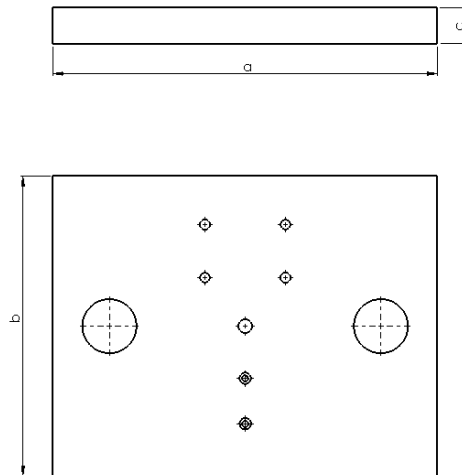
**Fuente:** [Autor].

Donde:

**a** = Ancho de la placa base inferior

**b** = Largo de la placa base inferior

**c** = espesor de la placa base inferior



**Gráfica 3-36.** Dimensionamiento de la placa base superior.

**Fuente:** [Autor].

#### **3.4.7.6 Diseño del vástago o espiga de sujeción**

Este elemento permite la sujeción de la parte móvil del troquel en la cabeza de la máquina prensadora, dicha sujeción se realiza mediante métodos de roscado, atornillado o remachado dependiendo del tamaño del utillaje. Para los troqueles pequeños según A. Florit., se recomienda utilizar uniones roscadas entre la placa superior y la espiga de sujeción, el diseño de la rosca recomienda sea de paso fino para asegurar e incrementar la resistencia de sujeción del elemento móvil del troquel.

Se considera como un factor de especial importancia la posición del vástago de sujeción sobre la placa base superior ya que evita desalineamiento de las masas en movimiento y esfuerzos laterales producidos por la operación de corte. Se debe determinar la posición del centro de gravedad desarrollado por las fuerzas de corte, lo que se consigue de tres formas según el autor.

- Mediante el trazado de un polígono funicular
- Analíticamente (Teorema de Varignon)
- Mediante el uso de software de CAD.

**a) Tipo de material del vástago de sujeción**

Existen elementos de sujeción normalizados que son comercializados por los fabricantes, pero se recomienda la utilización del acero AISI – SAE 4340, debido a las propiedades mecánicas y elevada resistencia al desgaste que este tipo de acero presenta.

**b) Teorías de Diseño**

**i. Dimensionamiento del vástago de sujeción**

Para el dimensionamiento de este elemento según A. Florit., se debe considerar la capacidad de la máquina prensadora, es decir el diámetro del vástago de sujeción estará en función de la capacidad de la prensa que se utilizará para realizar la operación de cizallado. En la tabla 3-14., se detalla los valores de diámetro del vástago en función de la capacidad de la prensa.

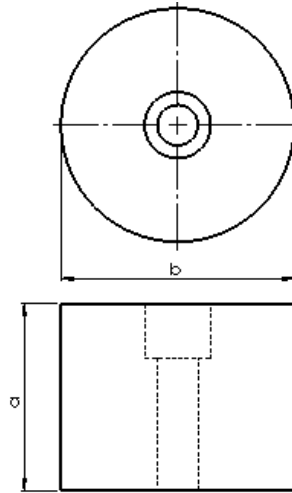
**Tabla 3-14.** Diámetro recomendado para el vástago [12].

<b>Diámetro recomendado para el vástago de sujeción</b>								
<b>Capacidad de la máquina (T)</b>	5	8	10	15	20	30	40	60
<b>Ø del vástago</b>	25	25	30	35	35	40	40	45

La prensa JOHNSON 5, disponible en la empresa Ingeniería del Acero y Matricería tiene la capacidad de golpe de 60 Toneladas por lo que el diámetro del vástago de sujeción sera:

$$\varnothing \text{ vástago} = \text{Interpolando} \begin{array}{cc} 40 & 40 \\ 45 & x \\ 60 & 45 \end{array} = 41,25 \text{ mm}$$

Mediante al análisis anterior se considera apropiado construir un vástago con un diámetro que este comprendido entre [40 – 50]mm, considerando las teorías de diseño planteadas. En la gráfica 3-37, se muestra el dimensionamiento del vástago de sujeción para el troquel diseñado.



**Gráfica 3-37.** Dimensionamiento del vástago de sujeción.

**Fuente:** [El Autor].

Donde:

**a** = Altura del vástago

**b** = Diámetro del vástago se recomienda  $\approx 42$  mm

### **3.4.8 Análisis de esfuerzos y deformaciones de los elementos de corte y perforado utilizando el Método de Elementos Finitos.**

Este trabajo permitió desarrollar un modelo mediante el método de Elementos Finitos para optimizar el proceso de troquelado y punzonado de platina metálica de espesor 1/8 de pulgada, para realizar este análisis se empleó ANSYS Academic y LS-DYNA, por tratarse de un análisis dinámico explícito que comprende el estudio de fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones que aparecen en una estructura o mecanismo.

### **3.4.8.1 Metodología para el análisis de esfuerzos y deformaciones mediante el Método de Elementos Finitos.**

Para determinar los esfuerzos generados por el corte de los elementos metálicos se procederá a utilizar un software de Elementos Finitos, mediante el que se garantizará que los elementos diseñados sean funcionales.

Independientemente del tipo de proyecto que se desee implementar la metodología para la utilización de la técnica de Elementos Finitos puede resumirse en cuatro etapas, las que se describen a continuación:

- a) Elaboración de la geometría de los elementos (CAD).
- b) Elaboración del modelo mediante Elementos Finitos.
- c) Solución del modelo de Elementos Finitos
- d) Análisis del resultado obtenido.

#### **a) Elaboración de la Geometría**

Para la construcción del modelo geométrico es necesario utilizar software de dibujo mecánico CAD, que permita obtener la geometría deseada y que garantice que el modelo tridimensional sea adecuado para la siguiente etapa de análisis mediante el método de Elementos Finitos, es decir que la geometría dibujada permita obtener condiciones que faciliten la obtención de datos en el proceso de simulación.

#### **b) Elaboración del modelo mediante el método de Elementos Finitos.**

El método de Elementos Finitos permite discretizar el modelo geométrico descrito anteriormente, descomponiendo dicho elemento en pequeñas porciones de material a las que se les da el nombre de malla, el mallado del elemento permite obtener la precisión de resultados es decir entre más fino sea el mallado, más efectivos son los resultados. La malla del modelo se representa con ecuaciones diferenciales parciales las que el software resuelve para determinar los esfuerzos y deformaciones del modelo.



Para el desarrollo del modelo mediante el método de Elementos Finitos hay que considerar dos aspectos importantes, los que garantizan la validez del análisis y resultados obtenidos.

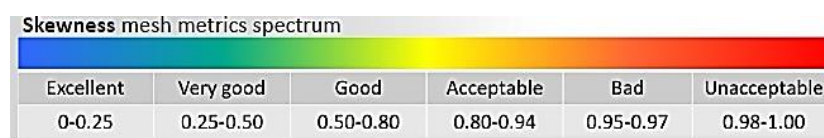
- Geometría
- Calidad de Malla

El primer apartado hace referencia a la verificación del modelo geométrico, es decir que este modelo no posea interferencias, caras superpuestas, caras incorrectas o elementos que no estén completamente definidos, cabe resaltar que para el análisis en el software de elementos finitos se recomienda eliminar de las geometría analizadas los redondeos o chaflanes los que limitan la calidad de malla y consumen mayor cantidad de recursos del computador, lo que no implica que los resultados obtenidos cambien o varíen considerablemente. La Gráfica 3-38, muestra algunos parámetros que se analizan en la geometría del componente que será sometido al análisis mediante el método de Elementos Finitos.



**Gráfica 3-38.** Parámetros de análisis de la geometría previo a la aplicación del método de Elementos Finitos [13].

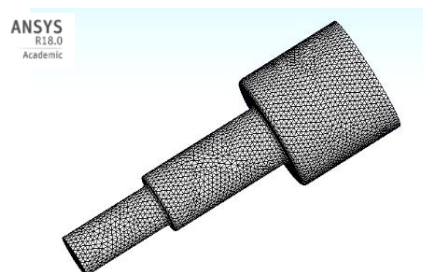
El parámetro calidad de malla es de trascendental importancia en el análisis mediante el método de Elementos Finitos, es así como mediante la ponencia establecida por ANSYS Inc., se evidencia los parámetros de calidad de malla que garantizan la efectividad del análisis realizado. En la gráfica 3-39, se muestra el primer parámetro que se utilizó para la evaluación de la calidad de malla en este análisis. El parámetro Skewness es una de las principales medidas de calidad para una malla y determina qué tan cerca del ideal se encuentra el mallado.



**Gráfica 3-39.** Parámetros de Calidad de Malla [13].

El segundo parámetro de análisis de calidad de malla utilizado se denomina “Element Quality”, esta opción de calidad de malla proporciona una métrica que se basa en la relación entre el volumen y la suma del cuadrado de las longitudes de los bordes de los elementos cuadriláteros o triángulos en 2 dimensiones o la raíz cuadrada del cubo de la suma del cuadrado de las longitudes de los bordes para los elementos en 3 dimensiones. Un valor de 1 indica un cubo o cuadrado perfecto, mientras que un valor de 0 indica que el elemento tiene un volumen cero o negativo. Para este caso entre más próximo a 1 se encuentre el valor del parámetro Element Quality, la calidad del elemento será óptima.

El tercer parámetro de análisis que se utilizó para garantizar la calidad del mallado del modelo que se diseñó se denomina “Aspect Ratio”, que se relaciona con el grado de estiramiento que poseen los elementos de malla. La medida más relevante de la relación de aspecto implica la relación de las áreas de superficie del punto de integración máximo a mínimo en todos los elementos. Los valores del volumen de control se calculan como el máximo de todas las proporciones de aspecto de los elementos adyacentes al nodo. Para elementos hexaédricos, la relación de aspecto se define como el tamaño del borde mínimo del elemento entre el tamaño del borde máximo del elemento. Los valores están escalados y el rango predeterminado de valores es 1-20, de modo que una relación de aspecto de 1 indica un elemento regular. Para determinar la calidad de los elementos de malla se recomienda que el valor de Aspect Ratio sea  $\leq$  a 5. En la gráfica 3-40, se observa el mallado de un elemento mecánico, mediante la aplicación de los parámetros descritos anteriormente se garantiza la efectividad de la simulación.

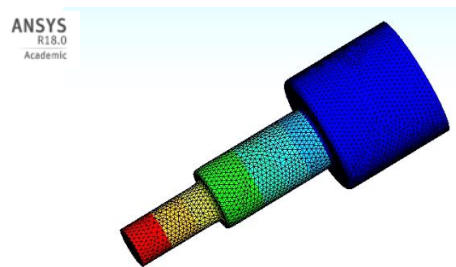


**Gráfica 3-40.** Mallado de un Modelo de Elementos Finitos.

**Fuente:** [El Autor].

### c) Solución del modelo de Elementos Finitos.

Mediante la solución de las ecuaciones diferenciales parciales el software de Elementos Finitos permite determinar los esfuerzos y deformaciones producidas por la aplicación de la fuerza de corte sobre la platina metálica. En la gráfica 3-41, se observa un elemento mecánico sometido al análisis de esfuerzos y deformaciones mediante el método de Elemento Finitos.

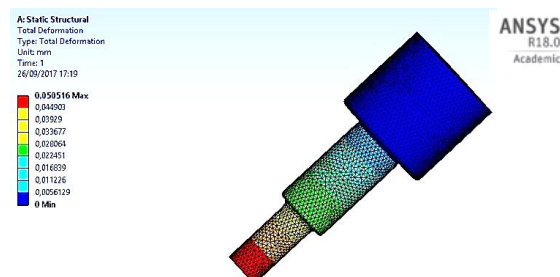


**Gráfica 3-41.** Análisis de deformación por Elementos Finitos.

**Fuente:** [El Autor].

### d) Análisis de resultados obtenidos mediante el análisis por Elementos Finitos.

El paso final es la interpretación de resultados obtenidos mediante el análisis por Elementos Finitos, el que permite determinar si el diseño es adecuado, obteniendo factor de seguridad del modelo por el teorema de Von Mises. En la gráfica 3-42, se observa un elemento mecánico y la deformación que posee después de haber aplicado una fuerza sobre dicho componente mediante un análisis por el método de Elementos Finitos.



**Gráfica 3-42.** Representación de deformaciones de un elemento mecánico.

**Fuente:** [El Autor].

### **3.4.8.2 Análisis de esfuerzos y deformaciones del punzón de corte mediante el método de Elementos Finitos.**

Para determinar los esfuerzos a los que está sometido este elemento se procederá como se describió en el literal 3.4.8.1 donde partiendo de la geometría, se analizó las cargas a las que estará sometido este elemento.

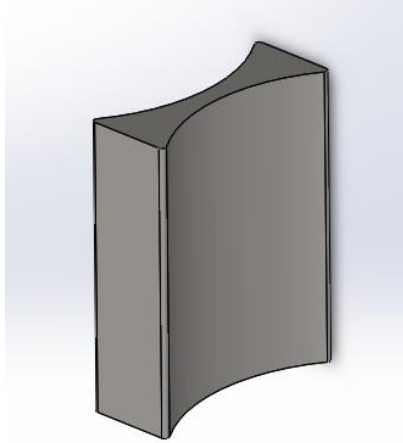
Para el punzón de corte se debe considerar que la resistencia al corte del acero estructural ASTM A36 que como se evidenció en la Tabla 3-7, está comprendida en un rango de  $[41-56] \frac{Kg}{mm^2}$  este valor será el resultante opuesto a la fuerza ejercida para realizar el corte del acero ASTM A36,

$$48,5 \frac{Kg}{mm^2} \frac{1MPa}{0,101972 \frac{Kg}{mm^2}} = 475,621 MPa$$

Una vez identificado el esfuerzo de corte que presenta el acero ASTM A36, para analizar los esfuerzos y deformaciones que ocurren cuando se realiza el troquelado de la platina metálica de espesor 3.175 mm, se debe utilizar la metodología descrita en el apartado 3.4.8.1.

#### **a) Desarrollo del modelo para el punzón de corte mediante software de dibujo mecánico.**

La creación de un modelo (geometría) que cumpla con los requerimientos necesarios para realizar el corte de la platina metálica se realizó mediante un software de dibujo mecánico, en el que se modelaron las dimensiones y formas específicas que son requeridas por la empresa Ingeniería del Acero y Matricería. En la Gráfica 3-43, se muestra la geometría del punzón de corte, este elemento necesariamente debe tener la forma que se visualiza para cumplir con las especificaciones y requerimientos de la empresa beneficiaria. Las dimensiones de esta pieza se muestran en el anexo 1, este elemento fue analizado mediante el método de Elementos Finitos con el fin de desarrollar una geometría que permita optimizar el esfuerzo de corte generado como se detalla más adelante.



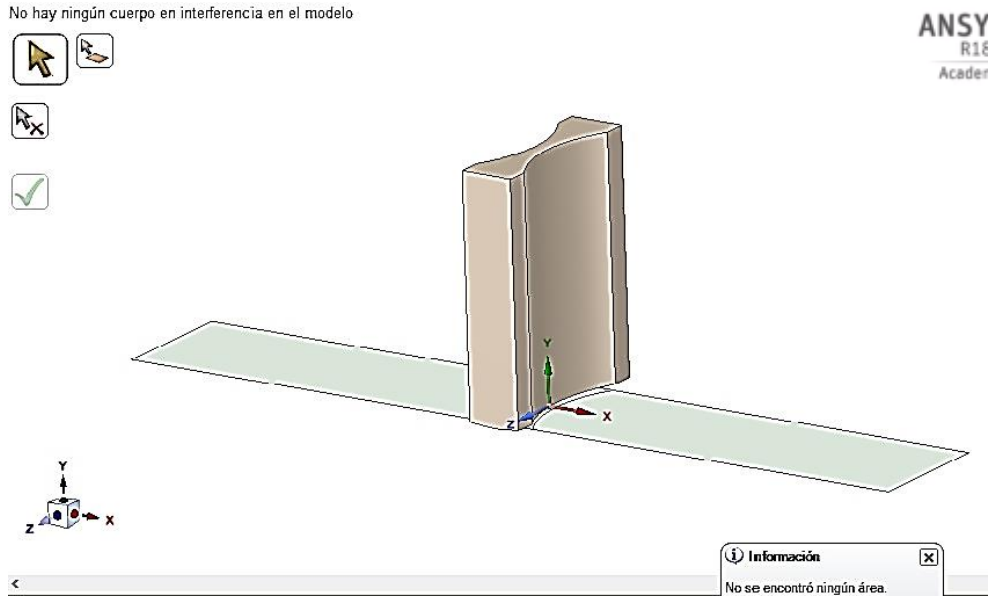
**Gráfica 3-43.** Modelo (geometría) del punzo de corte.

**Fuente:** [El Autor].

**b) Elaboración del modelo de Elementos Finitos para el punzón de corte.**

Para el modelado mediante el método de Elementos Finitos se debe considerar dos aspectos para garantizar que el análisis realizado sea correcto, por lo que es de gran importancia seleccionar el tipo de elemento que se utilizará para modelar los componentes de troquelado, los punzones de corte y perforado presentan un comportamiento rígido, mientras que la platina metálica debe ser flexible, por lo que se recomienda utilizar elementos de tipo SOLID (186), que es un elemento sólido 3-D de 20 nodos, con comportamiento de desplazamiento cuadrático que permite plasticidad, hiperelasticidad, fluencia, rigidez por estrés, gran desviación y grandes capacidades de deformación y formulación mixta para simular deformaciones de materiales elastoplásticos.

La gráfica 3-44, describe la verificación de la geometría o modelo matemático creado mediante un software de dibujo mecánico, se comprueba que el modelo no posea caras duplicadas, interferencias entre aristas, caras incorrectas y/o separación entre las caras de cada elemento del modelo.



**Gráfica 3-44.** Verificación del modelo geométrico del punzón de corte.

**Fuente:** [El Autor].

El siguiente paso es entrelazar la geometría analizada previamente con el software que permitirá aplicar el método de Elementos Finitos a nuestro punzón de corte. Para lo que se estableció el siguiente proceso.

- a) Proporcionar al software los datos de los materiales empleados para el análisis, en nuestro caso los punzones son modelados con el material AISI SAE D3, más conocido como acero de Grado Herramienta BOHLER K100 y el acero ASTM A36 que es el material de la platina metálica que será cortada. El software posee un apartado en Engineering Data que se denomina “Multilinear Isotropic Hardening” el que permite ingresar los datos de esfuerzo-deformación, Plastic Strain [ $mm^{-1}$ ] vs Strees [MPa] adquiridos mediante un ensayo de Tracción. Para nuestro caso se sometió el acero BOHLER K100 a ensayos de tracción y flexión para determinar las propiedades mecánicas que este material posee.

La Tabla 3-15., muestra los valores que se utilizaron para representar la curva para el acero ASTM A36, estos datos fueron obtenidos de trabajos investigativos previos a este trabajo.

**Tabla 3-15.** Effective Plastic Strain ( $mm^{-1}$ ) vs Stress (MPa) para el acero ASTM A36.

**Fuente:** [El Autor].

<b>ACERO ASTM A36</b>	
<b>Effective Plastic Strain (<math>mm^{-1}</math>)</b>	<b>Stress (MPa)</b>
0	336,5952
0,01	336,69
0,0182	336,89
0,03	352,4918
0,05	380,1383
0,1	428,5195
0,125	442,3427
0,15	456,1659
0,193043	466,5333

Para el acero AISI SAE D3 mediante los datos obtenidos en el ensayo de tracción realizado se obtuvieron los siguientes datos:

**Tabla 3-16.** Effective Plastic Strain ( $mm^{-1}$ ) vs Stress (MPa) para el acero AISI - SAE D3.

**Fuente:** [El Autor].

<b>AISI SAE D3 (BOHLER K100)</b>	
<b>Effective Plastic Strain (<math>mm^{-1}</math>)</b>	<b>Stress (MPa)</b>
0	715
0,09713	715,27
0,11757	740,27
0,138	766,36
0,1584	795,36
0,1789	815,36
0,1993	827,56
0,23474	831,56

Con los valores descritos en la Tabla 3-15, se obtuvo la curva, Plastic Strain vs Stress para el acero ASTM A36 mediante el software de elementos Finitos, información que se necesitó para caracterizar el comportamiento de un material nuevo en el software, como se observa en la Gráfica 3-44. El mismo procedimiento se realizó mediante los valores obtenidos en el ensayo mecánico de Tracción para la curva “Plastic Strain vs Stress” que se observa en la Gráfica 3-45. Plastic Strain ( $mm^{-1}$ ) vs Stress (MPa) para el material Acero BOHLER K100.

La gráfica 3-45, muestra los datos ingresados en el software, partiendo que se trata de un análisis de elasticidad isotrópico, en el que se utilizó la opción “Multilinear Isotropic Hardening” para ingresar los datos obtenidos mediante el ensayo de flexión para el acero AISI SAE D3 y por investigación para el hacer ASTM A36, además se estableció un criterio de falla por deformación plástica para la platina metálica “Plastic Strain Failure” que se utiliza para modelar fallas dúctiles en materiales. El inicio de la falla se basa en la tensión plástica efectiva en el material que se calcula mediante la ecuación 3-20. Así:

$$TPS = \ln(1 + \epsilon_{nom}) - \frac{\sigma_{real}}{E}$$

Donde:

TPS = Deformación Plástica Verdadera (True Plastic Strain).

$\epsilon_{nom}$  = Deformación Plástica nominal.

$\sigma_{real}$  = Esfuerzo real de fluencia.

$E$  = Módulo de Elasticidad.

$$TPS = \ln(1 + 0,19304) - \frac{466,53}{2 * 10^5}$$

$$TPS = 0,17$$

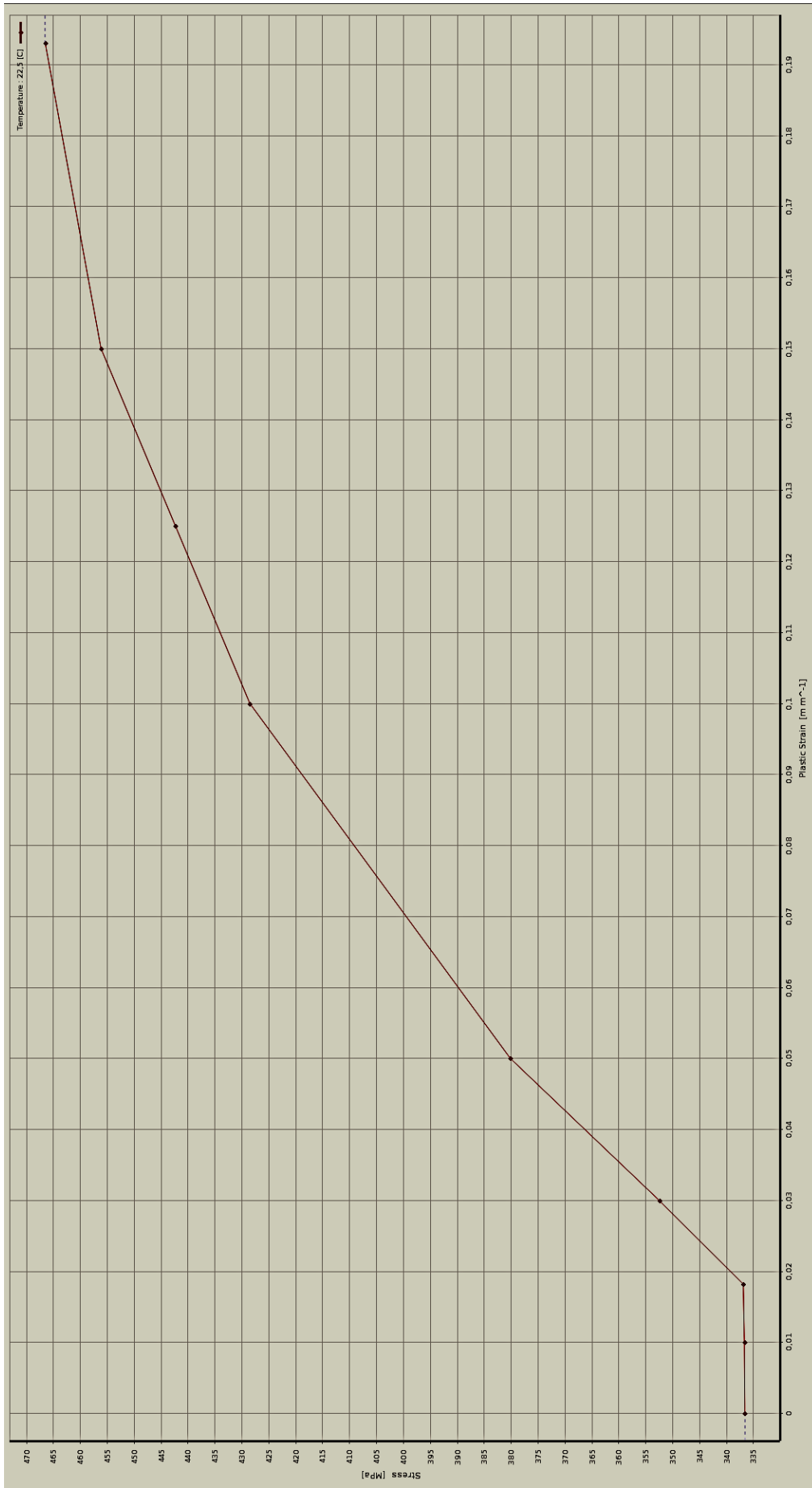


	A	B	D
1	Contents of Engineering Data		Description
2	Material		
3	AISI SAE D3		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
4	Structural Steel		Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1
Properties of Outline Row 4: Structural Steel			
	A	B	C
1	Property	Value	Unit
2	Density	7850	kg m...
3	Isotropic Elasticity		
4	Derive from	Young's Modulus a...	
5	Young's Modulus	2E+11	Pa
6	Poisson's Ratio	0,3	
7	Bulk Modulus	1,6667E+11	Pa
8	Shear Modulus	7,6923E+10	Pa
9	Field Variables		
10	Temperature	Yes	
11	Shear Angle	No	
12	Degradation Factor	No	
13	Multilinear Isotropic Hardening	Tabular	
14	Scale	1	
15	Offset	0	MPa
16	Isotropic Thermal Conductivity	60,5	W m...
17	Specific Heat	434	J kg...
18	Plastic Strain Failure		
19	Maximum Equivalent Plastic Strain EPS	0,17	

**Gráfica 3-45.** Datos de las propiedades de los materiales utilizados.

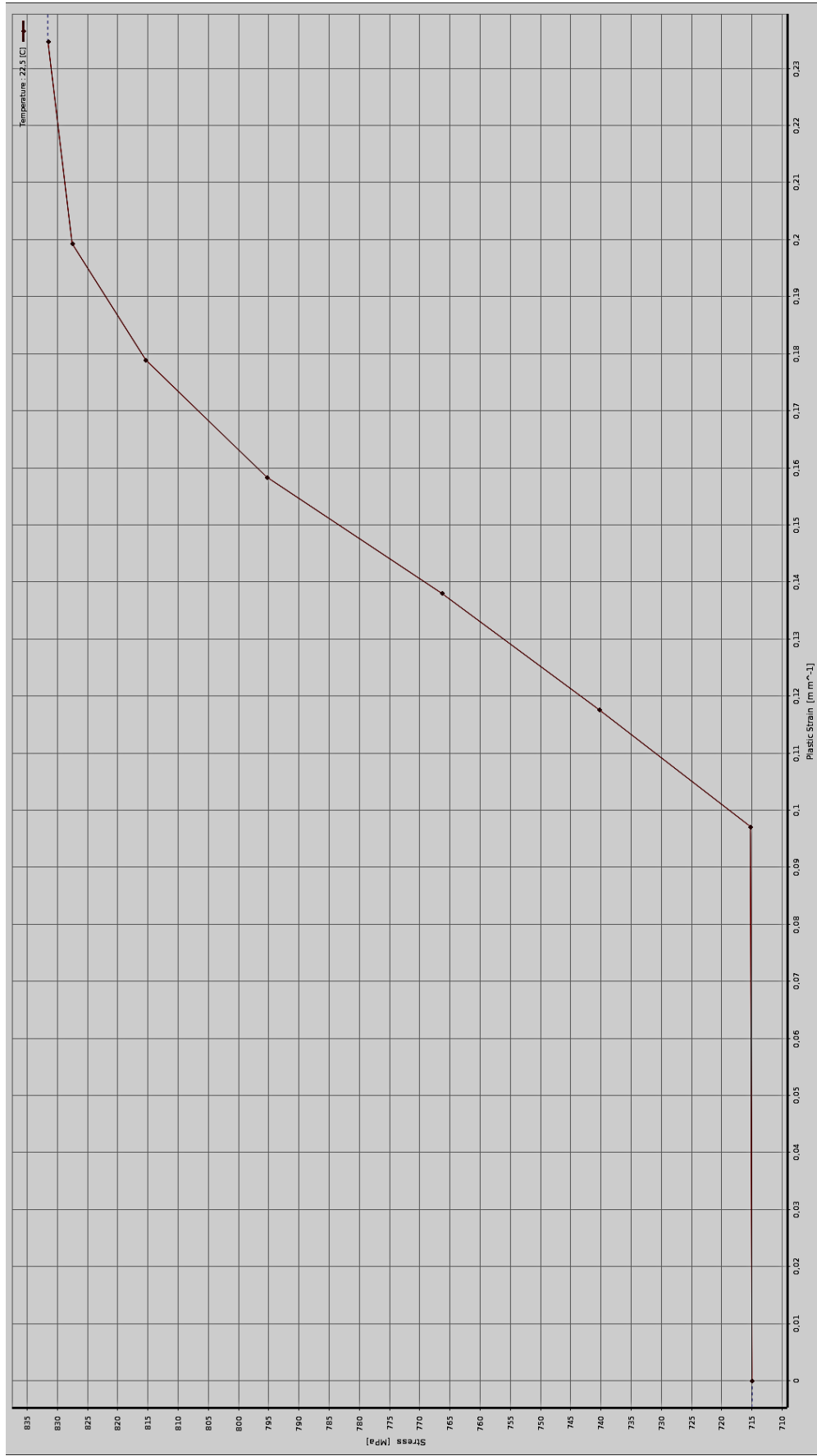
**Fuente:** [El Autor].

Mediante los datos descritos en las tablas 3-15 y 3-16, se definieron las propiedades elásticas y plásticas como se muestra en la gráfica 3-45, para cada material, además se ingresaron los datos obtenidos mediante investigación para definir las propiedades de cada tipo de acero. Las gráficas 3-46 y 3-47 muestran el comportamiento de Esfuerzo vs Deformación para los aceros que representan interés en el desarrollo de este trabajo.



**Gráfica 3-46.** Curva (Plastic Strain vs Stress) del acero ASTM A36.

**Fuente:** [El Autor].



**Gráfica 3-47.** Curva (Plastic Strain vs Stress) del acero AISI SAE D3. Fuente: [El Autor].

Definidos los parámetros de los materiales que se analizaron en el software de Elementos Finitos se debe verificar el tipo de contacto que existe entre los elementos del conjunto de perforado, así como también el tipo de elemento de malla, fuerza aplicada sobre los punzones, apoyos fijos y desplazamientos en los elementos de troquelado. La gráfica 3-48, muestra el tipo de contacto seleccionado y el valor de fricción entre los aceros.

Definition	
Type	Frictional
Friction Coefficient	Bonded
Dynamic Coefficient	Frictionless
Decay Constant	Reinforcement

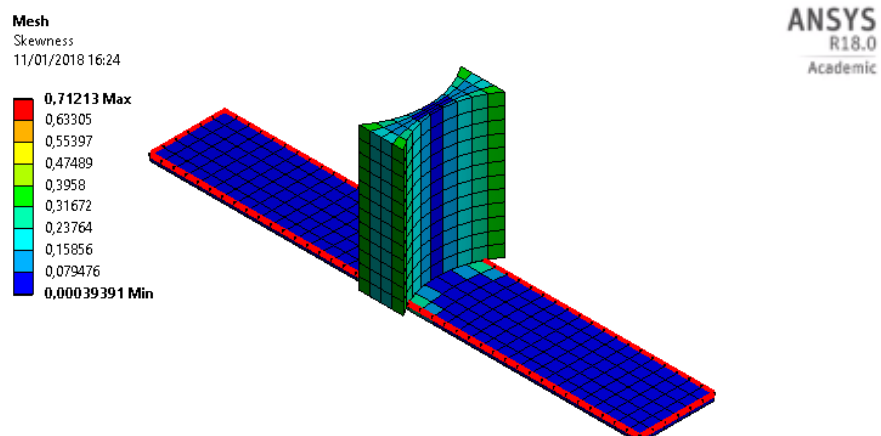
  

Type	Frictional
Friction Coefficient	0,3

**Gráfica 3-48.** Tipo de contacto utilizado para el modelo de Elementos Finitos.

**Fuente:** [El Autor].

La Gráfica 3-49, muestra la calidad del mallado de conjunto que se analizó, se puede apreciar que el factor Skewness que determina la calidad de mallado por encontrarse en un rango [0.5-0.8] tiene la designación Good (Buena), es decir nuestra calidad de malla es buena y se procede con la configuración para el análisis descrita anteriormente.



**Gráfica 3-49.** Factor Skewness de calidad de malla para el punzón de corte.

**Fuente:** [El Autor].

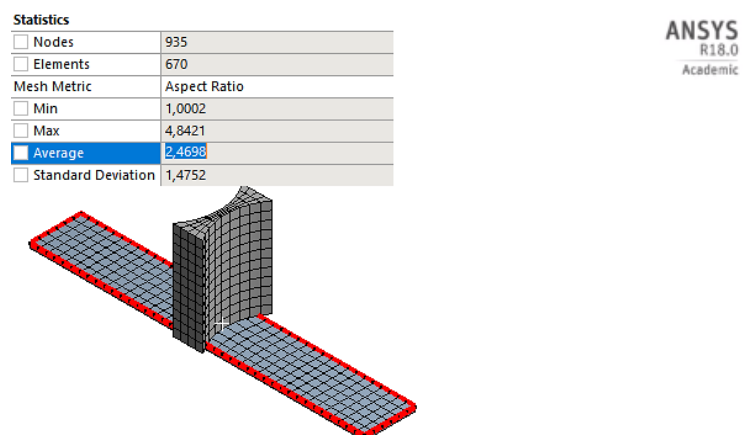
La Gráfica 3-50, muestra el segundo indicador de calidad de malla para el punzón de troquelado, denominado “Element Quality” el que posee un promedio de 0,75389 unidades, se recomienda que el valor de este parámetro sea más cercano a 1, lo que representa o indica un cubo o cuadrado perfecto si se trabaja en 2 o 3 dimensiones respectivamente.

<input type="checkbox"/> Nodes	935
<input type="checkbox"/> Elements	670
Mesh Metric	Element Quality
<input type="checkbox"/> Min	0,29402
<input type="checkbox"/> Max	0,99914
<input checked="" type="checkbox"/> Average	0,75389
<input type="checkbox"/> Standard Deviation	0,22665

**Gráfica 3-50.** Indicador Element Quality para el conjunto de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

El tercer parámetro de análisis que se utilizó para validar la calidad de malla del modelo desarrollado en este trabajo se denomina “Aspect Ratio” el que se utiliza para determinar la idealidad de malla en función del grado de estiramiento que poseen los elementos del mallado, se utiliza principalmente con elementos de malla de tipo Hexaédricos. En este trabajo el Average (Promedio) de este indicador de calidad de malla para el punzón de corte fue 2,4698 valor que se encuentra dentro del rango recomendado [ $\text{Aspect Ratio} \leq 5$ ]. Como se observa en la gráfica 3-48.



**Gráfica 3-48.** Indicador Aspect Ratio para el conjunto de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

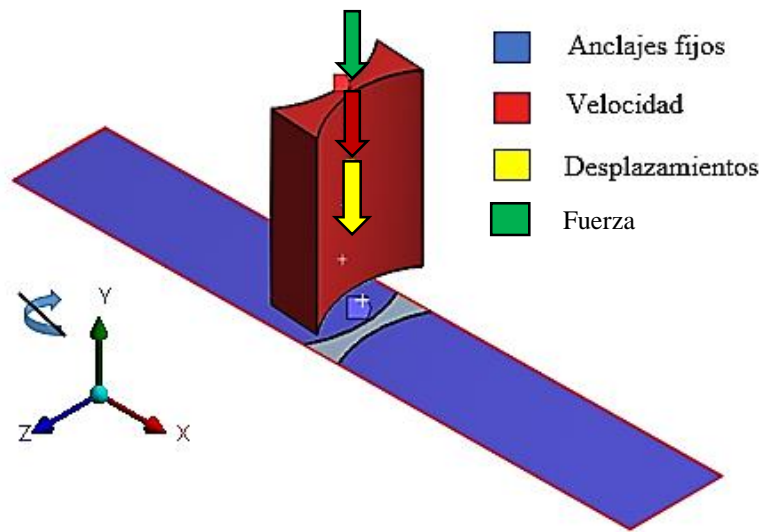
La Tabla 3-17, muestra los parámetros de configuración para el análisis del conjunto, mediante el método de Elementos Finitos, en esta tabla se detalla las condiciones de frontera del modelo diseñado.

**Tabla 3-17.** Condiciones iniciales y frontera para el conjunto de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Condiciones Iniciales</b>	
Tipo de Elemento	Platina = SOLID 186 Punzón de corte = SOLID 186
Tipo de Contacto	Friccional $\mu = 0,3$
Velocidad	500 [mm/s]
Tipo de elemento de malla	Platina = Tetraédrico (Por Defecto) Punzón de corte = Tetraédrico
Número de elementos del conjunto	670
Número de nodos del conjunto	935
Distancia entre elementos	1[mm]
Indicadores de Calidad de Malla	Skewness = 0,71213 Element Quality = 0,75389 Aspect Ratio = 2,4968
<b>Condiciones de Frontera</b>	
Tiempo Total de Análisis	0,0104 [s] (Calculado)
Time Step	0,9 (Automático)
Fuerza aplicada	$5,884 * 10^5 [N] = 60 \text{ Ton}$
Anclajes fijos	Platina metálica 1/8 [pulg]
Desplazamientos Punzón de corte	Eje X = 0, Eje Y = Libre y Eje Z = 0 Rotación X = 0, Rotación Y = 0, Rotación Z = 0

El análisis de las condiciones de frontera se esquematiza en la gráfica 3-52, la que presenta los datos que se observan en la Tabla 3-17, los colores de la gráfica representan los datos ingresados en el software para realizar el análisis de esfuerzos por el método de Elementos Finitos, además se consideró que el punzón de corte únicamente se desplaza en el eje Y, restringiendo los desplazamientos para los ejes X y Z, así como la rotación del elemento en los ejes X, Y y Z. La zona de color plomo en la platina metálica es el área que será seccionada mediante la operación de troquelado.



**Gráfica 3-52.** Condiciones Iniciales y de Frontera para el conjunto de troquelado.

**Fuente:** [El Autor].

Para determinar el tiempo total de simulación se debe conocer la velocidad a la que se desplaza el punzón de corte y la distancia que existe entre los elementos, el espesor de la platina y una distancia  $d = 1 \text{ mm}$ , que es criterio del autor de este trabajo para que el punzón atraviese completamente la platina. El tiempo total de simulación se calculó así:

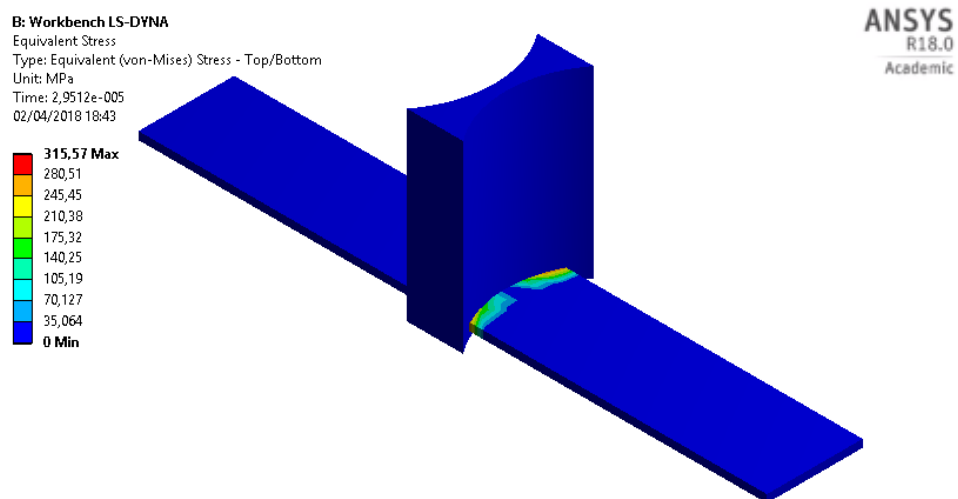
$$Velocidad = \frac{espacio}{tiempo}$$

$$tiempo = \frac{0,005175m}{0,5 \frac{m}{s}} = 0,01035 \text{ s}$$

### c) Solución del Modelo de Elementos Finitos para el Punzón de Corte

Cuando ya se ha definido los parámetros y configuraciones necesarias para el análisis mediante el método de Elementos Finitos, se procede a dar solución al modelo matemático que el software analiza, por lo que es necesario solicitar al software los parámetros a encontrar, que para este caso será el Esfuerzo Equivalente de Von-Mises para determinar cuál es el esfuerzo que se genera al cortar la platina metálica y mediante la obtención de un modelo (geometría) del punzón este esfuerzo pueda ser mínimo.

En la Gráfica 3-53, se muestran los resultados del análisis efectuado al punzón de corte, tomando en consideración todas las recomendaciones que son necesarias para el modelado, obtención y análisis del modelo para que los resultados obtenidos se apeguen a la realidad.



**Gráfica 3-53.** Esfuerzo generado por el punzón de corte.

**Fuente:** [El Autor].

### d) Análisis e interpretación de los resultados

Finalmente para completar la metodología descrita anteriormente se debe interpretar los resultados obtenidos mediante el análisis realizado, hay que tener en cuenta que el objeto de este trabajo es crear un modelo que permita reducir al mínimo el esfuerzo generado por cortar la platina metálica de espesor 3.175 mm



por lo que se debe simular el corte con diferentes geometrías de punzón. El valor del esfuerzo producido por el punzón de corte es = 315.57 MPa.

#### **3.4.8.3 Análisis de esfuerzos y deformaciones del punzón de perforado mediante el método de Elementos Finitos.**

Para el análisis del elemento de perforado se utilizó la misma metodología descrita para el análisis del punzón de corte, los materiales, así como condiciones iniciales y configuraciones para el análisis son los mismos. Es decir tipo de elemento, tipo de contacto, velocidad, fuerza y restricciones se mantienen por realizarse en la misma máquina troqueladora y en las mismas condiciones como se analizó el punzón de corte.

##### **a) Desarrollo del modelo geométrico para el punzón de perforado mediante software de dibujo mecánico.**

La Gráfica 3-54, muestra el punzón de perforado que se modeló de acuerdo a las especificaciones y requerimientos de la empresa Ingeniería del Acero y Matricería.

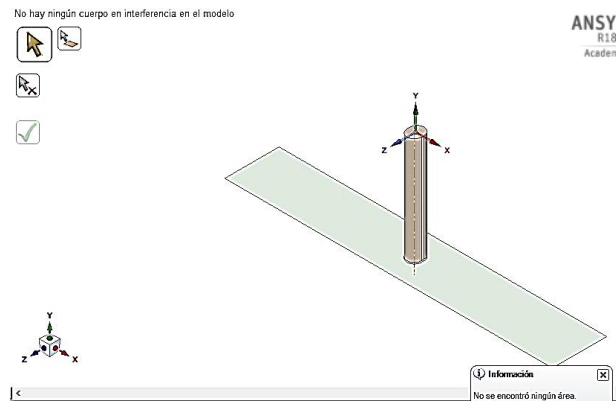


**Gráfica 3-54.** Modelo geométrico del punzón de perforado.

**Fuente:** [El Autor].

**b) Elaboración del modelo de Elementos Finitos para el punzón de perforado.**

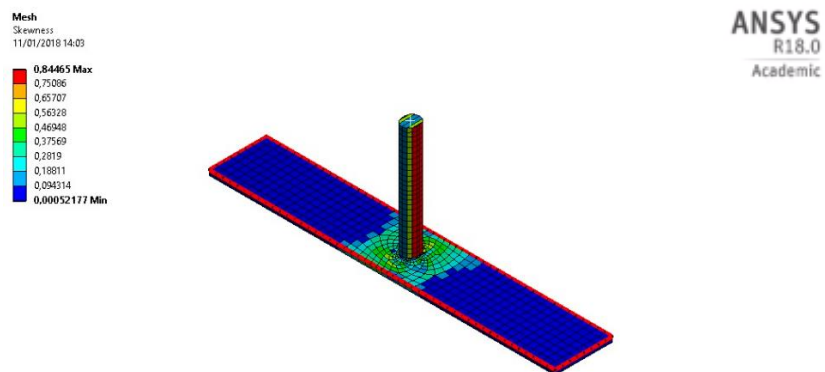
En la Gráfica 3-55, se muestra la idoneidad del modelo geométrico creado para realizar la simulación del proceso de perforado en la platina metálica, garantizando que no existan geometrías superpuestas, interferencias y/u otro elemento del dibujo que pueda generar conflictos y gasto computacional en el análisis.



**Gráfica 3-55.** Verificación de idoneidad del punzón de perforado.

**Fuente:** [El Autor].

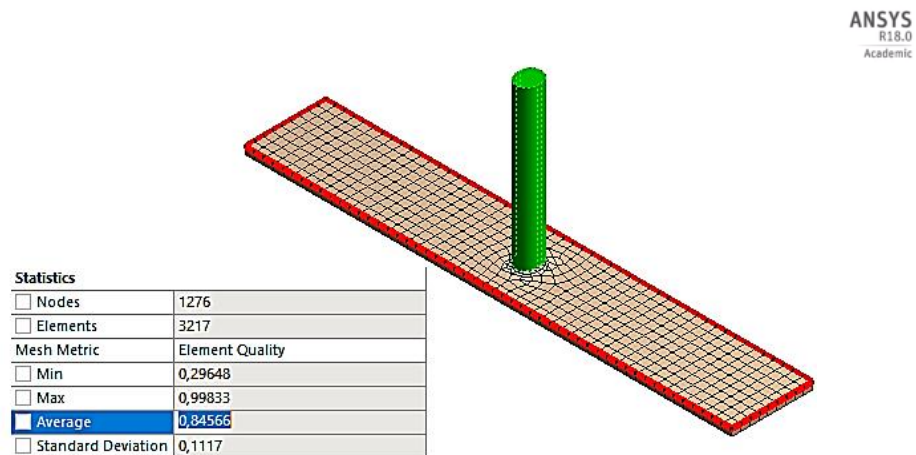
En la Gráfica 3-56, se muestra la calidad del mallado para el modelo del punzón de perforado, por la forma geométrica del mismo, la calidad de la malla se ve afectada en relación al punzón de corte, para este caso se consiguió obtener la designación de “Aceptable”, ya que se encuentra en el rango comprendido entre [0.80 - 0.94].



**Gráfica 3-56.** Indicador de mallado del punzón de perforado.

**Fuente:** [El Autor].

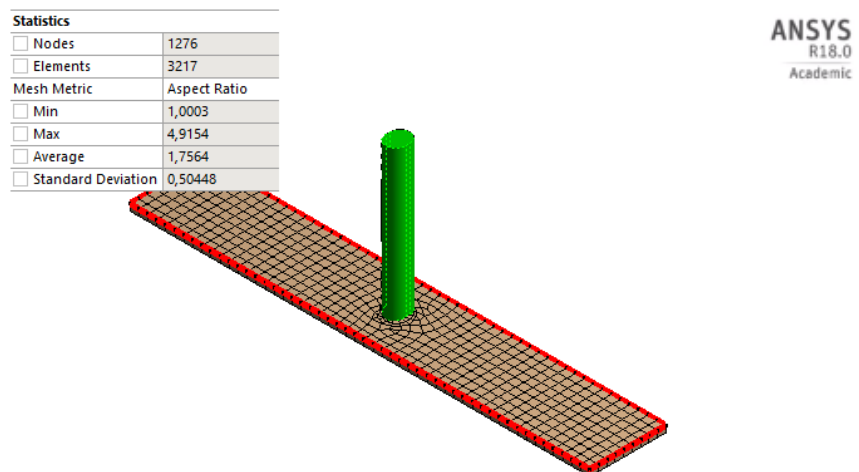
Para el indicador de calidad de malla “Element Quality” del conjunto de punzonado se obtuvo un promedio de 0,84566 unidades, valor que es cercano a 1, lo que indica la idealidad de los elementos analizados. En la gráfica 3-57, se observa el análisis de calidad de malla para el conjunto de punzonado.



**Gráfica 3-57.** Indicador de mallado Element Quality del conjunto de punzonado.

**Fuente:** [El Autor].

La Gráfica 3-58, muestra el tercer indicador de calidad de malla “Aspect Ratio” que para el conjunto de punzonado obtuvo un promedio de 1,7564 unidades, por estar dentro del criterio de aceptación [ $\text{Aspect Ratio} \leq 5$ ], se considera aceptable el mallado realizado para estos elementos.



**Gráfica 3-58.** Indicador de mallado Aspect Ratio del conjunto de punzonado.

**Fuente:** [El Autor].

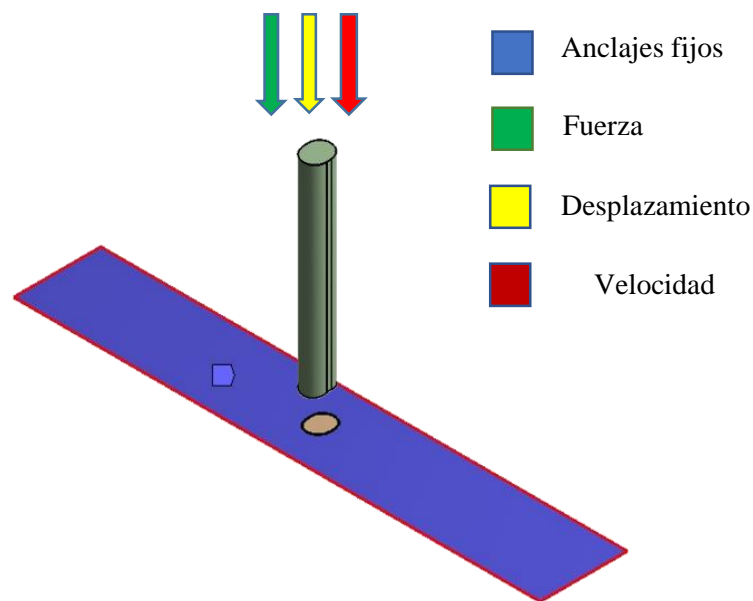
La Tabla 3-18, muestra las condiciones iniciales, así como las restricciones de frontera para el caso de punzonado, como se mencionó en apartados anteriores, la operación de punzonado se realiza en las mismas condiciones que el proceso de troquelado motivo por el que los parámetros de análisis son los mismos.

**Tabla 3-18.** Condiciones iniciales y condiciones de frontera para el análisis.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Condiciones Iniciales</b>	
Tipo de Elemento	Platina = SOLID 186 Punzón de perforado = SOLID 186
Tipo de Contacto	Friccional $\mu = 0,3$
Velocidad	500 [mm/s]
Tipo de elemento	Platina = Tetraédrico. (Por defecto) Punzón perforado = Tetraédrico.
Número de Elementos del Conjunto	3217
Número de Nodos del Conjunto	1276
Distancia entre elementos	1[mm]
Indicadores de Calidad de Malla	Skewness = 0,71213 Element Quality = 0,75389 Aspect Ratio = 2,4968
<b>Condiciones de Frontera</b>	
Tiempo Total de Análisis	0,0104 [s] (Calculado)
Time Step safety factor	0,9 (Automático)
Fuerza aplicada	$5,884 * 10^5 [N] = 60 \text{ Ton}$
Anclajes fijos	Platina metálica 1/8 [pulg]
Desplazamientos Punzón de perforado	Eje X = 0, Eje Y = Libre y Eje Z = 0 Rotación X = 0, Rotación Y = 0 y Rotación Z = 0

El análisis de las condiciones de frontera para la operación de punzonado se esquematiza en la gráfica 3-59, la que presenta los datos que se observan en la Tabla 3-18, los colores de la gráfica representan los datos ingresados en el software para el punzón de perforado, además se consideró que el punzón de perforado únicamente se desplaza en el eje Y, restringiendo los desplazamientos para los ejes X y Z, así como la rotación del elemento en los ejes X, Y y Z. al igual que para el conjunto de troquelado la zona de color plomo en la platina metálica es el área que será perforada mediante la operación de punzonado. Las condiciones descritas por colores se aplican a los elementos: Punzón (verde, amarillo y rojo) y platina metálica (anclajes fijos).

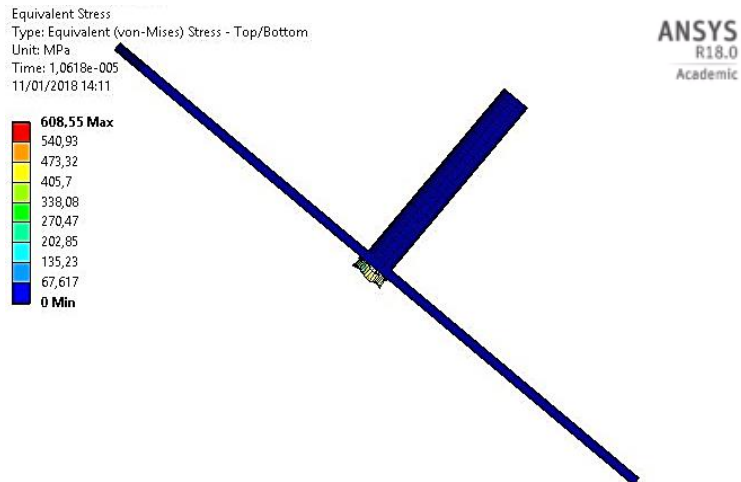


**Gráfica 3-59.** Condiciones Iniciales y de Frontera para el conjunto de punzonado.

**Fuente:** [El Autor].

### c) Solución de esfuerzos y deformaciones del punzón de perforado

Para realizar el análisis se emplearon los mismos parámetros descritos en la Tabla 3-18, y se obtuvieron los siguientes resultados: Esfuerzo equivalente de Von-Mises = 608.55 MPa, este esfuerzo de corte no considera la variación de la geometría de la punta del punzón de perforado por lo que mediante la obtención de un modelo geométrico diferente se debe alcanzar el menor esfuerzo de punzonado posible.



**Gráfica 3-60.** Esfuerzo de corte generado por el punzón de perforado.

**Fuente:** [El Autor].

### 3.4.9 Análisis de optimización del corte de los elementos de punzonado.





El término optimización en la actualidad constituye un factor determinante a la hora de realizar procesos de manufactura en las industrias de cualquier tipo, es decir utilizar la menor cantidad de recursos en la consecución de un producto y en el menor tiempo posible, sin afectar la calidad del producto y que permita prolongar la vida útil del utillaje que se emplea para su obtención es el objetivo principal de las empresas sin distinción, uno de los objetivos de este trabajo es crear un modelo geométrico que permita realizar el corte de platina metálica de 1/8 de pulgada de espesor con el menor esfuerzo posible. Según Rossi. M. [1979], en su obra “Estampado en frío de la chapa. Estampas-matrices-punzones-prensas y máquinas” las geometrías más utilizadas en la industria matricera se observan en la gráfica 3-21, donde se aprecia punzones con geometrías cóncavas y convexas, así como puntas de punzones con biseles y redondeos.

#### 3.4.9.1 Geometrías del punzón de Perforado

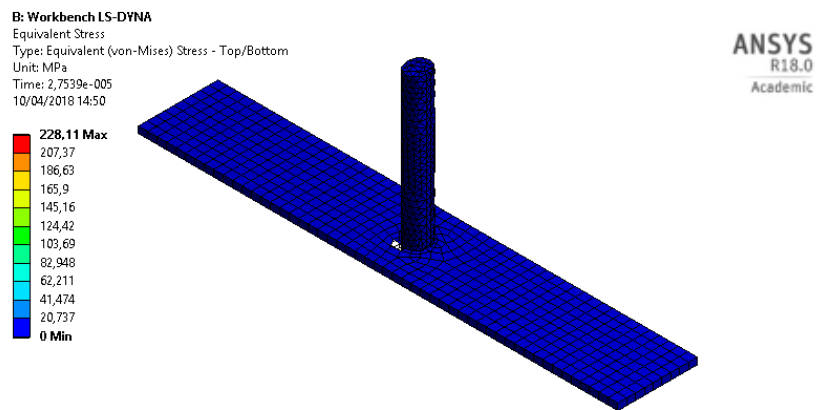
Las geometrías del punzón de perforado que se analizaran en este trabajo tomando en cuenta las recomendaciones de los autores que se enuncian anteriormente y en base a la investigación del autor se muestran en la Tabla 3-19. Así:

**Tabla 3-19.** Análisis se esfuerzos en función de las geometrías simuladas.

Fuente: [El Autor].

Geometrías del punzón de Perforado									
Bisel Doble convexo (B.D.C.)		Bisel Doble Cóncavo (B.D.Cón.)		Bisel Simple (B.S.)		Cizalla Cóncava (C.Cón.)			
									
Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado
5°	486.25 MPa	5°	508.66 MPa	5°	551.19 MPa	5°	497.6 MPa		
10°	497.81 MPa	10°	228.11 MPa	10°	650.46 MPa	10°	485.3 MPa		
15°	484.05 MPa	15°	365.02MPa	15°	620.69MPa	15°	481.79MPa		
20°	504.59 MPa	20°	476.49 MPa	20°	685.31 MPa	20°	485.68MPa		
						25°	489.31 MPa		
						30°	483.64MPa		

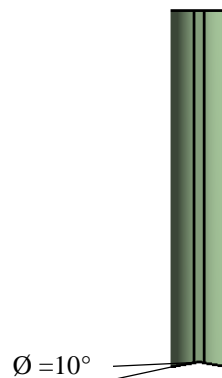
En la tabla 3-19, se muestran los resultados obtenidos mediante el análisis utilizando el método de Elementos Finitos del esfuerzo generado por el punzonado de la platina metálica de espesor 1/8 pulg, el valor mínimo de esfuerzo producido por el perforado con el punzón optimizado es 228.11 MPa, como se muestra en la gráfica 3-61, según los requerimientos de la empresa la geometría del punzón de perforado no se puede variar su forma ya que por cuestiones de espacio en el troquel, no es posible.



**Gráfica 3-61.** Esfuerzo de corte generado por el punzón de perforado optimizado.

**Fuente:** [El Autor].

El modelo geométrico del punzón de perforado que se recomienda emplear es el que se describe en la Gráfica 3-62, cuya geometría de punta de punzón es un bisel doble cóncavo, el ángulo de inclinación del bisel es 10°.

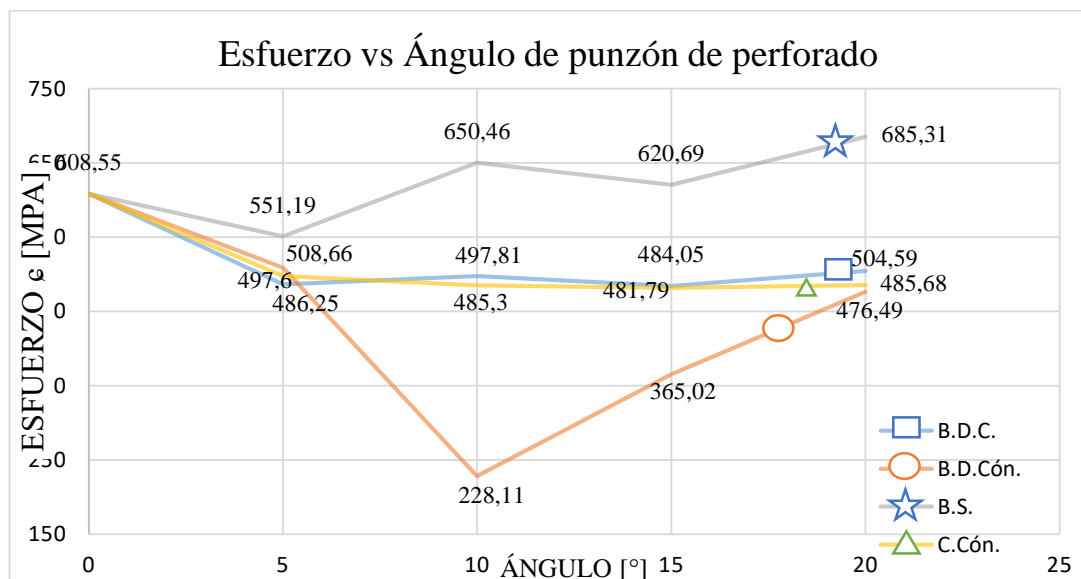


**Gráfica 3-62.** Modelo geométrico óptimo del punzón de perforado.



Fuente: [El Autor].

Los resultados obtenidos en el análisis mediante la geometría de punzón que se observa en la Gráfica 3-61, son muy aceptables y optimizan el proceso de perforado en 62,52 % lo que representa 380,44 MPa menos que el esfuerzo que se produce al cortar con el punzón sin variación de geometría que es igual a 608.55 MPa, el esfuerzo optimizado máximo alcanzado es de 228,11 MPa. En la Gráfica 3-63, se detalla la comparativa del esfuerzo generado en función del ángulo de punzón y la geometría de dicho elemento, como se observa en la gráfica la geometría más eficiente es Bisel Doble Cóncavo (B.D.Cón), mientras que la geometría que mayor esfuerzo genera en el proceso de perforado es el Bisel Simple (B.S.) debido a que la inclinación reduce el área de contacto entre el punzón y la platina generando así más esfuerzo al realizar la operación de punzonado.



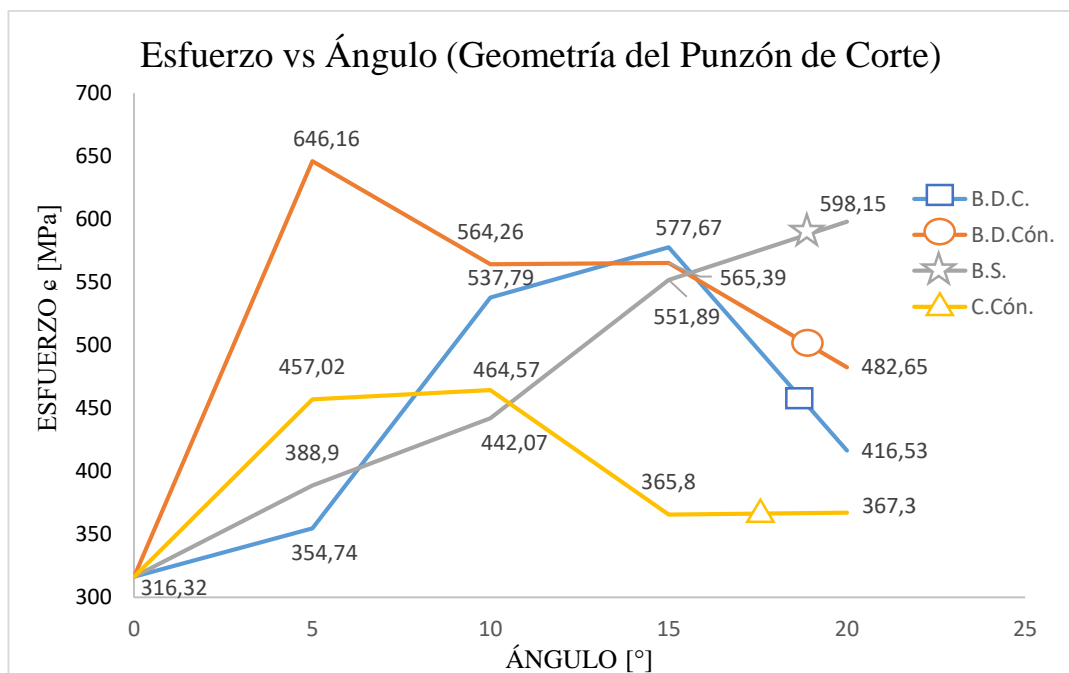
Gráfica 3-63. Análisis comparativo de las geometrías del punzón de perforado.

Fuente: [El Autor].

### 3.4.9.2 Geometrías del punzón de Corte

Para el análisis de la forma geométrica que debe tener el punzón de corte al igual que el punzón de perforado, tomaremos como referencia las geometrías recomendadas por otros autores. Para este caso se analizarán las mismas geometrías que para el punzón de perforado y se documentará los resultados obtenidos. Mediante el análisis realizado se determinó que la geometría más idónea para la

construcción del punzón de corte es mantener la cara de corte plana, sin ningún detalle, ya que el esfuerzo que se genera al corta la platina metálica cuando forma un ángulo recto entre el punzón y la platina es menor a los esfuerzos determinados cuando se cambia la geometría del punzón de corte. El esfuerzo generado por el corte de dicho punzón es 316,3 MPa por lo que se recomienda no cambiar la geometría de la punta del punzón. La gráfica 3-64, muestra el esfuerzo de corte generado en función del ángulo de la geometría del punzón de corte, confirmando que la menor carga se produce cuando la cara del elemento es completamente plana.



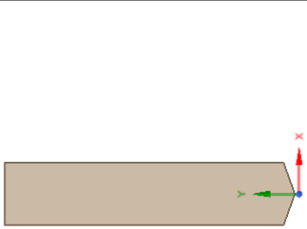
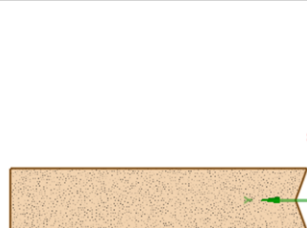
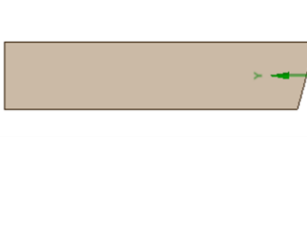
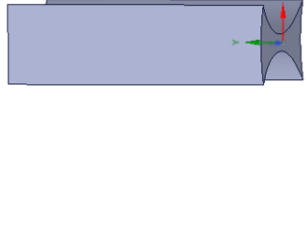
**Gráfica 3-64.** Análisis comparativo de las geometrías del punzón de corte.

**Fuente:** [El Autor].

En la Tabla 3-20, se resume el análisis realizado para el punzón de corte, verificando que el menor esfuerzo generado por el corte se obtiene cuando la cara de corte es plana y sin variación en la geometría de la punta del punzón. Razón por la que se recomienda no variar la geometría de la punta del punzón de corte, ya que la cara plana genera menos esfuerzo al cortar la platina metálica de espesor 1/8 de pulgada.

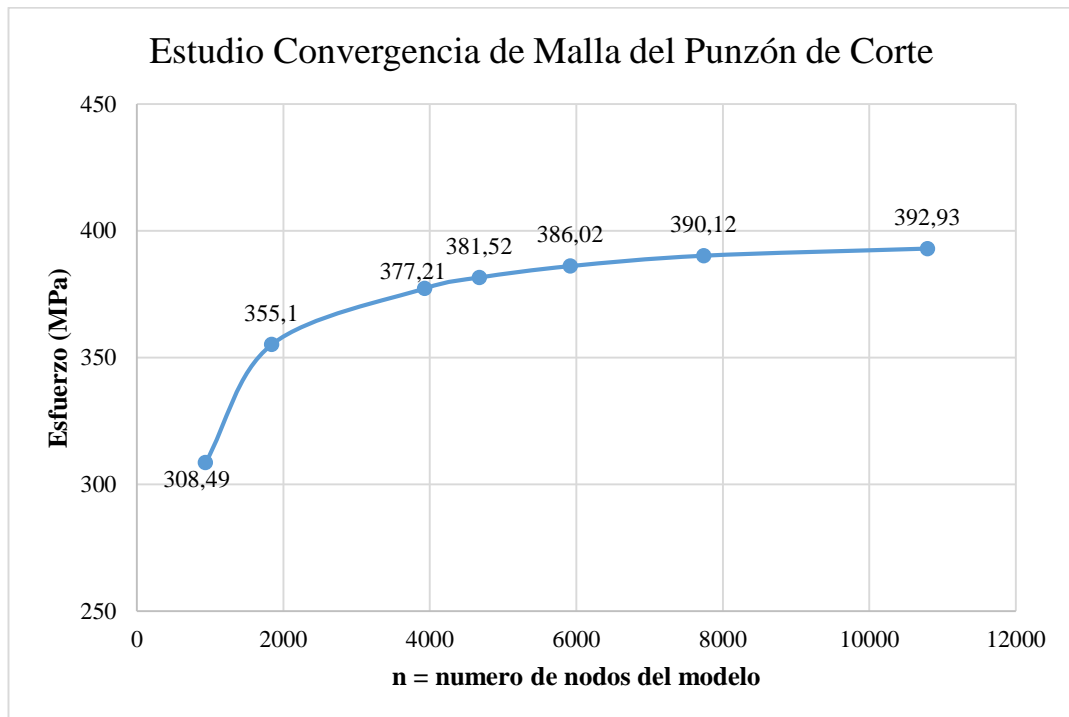
**Tabla 3-20.** Análisis se esfuerzos en función de las geometrías de punzón de corte simuladas.

Fuente: [El Autor].

Geometrías del punzón de Corte							
Bisel Doble convexo (B.D.C.)		Bisel Doble Cóncavo (B.D.Cón.)		Bisel Simple (B.S.)		Cizalla Cóncava (C.Cón.)	
							
Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado	Inclinación	Resultado
5°	354.74 MPa	5°	646.16 MPa	5°	388.9 MPa	5°	457.02 MPa
10°	537.79 MPa	10°	564.26 MPa	10°	442.07 MPa	10°	464.57 MPa
15°	577.67 MPa	15°	565.39 MPa	15°	551.89 MPa	15°	365.8 MPa
20°	416.53 MPa	20°	482.65 MPa			20°	367.3 MPa
25°	526.26 MPa	25°	370.42 MPa				
30°	736.84 MPa	30°	431.41 MPa				

### 3.4.10 Criterio de convergencia del análisis

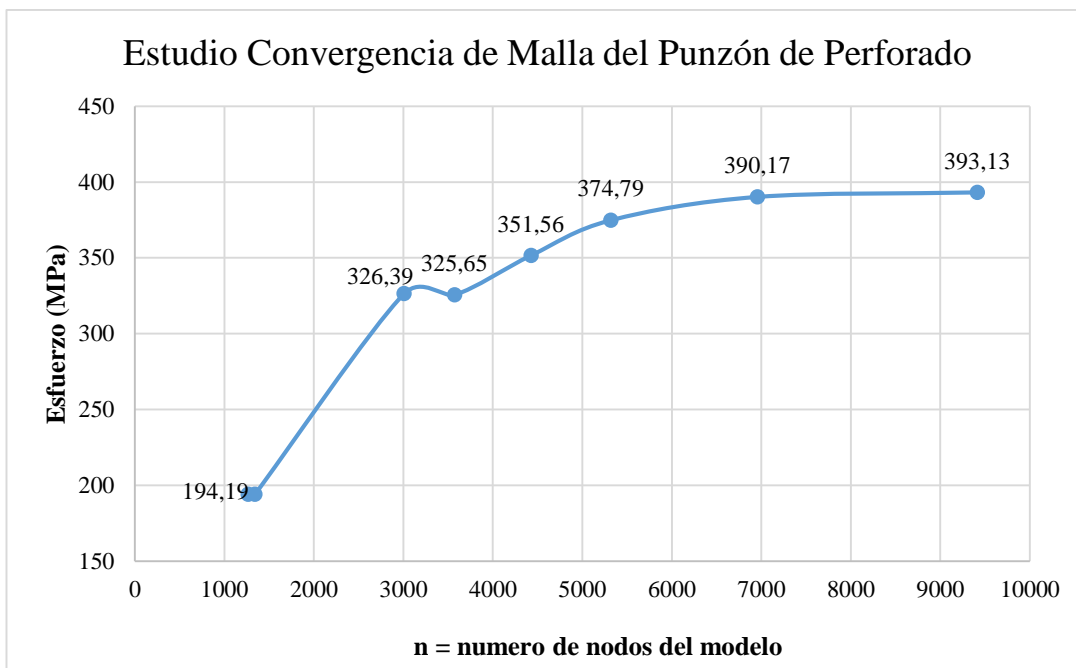
Para determinar la validez del análisis realizado mediante el método de Elementos Finitos, existen criterios de convergencia hacia la solución del problema, es decir permiten mediante la variación de los parámetros de solución determinar la tendencia del problema hacia el desenlace del mismo. Para este trabajo se realizó el análisis de convergencia en función de un estudio de convergencia de malla, en el que se varió el tamaño de la malla, para graficar los resultados en función del número de nodos del conjunto de punzonado y troquelado de forma manual, hasta que los resultados obtenidos converjan satisfactoriamente hacia el valor de resultado final. En la gráfica 3-65, se muestra la curva obtenida mediante el estudio de convergencia de malla para el punzón de corte.



**Gráfica 3-65.** Estudio de convergencia de malla del punzón de corte.

**Fuente:** [El Autor]

La gráfica 3-66 muestra el estudio de convergencia de malla para el análisis realizado en el punzón de perforado, al igual que el caso anterior si existió convergencia en la solución. Se realizó el mismo proceso para representar el número de nodos del modelo en función del esfuerzo generado por el corte.



**Gráfica 3-66.** Estudio de convergencia de malla del punzón de perforado.

**Fuente:** [El Autor]

En la Tabla 3-21, se resume las características técnicas del equipo en el que se realizó el análisis así como los tiempos empleados para la ejecución de la simulación de corte y punzonado.

**Tabla 3-18.** Características del PC y tiempos empleados para el análisis.

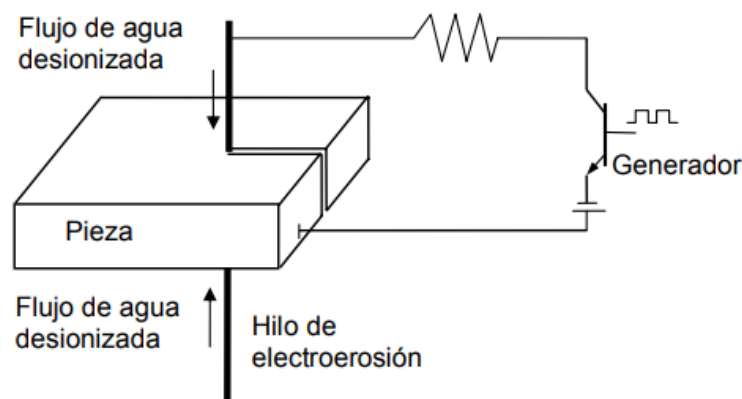
**Fuente:** [El Autor].

<b>Características del Equipo</b>	
Marca	DELL Inspiron 15 5000 Series
Procesador	Intel (R) Core (TM) i7-4510U CPU @ 2.00 GHz 2.60GHz.
Sistema Operativo	64 bits, procesador x64
Memoria RAM	8 GB
<b>Tiempo de simulación</b>	
Simulación del conjunto de corte	3 minutos
Simulación del conjunto de punzonado	3.5 minutos

### 3.5 Construcción

El mecanizado de la mayoría de los elementos del troquel que permite cortar y perforar la platina metálica de espesor 3.175 mm se realizó mediante el proceso de Electroerosión por Hilo EDM. Según la Escuela Superior de Ingenieros San Sebastián de la Universidad de Navarra, la electroerosión por hilo es un proceso mediante el que se puede cortar una pieza metálica que conduzca la electricidad por medio de descargas eléctricas continuas y controladas en un medio dieléctrico (Flujo de agua desionizada). Este proceso de mecanizado se utiliza en gran magnitud para la fabricación de matrices.

El corte se produce cuando la pieza a ser mecanizada y el hilo que realiza el corte están en contacto con un medio aislante de tensión (Dieléctrico) que hace que el campo eléctrico sea mayor que la rigidez dieléctrica del líquido, lo que permite que los iones y electrones libres en el campo eléctrico sigan la dirección del hilo chocando entre si y formando un golpe de plasma, que va fundiendo y hasta evaporando parte del metal de la pieza debido a las altas temperaturas que se generan por este fenómeno. En la Gráfica 3-67, se esquematiza el proceso de corte mediante la electroerosión por hilo.



**Gráfica 3-67.** Proceso de corte EDM electroerosión por hilo [14].

El proceso de corte por electroerosión que emplea un hilo de Molibdeno, cuyo diámetro oscila entre [0.12 - 0.18] mm, se distingue de los otros procesos convencionales de mecanizado por arranque de viruta, debido a la facilidad con la

que realiza el corte, es decir propiedades mecánicas de los materiales como dureza, no son problema cuando se utiliza este proceso para su mecanizado. Materiales templados y de baja maquinabilidad son fácilmente cortados siempre y cuando sean conductores de la electricidad.

### **3.5.1 Máquina EDM DK77 CNC Wire Cut**

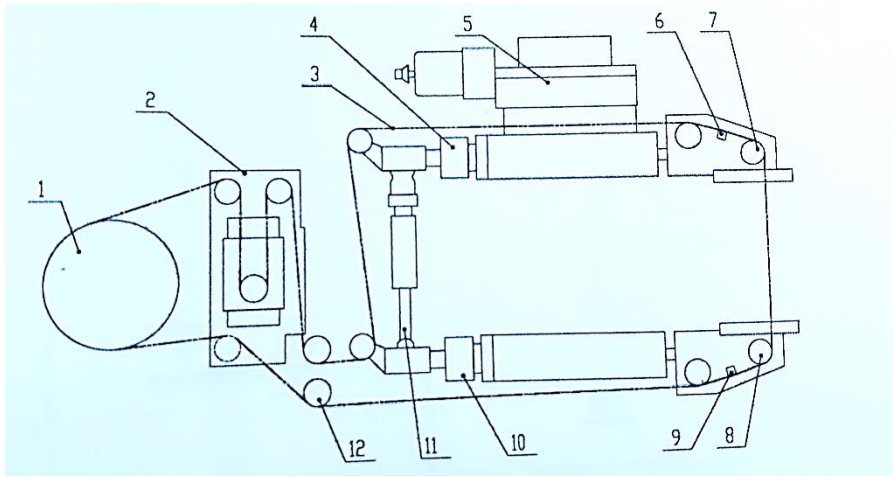
La máquina EDM DK77 forma parte del conjunto de mecanismos de serie DK 77, las que han sido patentadas por industrias del continente Asiático y que constituyen lo más cercano a las desarrolladas por marcas reconocidas a nivel mundial, la principal ventaja de este tipo de máquina en relación a equipos desarrollados por marcas reconocidas, es el costo del equipo, representa sólo el 10% del valor que presentan las máquinas de marcas convencionales.

#### **3.5.1.1 Componentes de la Máquina EDM DK77 Wire Cut**

Esta máquina está compuesta por tres módulos, mecánicos y eléctricos que permiten realizar el mecanizado de los elementos metálicos. Cada conjunto realiza una función específica y desarrolla las operaciones que son programadas previamente.

El primer módulo constituye la parte mecánica que permite el movimiento del hilo que realiza el corte por electroerosión y está compuesto de un conjunto de poleas que sirven de guía para el movimiento del hilo, el que se mueve en direcciones opuestas después de cada inversión de giro del motor del tambor donde se enrolla dicho elemento. En la Tabla 3-22, se muestra la configuración y las partes de este módulo.

**Tabla 3-22.** Conjunto de movimiento del hilo de corte [15].

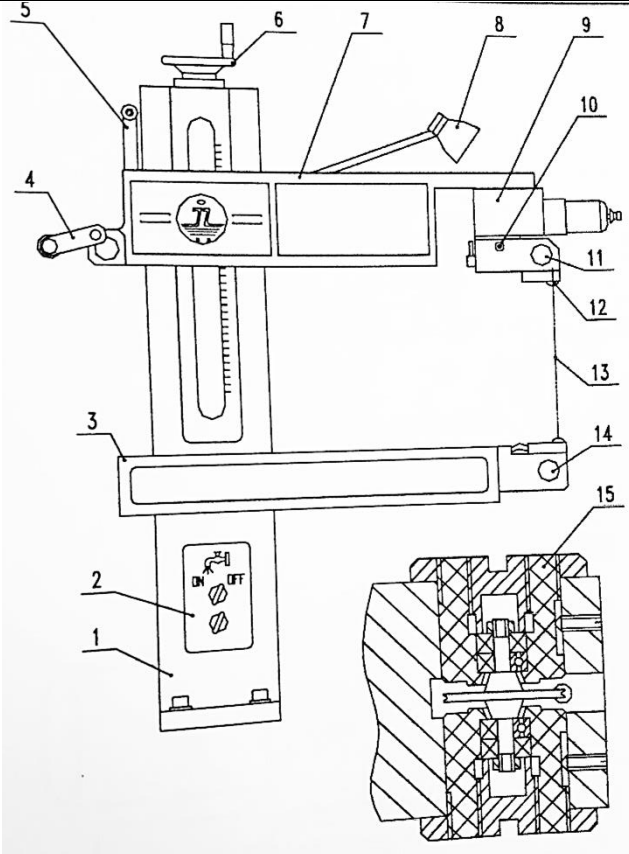
<b>Conjunto de movimiento del hilo</b>	
	
Número de componente	Descripción
<b>1</b>	Cilindro de almacenamiento del hilo
<b>2</b>	Mecanismo de expansión del hilo
<b>3</b>	Hilo electrodo
<b>4,10</b>	Tuercas de Bloqueo
<b>5</b>	Cabezal cónico
<b>6,9</b>	Contactos conductivos
<b>7</b>	Guía superior
<b>8</b>	Polea guía inferior
<b>11</b>	Guía de expansión del hilo
<b>12</b>	Rueda inferior de descarga del hilo

El segundo módulo comprende la parte mecánica que se encarga del movimiento de la mesa y la columna vertical mediante un conjunto de servo motores que son controlados por el tercer módulo de la máquina.

La estructura que permite el correcto direccionamiento del hilo de corte está compuesta por dos módulos mecánicos móviles que permiten cortar piezas de espesores de hasta 400 mm. La configuración de este módulo se describe en la Tabla 3-23.



**Tabla 3-23.** Conjunto de soporte del hilo de corte [15].

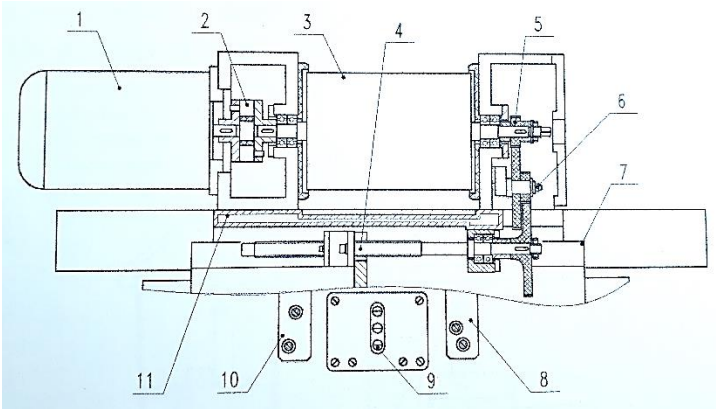
<b>Conjunto de movimiento del hilo</b>	
	
Número de componente	Descripción
<b>1</b>	Columna vertical
<b>2</b>	Válvula de Refrigerante
<b>3</b>	Brazo Inferior
<b>4</b>	Mecanismo de expansión del hilo
<b>5</b>	Mecanismo de soporte del hilo
<b>6</b>	Rueda manual de movimiento de la mesa
<b>7</b>	Brazo Superior
<b>8</b>	Lámpara de Operación
<b>9</b>	Dispositivo de conicidad
<b>10</b>	Contactos conductivos
<b>11</b>	Polea Guía superior
<b>12</b>	Boquilla de líquido dieléctrico
<b>13</b>	Hilo electrodo
<b>14</b>	Polea Guía Inferior
<b>15</b>	Base de la Polea Guía

Los módulos adicionales del soporte para el hilo y la pieza que será mecanizada se mueven por medio del accionamiento de servos motores, es decir la mesa conjuntamente con la pieza se desplaza en dos ejes X e Z mientras que el eje Y sólo se desplaza cuando se requiere cortar elementos de espesor considerable. Además permite realizar cortes cónicos mediante los servomotores que se alojan en el elemento 9 (Dispositivo de Conicidad) que permite el movimiento del hilo conforme se ha especificado en el tercer módulo. En la Tabla 3-24., se muestra la configuración de la estructura de la mesa de trabajo.

**Tabla 3-24.** Conjunto de la estructura de la mesa [15].

<b>Estructura de movimiento de la mesa de trabajo</b>	
Número de componente	Descripción
<b>1</b>	Mecanismo de desplazamiento manual
<b>2</b>	Tornillos sin fin
<b>3</b>	Mesa de Trabajo
<b>4</b>	Barra inferior
<b>5</b>	Caja de engranes de desaceleración
<b>6</b>	Servo motor
<b>7</b>	Rodillos Guía
<b>8</b>	Cama Baja

**Tabla 3-25.** Conjunto Dispositivo de Accionamiento del Hilo de Corte [15].

<b>Conjunto del Dispositivo de Accionamiento del Hilo</b>	
	
Número de componente	Descripción
<b>1</b>	Servo motor
<b>2</b>	Bloque amortiguador del acoplamiento del eje
<b>3</b>	Cilindro de almacenado de hilo
<b>4</b>	Tornillos sin fin
<b>5</b>	Sistema de engranes
<b>6</b>	Depósito de aceite
<b>7</b>	Guía de seguimiento
<b>8</b>	Sensor de horquilla izquierdo
<b>9</b>	Interruptor móvil
<b>10</b>	Sensor de horquilla derecho
<b>11</b>	Barra de arrastre del Cilindro de almacenado de hilo

El tercer módulo Sistema de Control de la máquina DK77 CNC Wire Cut comprende el conjunto eléctrico y electrónico mediante el que genera los pulsos controlados de corriente que se entrega al hilo electrodo, además los parámetros necesarios para realizar el mecanizado de las piezas metálicas. El módulo de control utiliza un voltaje de la fuente de alimentación de tres fases (380 V) y una frecuencia de 50-60 Hz.

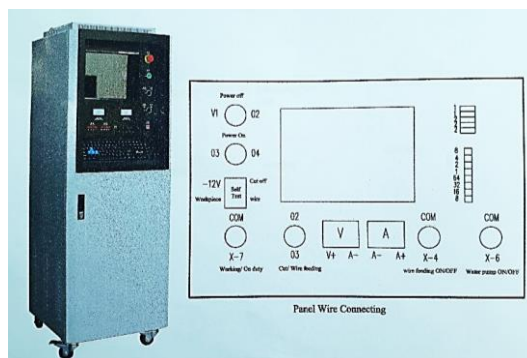
El módulo controla dos niveles de voltaje y cuatro niveles de ancho de pulso y espacio de pulso. En Tabla 3-26, se muestran los parámetros que maneja el módulo del sistema de control.

**Tabla 3-26.** Principales Parámetros de la máquina DK77.

**Fuente:** [El Autor].

Principales Parámetros Técnicos	
Nivel de Voltaje	Voltaje de Pulso de Trabajo (V)
High (Alto)	100
Low (Bajo)	80
Ancho de Pulso	
Nivel	Ancho de Pulso ( $\mu$ s)
1	64
2	32
3	16
4	8
Selección de Espacio entre pulsos	
1	8
2	4
3	2
4	1

La Gráfica 3-68, muestra le módulo de control de la máquina DK77 CNC Wire Cut y sus principales entradas y salidas.



**Gráfica 3-68.** Módulo de Control de la máquina DK77 CNC [15].

### 3.5.1.2 Parámetros de operación de la máquina DK77 CNC Wire Cut EDM.

La máquina serie DK77 CNC Wire Cut se utilizará para el mecanizado de los componentes del troquel, esta máquina forma parte de un sistema CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) que mediante el software libre AutoCut, que permite el modelado de las formas en que se realizará el corte de la pieza, mientras que WireCut software permite controlar los parámetros de corte, como son velocidad de corte, altura y espacio entre pulsos eléctricos. La Tabla 3-27, describe los parámetros de corte en función del espesor de la pieza que se desea mecanizar.

**Tabla 3-27.** Parámetros de corte por electroerosión de Hilo.

**Fuente:** [El Autor].

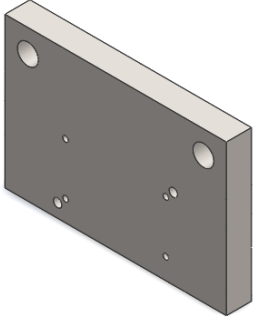
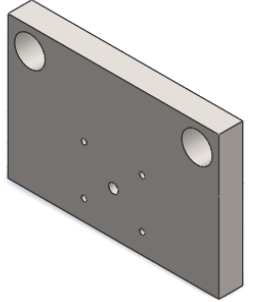
<b>Configuración de Parámetros de Referencia</b>				
<b>Espesor (mm)</b>	<b>Amperaje (A)</b>	<b>Ancho de Pulso (μs)</b>	<b>Altura de Pulso</b>	<b>Velocidad de Corte (<math>\frac{mm^2}{min}</math>)</b>
50	3	32	8	4900
100	3	32	10	5200
150	3	32	12	5100
200	3	64	11	5000
250	3	64	11	4800
300	3	64	12	4600
400	3	64	14	4500

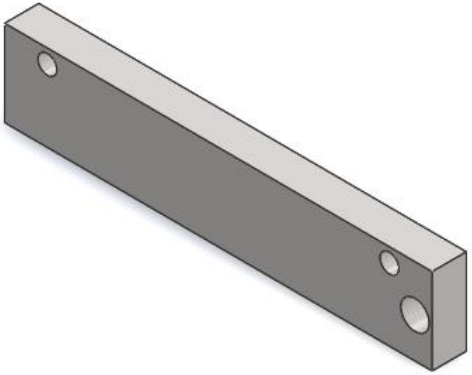
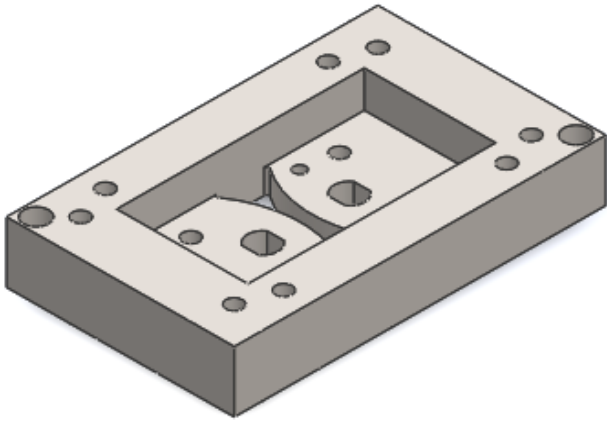
### 3.5.2 Mecanizado de los componentes del troquel.

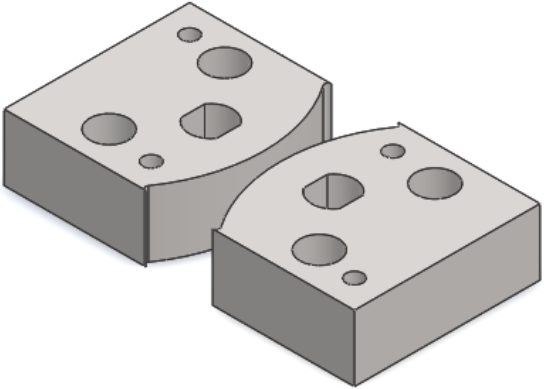
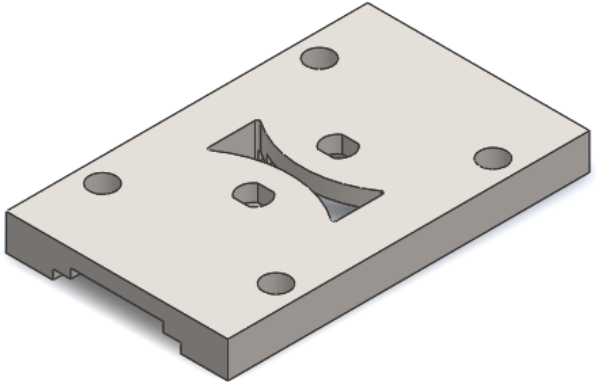
Para el mecanizado de los elementos que componen el troquel de corte y perforado de platina metálica de 3.175 mm de espesor, se detallan los parámetros utilizados los que se configuran en función del espesor del elemento que se desea mecanizar. La Tabla 3-28., muestra los parámetros y las piezas mecanizadas mediante el proceso de electroerosión por hilo, en el Anexo 7 se evidencia mediante fotografías el proceso de mecanizado de cada componente del troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 1/8 de pulgada.

**Tabla 3-28.** Componentes mecanizados por el proceso de electroerosión por Hilo.

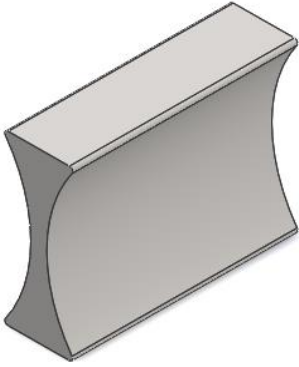

**Fuente:** [El Autor].

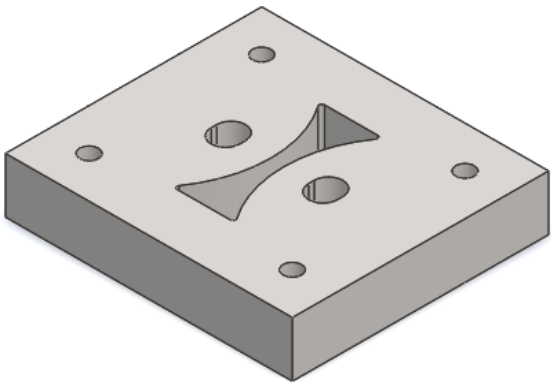
Componentes del Troquel de Corte y Perforado mecanizados mediante el proceso de Electroerosión por Hilo				
Componente	Espesor	Parámetros de Mecanizado		Detalle
Placa Base	30 mm	Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso (μs)	32	
		Espacio de Pulso	8	
		Velocidad de Corte ( $\frac{mm^2}{min}$ )	4900	
Placa Superior	30 mm	Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso (μs)	32	
		Espacio de Pulso	8	
		Velocidad de Corte ( $\frac{mm^2}{min}$ )	4900	

Paralelas Guía	12 mm	Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso ( $\mu\text{s}$ )	32	
		Espacio de Pulso	8	
		Velocidad de Corte ( $\frac{\text{mm}^2}{\text{min}}$ )	4900	
Placa Porta Matriz	25 mm	Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso ( $\mu\text{s}$ )	32	
		Espacio de Pulso	8	
		Velocidad de Corte ( $\frac{\text{mm}^2}{\text{min}}$ )	4900	

Matriz de corte y perforado	19 mm	Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso ( $\mu\text{s}$ )	32	
		Espacio de Pulso	8	
		Velocidad de Corte ( $\frac{\text{mm}^2}{\text{min}}$ )	4900	
Puente Platina	15 mm	Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso ( $\mu\text{s}$ )	32	
		Espacio de Pulso	8	
		Velocidad de Corte ( $\frac{\text{mm}^2}{\text{min}}$ )	4900	



Punzón de Corte	75 mm	Velocidad de Corte ( $\frac{mm^2}{min}$ )	5200	
		Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso ( $\mu s$ )	32	
		Espacio de Pulso	10	
Punzón Perforado	de 75 mm	Velocidad de Corte ( $\frac{mm^2}{min}$ )	5200	
		Amperaje (A)	3	
		Ancho de Pulso ( $\mu s$ )	32	
		Espacio de Pulso	10	

Placa Punzones	Porta	20 mm	Amperaje (A)	3	
			Ancho de Pulso ( $\mu\text{s}$ )	32	
			Espacio de Pulso	8	
			Velocidad de Corte ( $\frac{\text{mm}^2}{\text{min}}$ )	4900	

Los elementos como: columnas, bujes guía y la espiga de sujeción se transformaron mediante otro proceso de mecanizado por arranque de viruta denominado torneado, para lo que se presenta a continuación el cálculo de la velocidad de corte que se utilizaron para el mecanizado.

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000} \quad \text{Ec 3-14.}$$

Donde:

$V_c$  = Velocidad de Corte [m/min]

$D$  = Diámetro del eje [mm]

$N$  = Velocidad de Giro del Husillo [RPM]

### 3.5.2.1 Cálculo de la velocidad de corte para el mecanizado de las columnas

Las columnas guía del troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 3.175 mm se mecanizaron en base al proceso por arranque de viruta conocido como torneado, el material AISI-SAE 4340, de las columnas guía es ideal para absorber los esfuerzos transversales originados por el impacto que se produce entre los punzones y la platina metálica, por la elevada resistencia a la tracción, torsión y cambios de flexión este tipo de acero es idóneo la fabricación de este componente.

Los elementos como: columnas, bujes guía y la espiga de sujeción se transformaron mediante otro proceso de mecanizado por arranque de viruta denominado torneado, para lo que se presenta a continuación el cálculo de la velocidad de corte que se utilizaron para el mecanizado.

$$V_c = \frac{\pi * D * N}{1000}$$

$$V_c = \frac{\pi * 32 * 200}{1000} = 20,11 \frac{m}{min}$$

a) **Cálculo de la velocidad de corte para el mecanizado de los bujes Guía.**

$$V_{ce} = \frac{\pi * 51 * 200}{1000} = 32,04 \frac{m}{min}$$

$$V_{ci} = \frac{\pi * 39 * 200}{1000} = 24,5 \frac{m}{min}$$

$$V_{ch} = \frac{\pi * 24 * 50}{1000} = 3,77 \frac{m}{min}$$

b) **Cálculo de la velocidad de corte para el mecanizado de la espiga de sujeción.**

$$V_c = \frac{\pi * 42 * 200}{1000} = 26,39 \frac{m}{min}$$

Concluido el mecanizado de los componentes del troquel de corte y perforado de platina metálica se procede a realizar el ensamble de dichos elementos, verificando que cada elemento cumpla con las especificaciones entregadas por la empresa beneficiaria y no exista interferencia entre los elementos. En la Gráfica 3-69, se observa el ensamble final de todos los elementos del troquel. El proceso completo de ensamble se describe en el Anexo 8.



**Gráfica 3-69.** Ensamble del troquel de corte y perforado.

**Fuente:** [El Autor].

### 3.6 Pruebas de Funcionamiento

El objetivo final de este trabajo es validar el diseño y construcción del troquel de corte y perforado de platina metálica de espesor 3.175 mm, para lo que se realizó una serie de pruebas del funcionamiento de este conjunto, los parámetros velocidad y fuerza de troquelado son 500 mm/s y 60 Ton, respectivamente, estos datos fueron obtenidos con antelación para el desarrollo del modelo mediante el Método de Elementos Finitos. Para ello se obtuvieron 20 muestras, de las que se verificaron el 20% como se observa en la gráfica 3-70, en forma aleatoria con instrumentos de medición para comprobar que las dimensiones finales de las piezas después de haber realizado el proceso de cizallado, cumplan los requerimientos preestablecidos por la empresa Ingeniería del Acero y Matricería, sin registrar variaciones significativas en las medidas de los elementos cortados y perforados.

Concluido el proceso de verificación como se muestra en la Gráfica 3-70, se determinó que las 4 muestras seleccionadas aleatoriamente cumplen con los requerimientos dimensionales establecidos previamente y que se observan en la Gráfica 3-20.





**Gráfica 3-70.** Piezas obtenidas mediante el troquel de corte y perforado.



**Fuente:** [El Autor].

En la Tabla 3.29, se detalla el 20% de las muestras cizalladas que fueron seleccionadas para realizar el control dimensional de las platinas cortadas y perforadas, mediante esta verificación se determinará la funcionalidad del elemento diseñado y las tolerancias dimensionales de las variaciones en caso de existir cambios dimensionales considerables.

**Tabla 3-29.** Resultados obtenidos mediante las pruebas de funcionamiento realizadas al elemento.

Fuente: [El Autor]

Requerimientos dimensionales	Número Muestra seleccionada	Dimensiones de la parte cizallada	Variación dimensional	Detalle
Radio de troquelado RT = 36.36 mm	5	RT = 35.9 mm DCP = 15.2 mm DP = 10.1 x 12 mm	RT = - 1.265 % DCP = + 1.3 % DP = + 1.01 y 0 %	
Distancia hasta el centro de la perforación DCP = 15mm	9	RT = 36.2 mm DCP = 14.9 mm DP = 9,9 x 12,1 mm	RT = - 0.44 % DCP = - 0.66 % DP = - 1% y + 0,83%	
Dimensiones de la perforación DP = ojo chino 10*12mm				

	14	RT = 36,3 mm DCP = 15 mm DP = 10 x 11,9 mm	RT = - 0.165 % DCP = 0 % DP = 0 % y - 0.83 %	 A photograph of a grey, semi-circular metal punch with a central circular hole. A small white label with the handwritten number '3P' is attached to the bottom edge.
	19	RT = 36.3 mm DCP = 15.1 mm DP = 10 x 12 mm	RT = - 0.165 % DCP = + 0.66 % DP = 0 % y 0 %	 A photograph of a grey, semi-circular metal punch with a central circular hole. A small white label with the handwritten number '4P' is attached to the bottom edge.
			<b>Promedio Variación</b> PV = 0.639 %	<b>Observaciones:</b> La variación dimensional es menor a 1% de las dimensiones requeridas, motivo por que se garantiza la funcionalidad del troquel y no se observa imperfecciones en la superficie cortada se cumple el criterio Fine Blanking (Corte Fino).

### 3.7 Presupuesto

El presupuesto detallado permite evidenciar el costo total del proyecto que es de 1100 dólares aproximadamente, siendo el 90% financiado por la empresa beneficiaria INGENIERÍA DEL ACERO Y MATRICERÍA mientras que el 10% restante fue proporcionado por el autor de esta tesis. En conclusión la realización de este proyecto fue viable para la empresa y sus beneficiarios. En la Tabla 3-30, se detalla el presupuesto total de este proyecto.

**Tabla 3-30.** Presupuesto del proyecto.

**Fuente:** [El Autor].

<b>Recursos Materia Prima</b>	Cantidad (u)	Costo (\$)
Placas de acero ASTM A36 320*320*30 mm	2	100
Eje de acero AISI SAE 4340 Ø 30 mm*150 mm	3	30
Eje acero AISI SAE 4340 Ø 63.5 mm *150mm	2	20
Placas de acero AISI-SAE D3 100*150*20 mm	4	30
Pernos cabeza hexagonal hueca de acero	30	30
Prisioneros (varios diámetros)	15	20
Eje de acero AISI-SAE D3 Ø 50.8 mm*100 mm	1	15
Placa de acero AISI-SAE D3 150*100*30 mm	2	40
<b>SUB TOTAL</b>		<b>285</b>
<b>Recursos Mano de Obra Directa</b>		<b>Costo (\$)</b>
Fresado		100
Refrentado		50
Torneado		100
Taladrado		50
Ensamblaje		50
Otros		60
<b>SUB TOTAL</b>		<b>410</b>
<b>Recursos mano de obra indirecta</b>		<b>Costo (\$)</b>
Ingeniería y diseño		200



<b>SUB TOTAL</b>	<b>20</b>
<b>Recursos Gastos Indirectos</b>	<b>Costo (\$)</b>
Logística y Comunicaciones	20
Transporte	30
Alimentación	50
Energía eléctrica	100
Internet	30
<b>SUB TOTAL</b>	<b>230</b>
<b>RUBRO</b>	<b>Costo (\$)</b>
Costo materia prima	285,00
Costo mano de obra directo	410,00
Costo de mano de obra indirecto	200,00
Gastos indirectos	230,00
<b>TOTAL</b>	<b>1095,00</b>

## CAPÍTULO IV

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 4.1 Conclusiones

- El material idóneo para la construcción de la matriz y punzones que son componentes del troquel de corte y perforado, es el acero AISI SAE D3, por las propiedades mecánicas que posee entre las que se destaca la elevada resistencia al desgaste por lo que recibe el calificativo de indeformable para trabajo en frío, acero de grado estándar ledeburítico y dimensionalmente estable.
- El acero ASTM A36 en su composición química posee un porcentaje de carbono que se establece entre [0,2 – 0,3] % motivo por el que el límite de resistencia a la ruptura varía entre 400 y 600 MPa, lo que depende exclusivamente del fabricante del acero.
- El límite de fluencia del acero AISI SAE D3 (BOHLER K100) oscila en un rango que comprende [795 – 815] MPa, lo que representa el 74,89% más de resistencia en relación al acero ASTM A36 el que será cortado mediante el proceso de troquelado y que alcanza el límite de 466 MPa. justo antes de la ruptura.
- Para el diseño y análisis de los componentes del troquel mediante el método de Elementos Finitos, es necesario evaluar el índice de calidad de malla “Skewness” para determinar la validez de los resultados obtenidos, el promedio de calidad de malla de los conjuntos de corte y perforado, en este trabajo es 0,7435 que representa una calidad de malla buena.
- La robustez de los elementos diseñados es inversamente proporcional al esfuerzo de corte que se produce cuando se realiza el proceso de troquelado y punzonado, es así que para el punzón construido el esfuerzo de corte obtenido cuando no se varió la geometría de la punta del punzón fue 608,55 MPa mientras

que para el modelo geométrico optimizado se obtuvo el valor de 228,11 MPa lo que representa el 62,5 % del esfuerzo inicial.

- Mediante el estudio de convergencia de malla realizado para el conjunto de corte y perforado se determinó que el problema analizado por el método de Elementos Finitos, si converge a una solución cuando se reduce el tamaño de la malla del modelo analizado.
- La forma hexagonal del mallado permite ahorrar gasto computacional y aporta mayor precisión en los resultados obtenidos siendo el primer método recomendado para realizar un análisis como el desarrollado en este trabajo. La forma de malla tetraédrica es considerada como segunda opción y se crea de forma automática cuando se genera una malla sin ingresar parámetros de control del mallado.
- Las 20 muestras obtenidas mediante el troquel de corte y perforado fueron analizadas mediante calibradores pie de rey para verificar las dimensiones requeridas por la empresa beneficiaria, obteniendo un resultado positivo en el lote seleccionado aleatoriamente de la muestra obtenida, es decir el 20% de las piezas fueron verificadas y el mismo porcentaje aprobaron la revisión.

#### **4.2 Recomendaciones**

- Utilizar elementos de malla hexagonales, como primera opción ya que mediante esta forma de la malla se consigue mayor precisión en los resultados y mejor eficiencia numérica. Utilizando un gasto y tiempo computacional manejable.
- Ubicar los ejes de la mesa de trabajo en la posición (0,0) haciendo referencia al desplazamiento sobre los ejes X, Z ya que de presentarse inconvenientes cuando se está mecanizando las piezas se puede retomar con facilidad la posición de inicio, desplazando manualmente la mesa, esto es de gran utilidad en especial cuando se rompe hilo electrodo y se debe reiniciar el ciclo de trabajo.
- Verificar las sujeciones de las piezas sobre la mesa de trabajo con la finalidad de evitar el desplazamiento de estos elementos lo que genera errores dimensionales cuando ocurren y elevan el tiempo de mecanizado, hasta que el hilo electrodo logre estar totalmente perpendicular a las piezas.

- Utilizar imanes de neodimio (NdFeB imán permanente) para asegurar la sujeción de los elementos que van a ser mecanizados, por la elevada remanencia, que determina la fuerza del campo magnético y la coercitividad, que determina la capacidad del material para ser desmagnetizado permiten crear un campo magnético con mayor fuerza y homogeneidad garantizando mayor capacidad de sujeción de las piezas.
- Se recomienda que el ingreso de la platina metálica de 6m de longitud en el conjunto del troquel sea sobre una superficie plana completamente horizontal  $0^\circ$ , para evitar que exista variaciones en las dimensiones de la pieza cortada y se produzca atascamiento de la misma.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. C. Castillo. (2001). Desarrollo de una técnica de diseño de troqueles de alta velocidad para producir laminación rotor-estator grapado. [On-line]. Disponible en: <http://eprints.uanl.mx/5316/>
- [2] A. Murillo. (2012). Diseño y Construcción de un conjunto de matrices de punzonado, marcado y multicorte para la producción de piezas de una pala excavadora en un proceso continuo automático. [On-line]. Disponible en: <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/4590>
- [3] L. Álvarez. (2009). Metodología para el diseño de troqueles de corte de chapa metálica. [On-line]. Disponible en: <https://red.uao.edu.co/bitstream/10614/1313/1/TME00449.pdf>
- [4] A. Martínez y Otros. (2012). Diseño De Troquel Para El Proceso De Corte Fino Usando Herramientas CAD-CAE. [On-line]. Disponible en: [http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1\\_93.pdf](http://somim.org.mx/articulos2010/memorias/memorias2012/articulos/pdfs/A1/A1_93.pdf)
- [5] J. K. Budynas R.G. y Nisbett. Diseño en Ingeniería Mecánica de Shigley. México: Octava edición, Editorial McGraw-Hill, 2008.
- [6] R. L. Mott. Diseño de Elementos de Máquinas. México: Editorial PEARSON EDUCATION, 2006.
- [7] ASTM American Society for Testing Materials. (2009). Método de prueba de ensayo a tracción para metales. [On-line]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/file.PostFileLoader.html?id=56eb722993553bbbe15bbe8f&assetKey=AS%3A340826430427147%401458270761896>
- [8] ASTM American Society for Testing Materials. (2002). Método de prueba de ensayo a flexión para metales. [On-line]. Disponible en: <http://files.instrument.com.cn/bbs/upfile/2009316112019.pdf>

[9] R., Kalpakjian S. y Schmid S. Manufactura Ingeniería y Tecnología. México: Editorial PEARSON EDUCATION, 2008.

[10] M. Rossi. Estampado en Frío de la Chapa. Estampas –matrices – punzones - prensas y máquinas. Madrid: Novena Edición, Editorial DOSSAT S.A., 1979.

[11] C. Cruz. (2015). Automatización de una Troqueladora y diseño de un troquel para arandelas de cobre. [On-line]. Disponible en: <http://dspace.esoch.edu.ec/bitstream/123456789/4484/1/15T00593.pdf>

[12] A. Florit. (2016). Tratado de Matricería. [On-line]. Disponible en: <https://es.scribd.com/document/335207250/Tratado-de-Matriceria-Florit>

[13] ANSYS Inc. (2014). Índices de calidad de malla. [On-line]. Disponible en: [http://www.grupossc.com/ponencias/ponencia\\_39114164442.pdf](http://www.grupossc.com/ponencias/ponencia_39114164442.pdf)

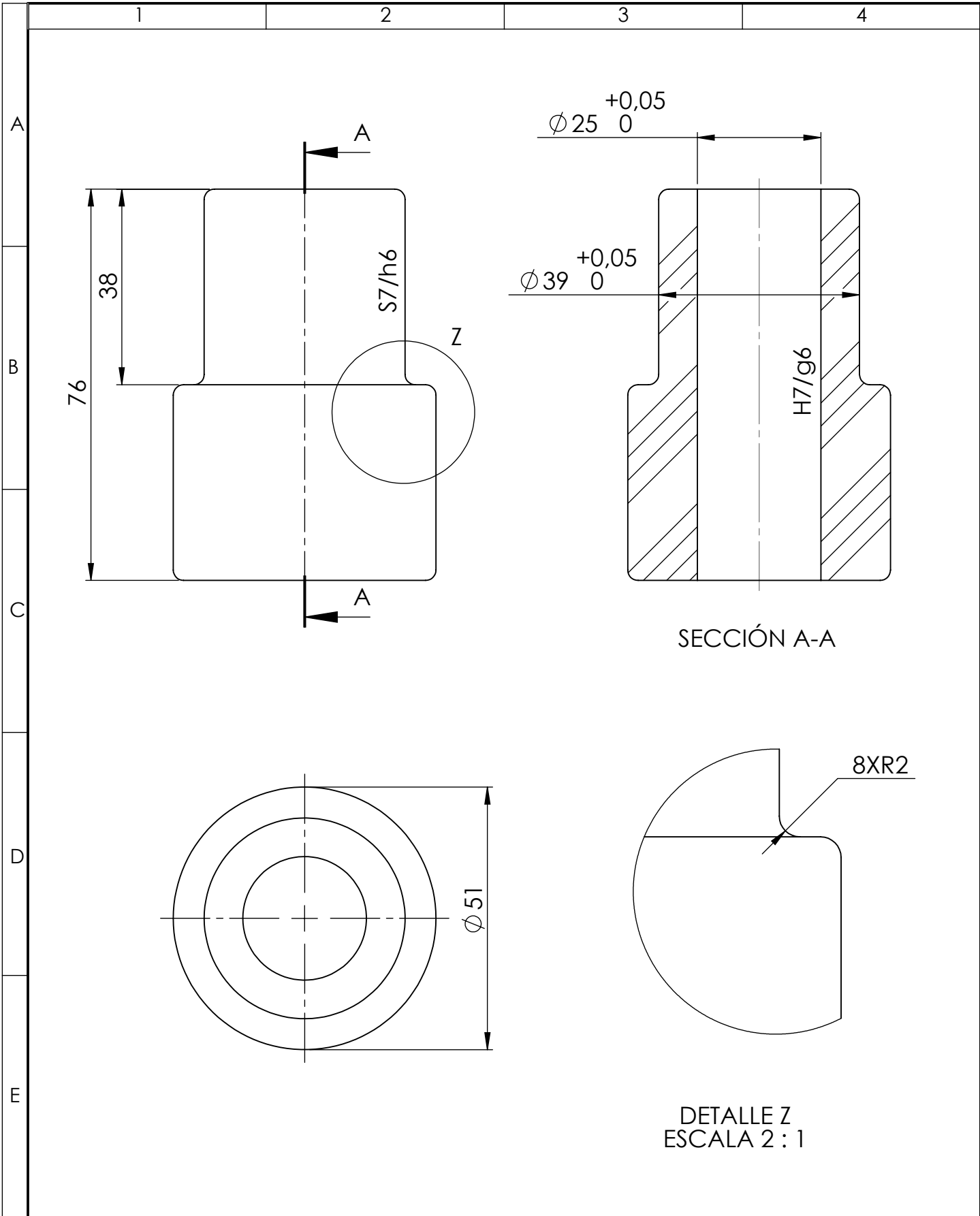
[14] TECNUN. Universidad de Navarra. España. Introducción a la Electroerosión. [On-line]. Disponible en: <http://www4.tecnun.es/asignaturas/labfabricacion/LCSF/pdfs/Electroerosion.pdf>

[15] Jiangsu Fangzheng CNC Machine Tool Co. Ltda. (2013). EDM WireCut DK77 CNC Machine. [On-line]. Disponible en: [www.jsfzsk.net](http://www.jsfzsk.net)

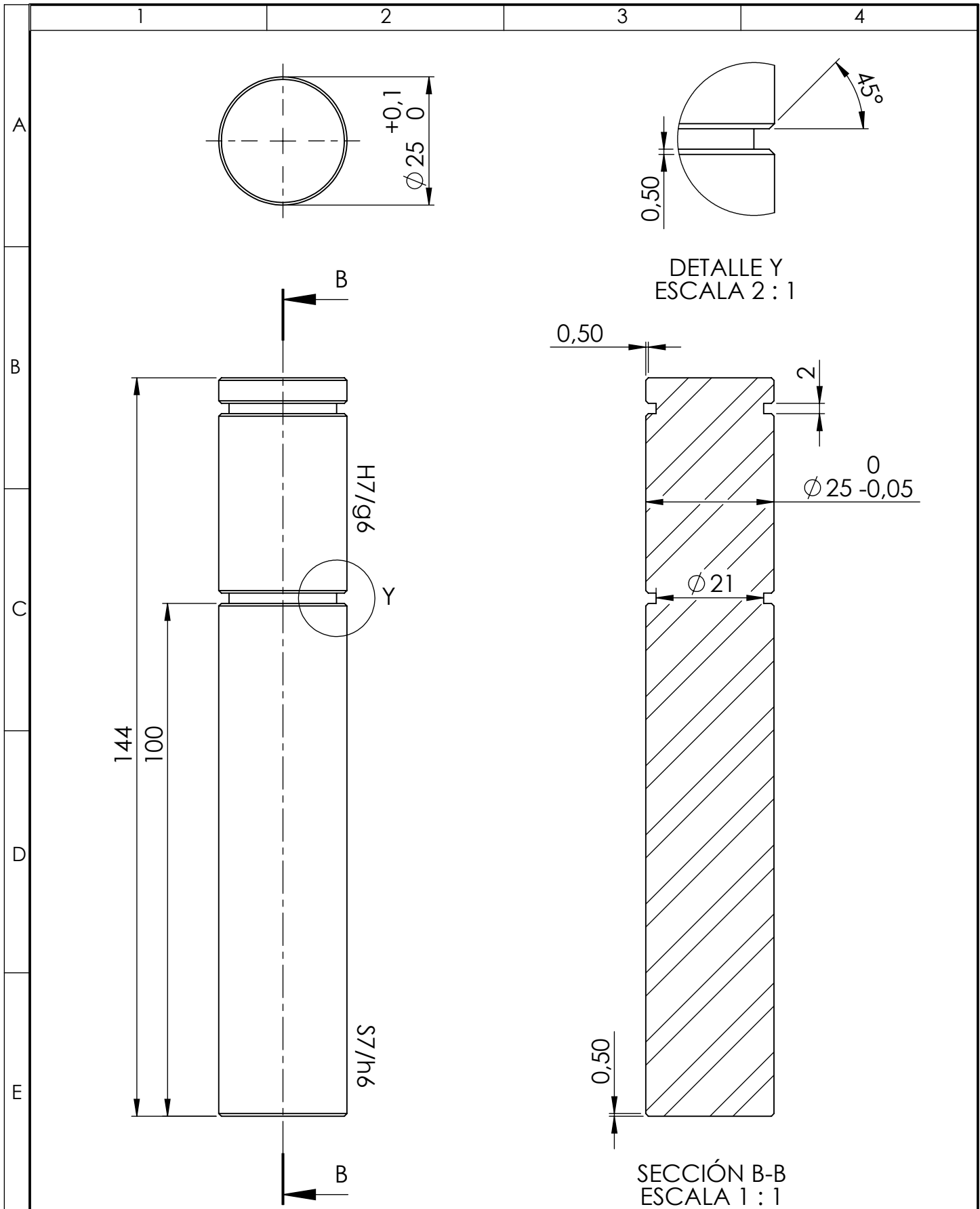
# **ANEXOS**

**Anexo 1**  
**Planos**





				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0.05	0.684 Kg	ACERO AISI SAE D3	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ: 01/01/2018	DANIEL PÉREZ P	BUJE GUÍA	1:1
				REVISÓ:			
				APROBÓ:			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
						HOJA 01 DE 13	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			



				TOLERANCIA: $\pm 0.1$	PESO: 0.549Kg	MATERIAL: ACERO AISI SAE 4340	
						TÍTULO: COLUMNAS GUÍA	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 01/01/2018	NOMBRE: DANIEL PÉREZ P		
				REVISÓ:			
				APROBÓ:			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA: HOJA 02 DE 13	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	

1

2

3

4

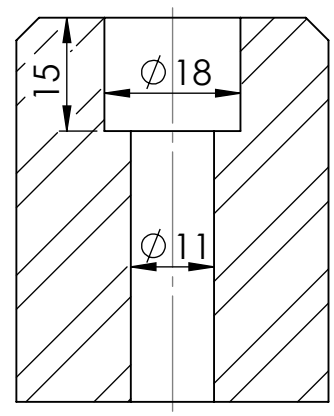
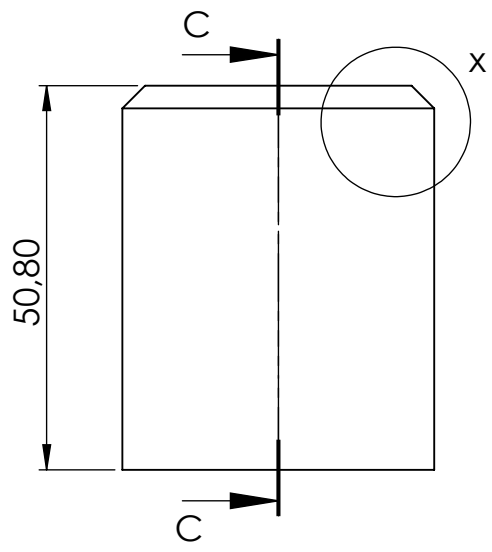
A

B

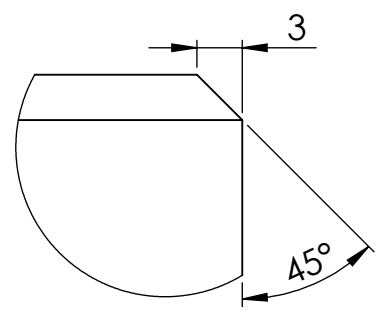
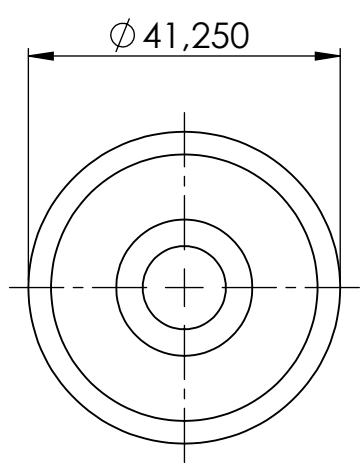
C

D

E

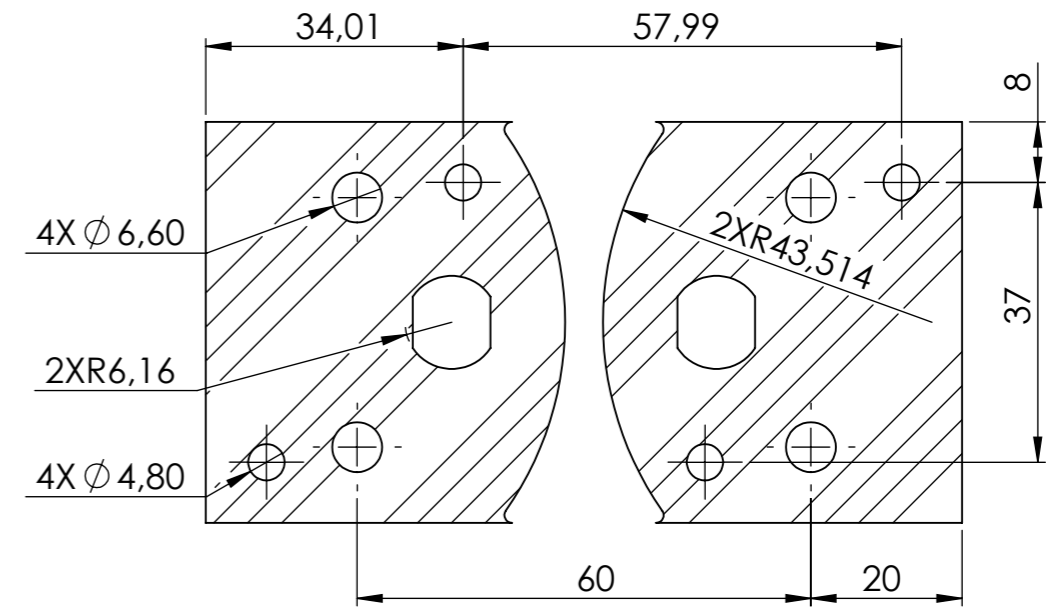
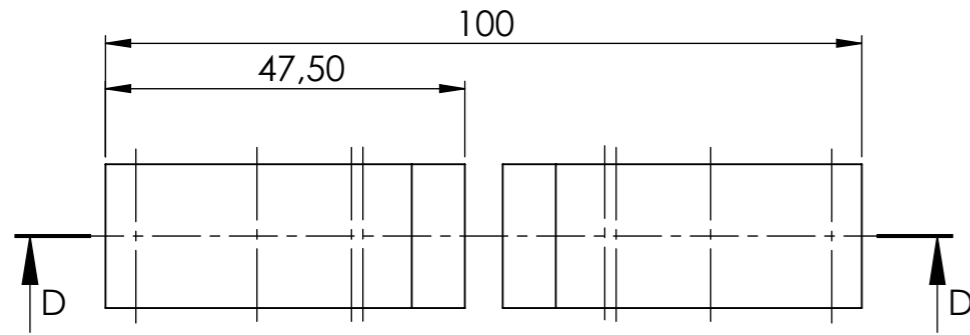


SECCIÓN C-C

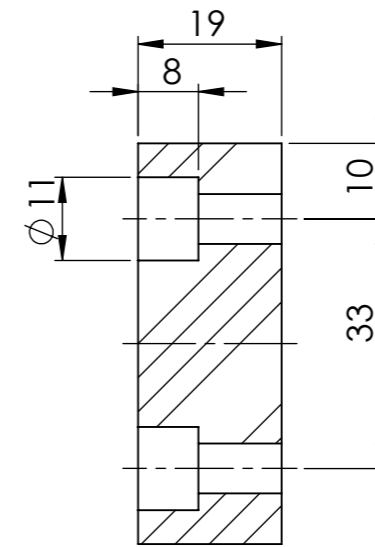
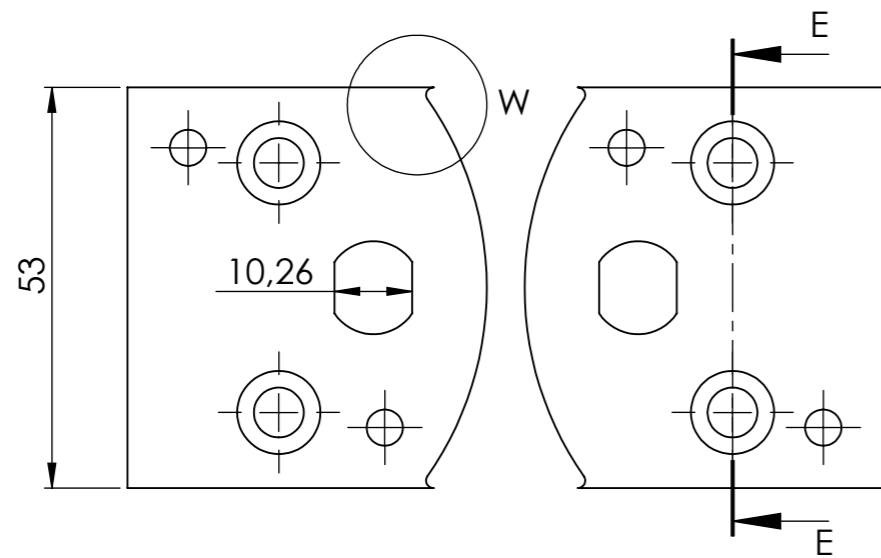


DETALLE x  
ESCALA 2 : 1

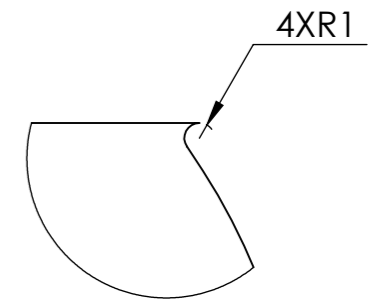
				TOLERANCIA: ±0.15	PESO: 0.472 Kg	MATERIAL: ACERO AISI SAE 4340	
						TÍTULO: ESPIGA DE SUJECIÓN	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 01/01/2018	NOMBRE: DANIEL PÉREZ P		
				REVISÓ:			
				APROBÓ:			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA: HOJA 03 DE 13	REGISTRO: 
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	



SECCIÓN D-D

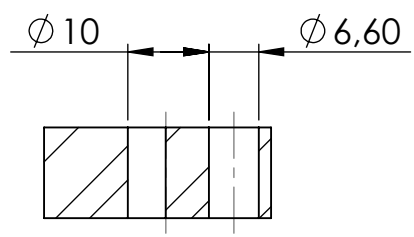
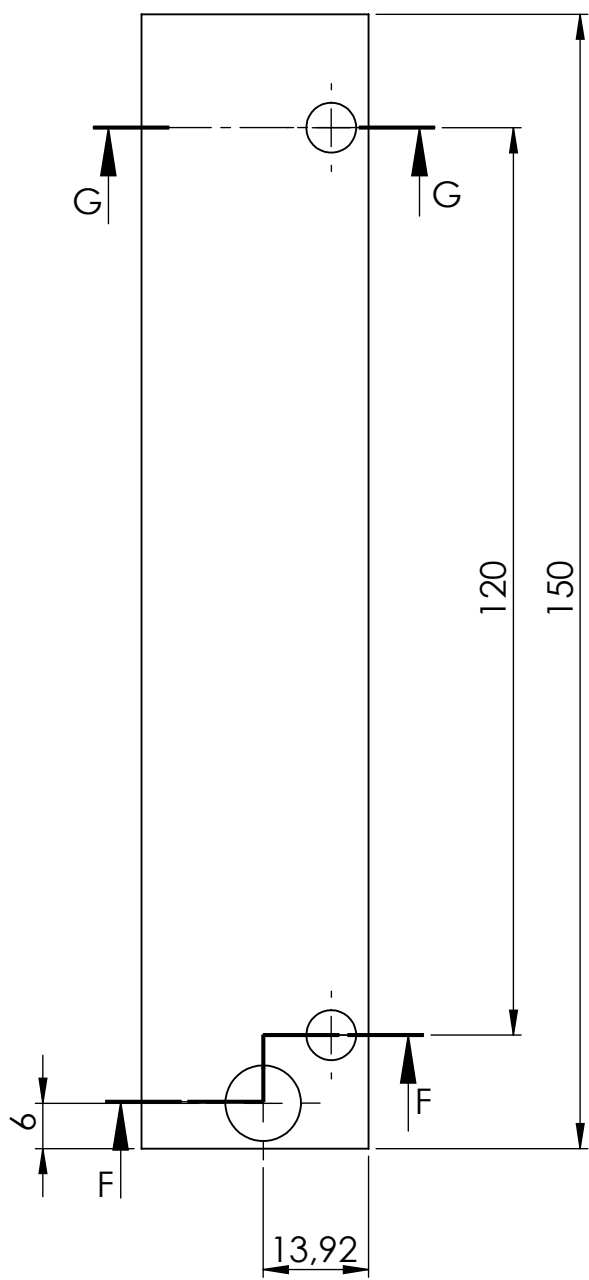
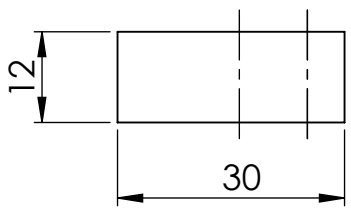


SECCIÓN E-E

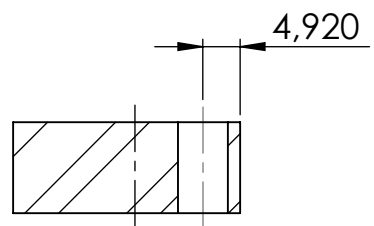


DETALLE W  
ESCALA 2 : 1

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
				±0,1	0.618 Kg	ACERO AISI SAE D3	
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	
				DIBUJÓ: 01/05/2017	DANIEL PÉREZ	MATRIZ DE CORTE Y PERFORADO	
				REVISÓ:		ESCALA:	
				APROBÓ:		1:1	
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA	
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 04 DE 13	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:			REGISTRO:

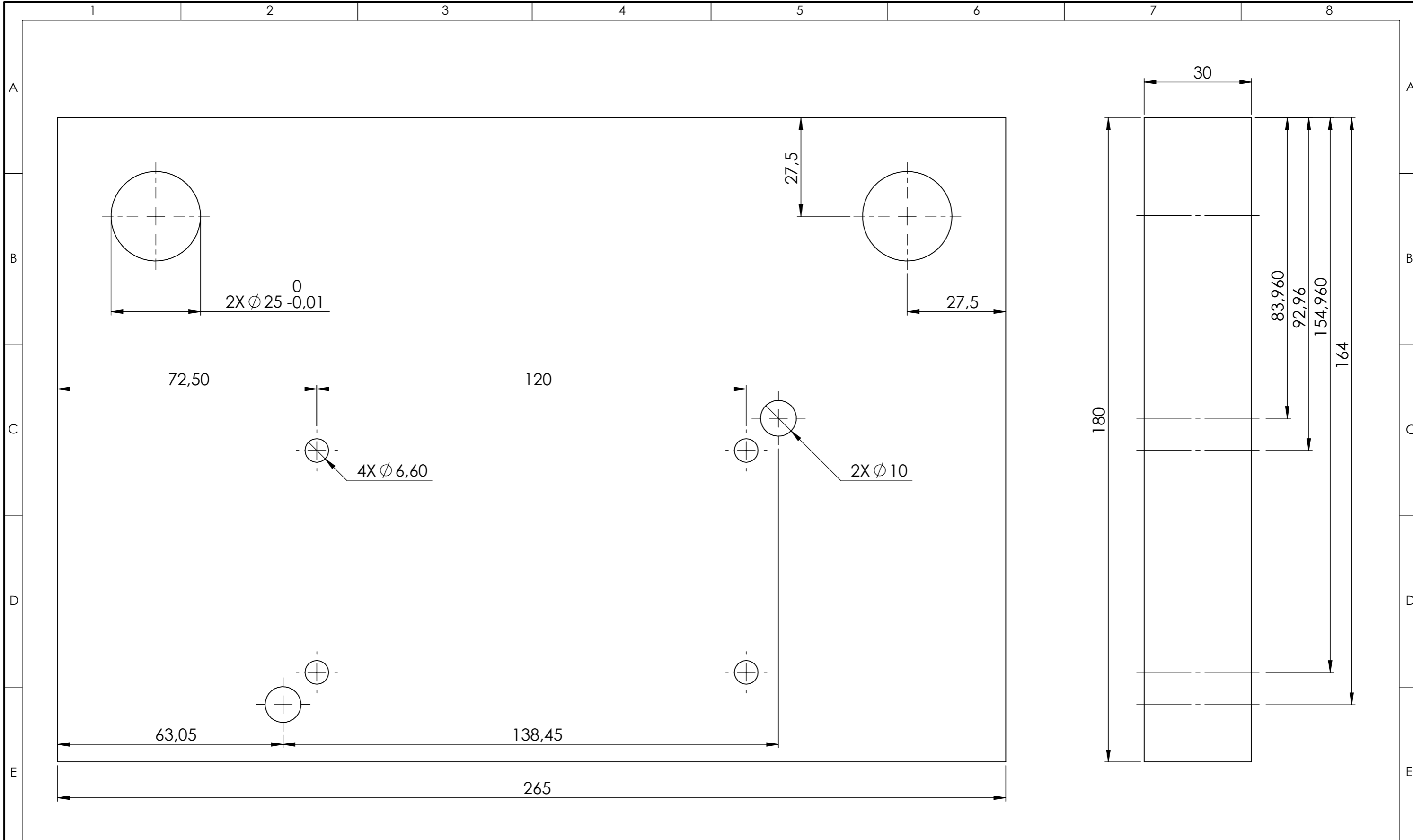


SECCIÓN F-F  
ESCALA 1 : 1

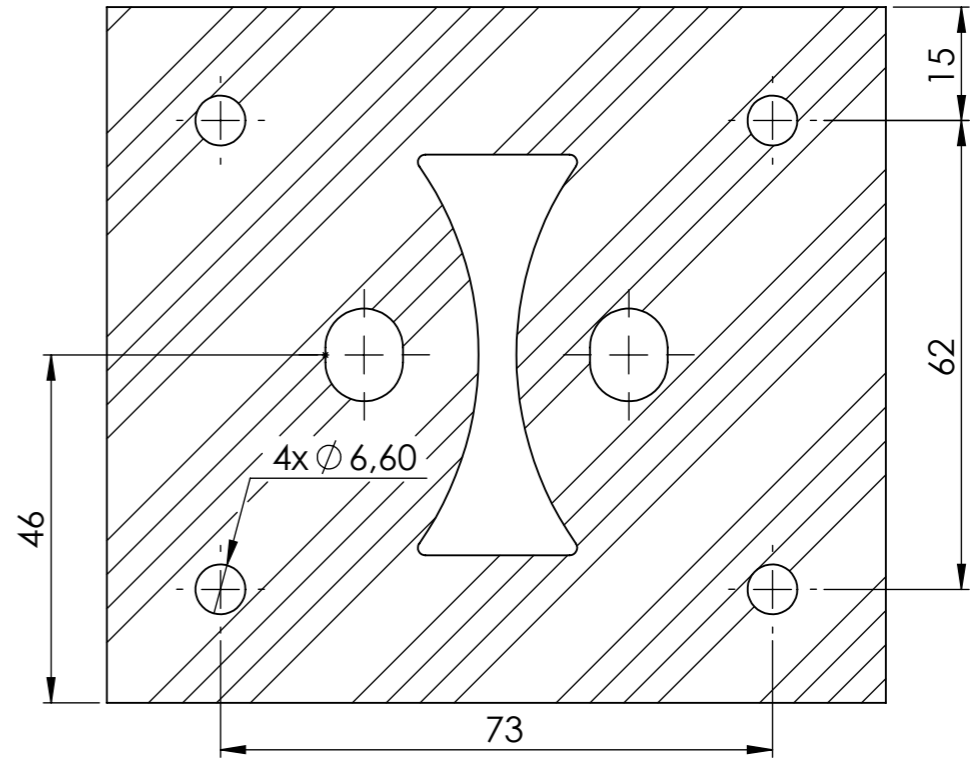
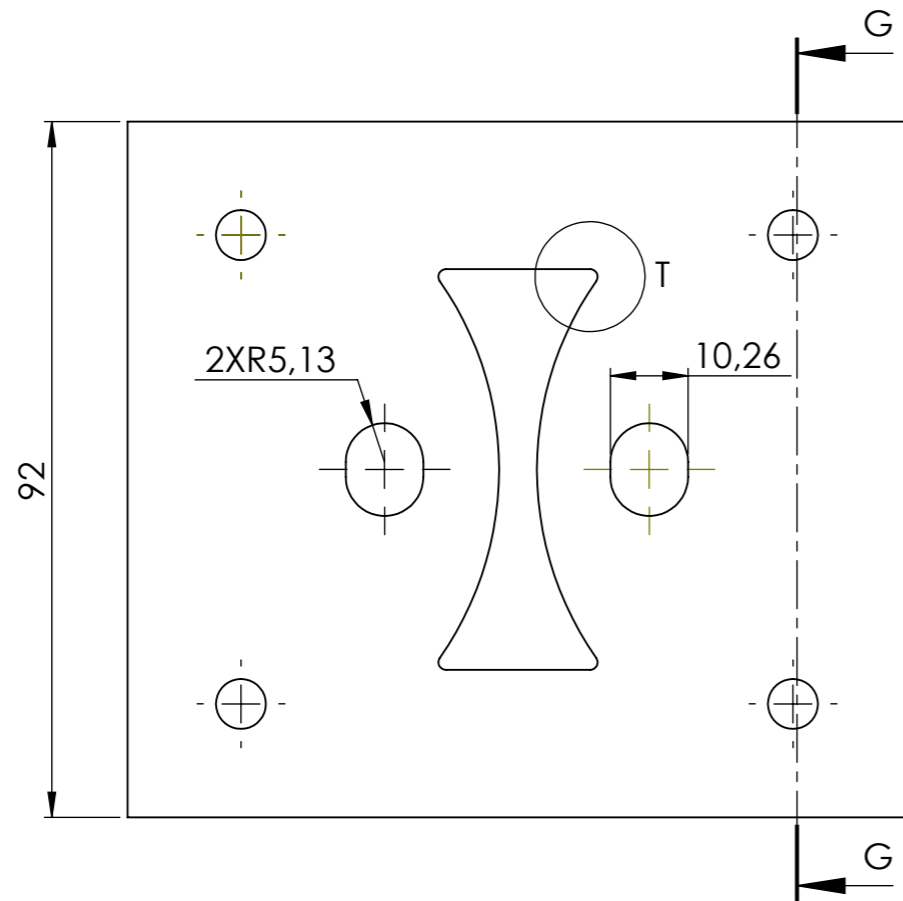
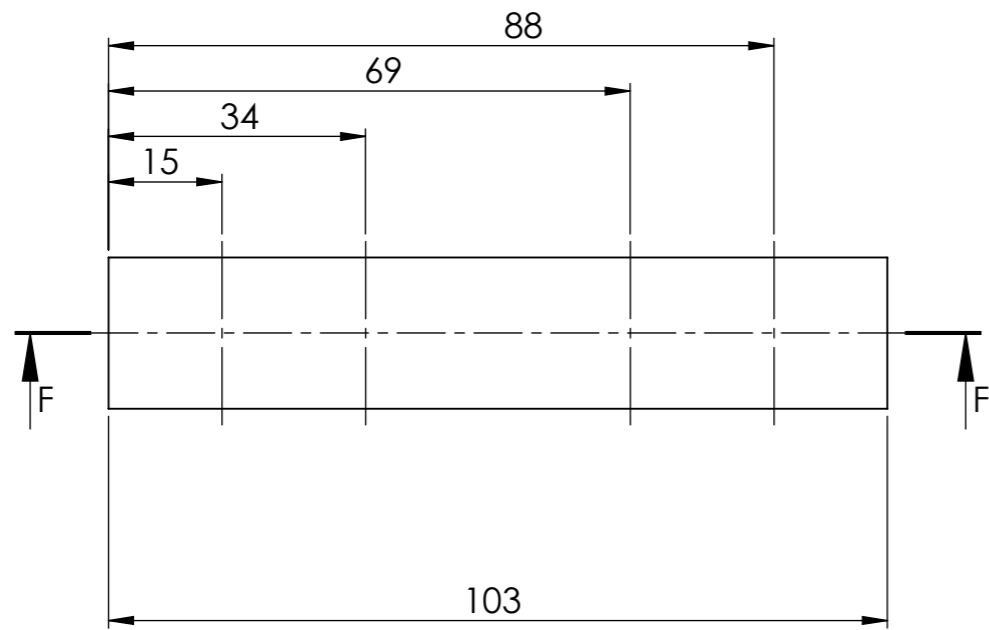


SECCIÓN G-G  
ESCALA 1 : 1

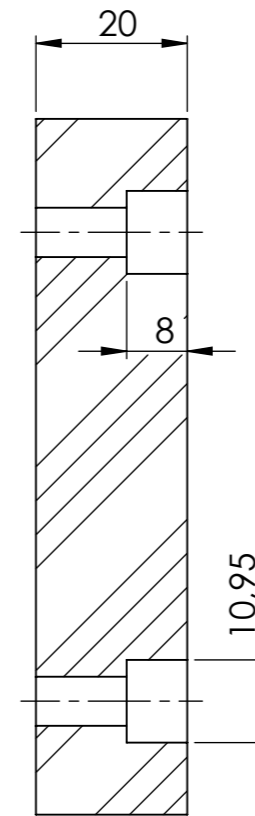
				TOLERANCIA: ±0.15	PESO: 0.410 Kg	MATERIAL: ACERO ASTM A36		
						TÍTULO: PARALELA	ESCALA: 1:1	
				DIBUJÓ:	FECHA: 01/01/2018			
				REVISÓ:	NOMBRE: DANIEL PÉREZ P			
				APROBÓ:				
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA: HOJA 05 DE 13	REGISTRO:	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:		



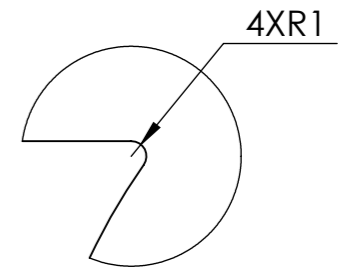
TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0,15		10.934 Kg		ACERO ASTM A36	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJÓ: 01/05/2017		DANIEL PÉREZ		PLACA BASE TROQUEL	
REVISÓ:				ESCALA:	
APROBÓ:				1:1	
U.T.A.				N.º DE LÁMINA	
INGENIERÍA MECÁNICA				HOJA 06 DE 13	
EDICIÓN:		MODIFICACION:		SUSTITUCIÓN:	
FECHA:		NOMBRE:		REGISTRO:	



SECCIÓN F-F

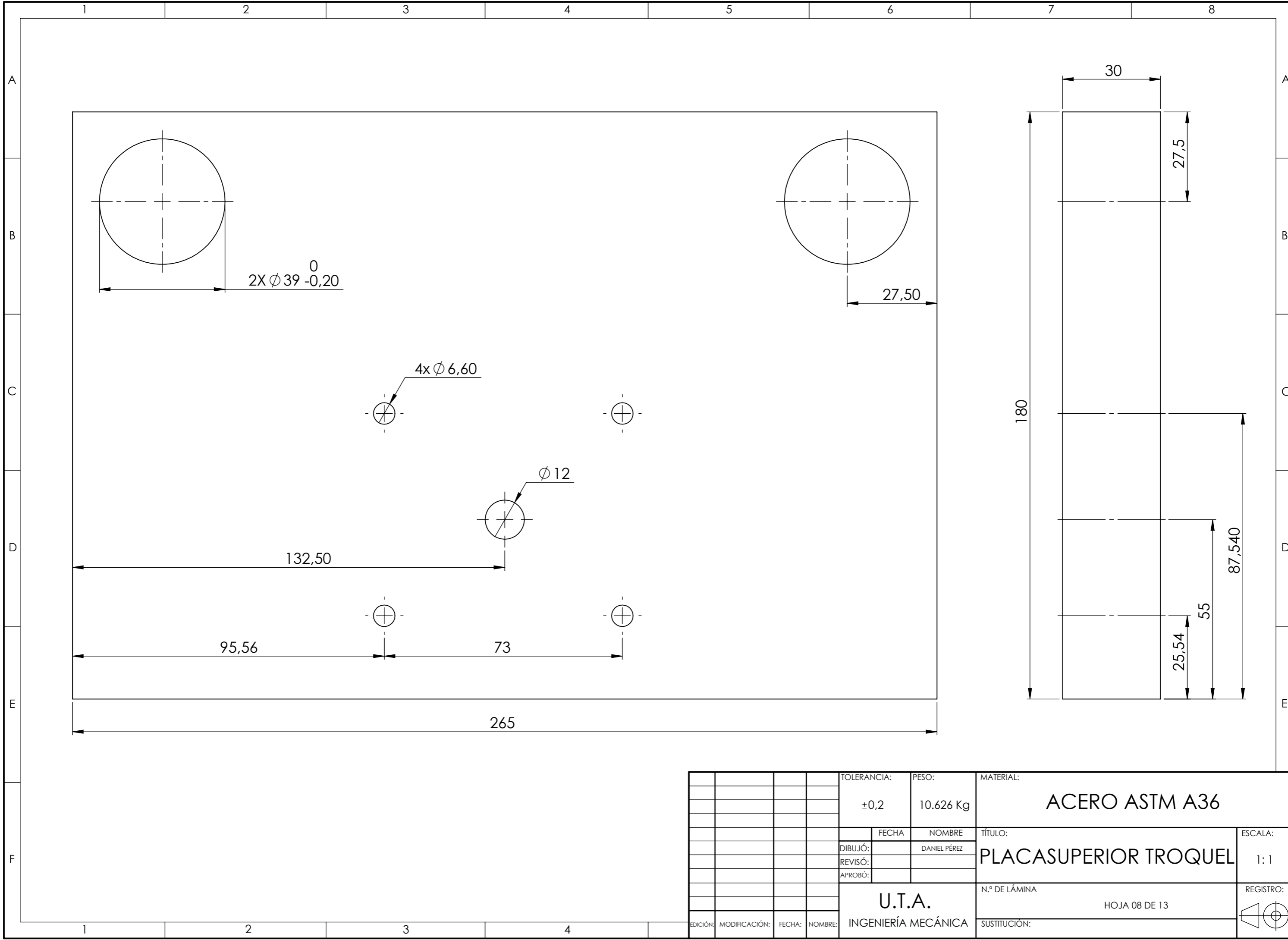


SECCIÓN G-G



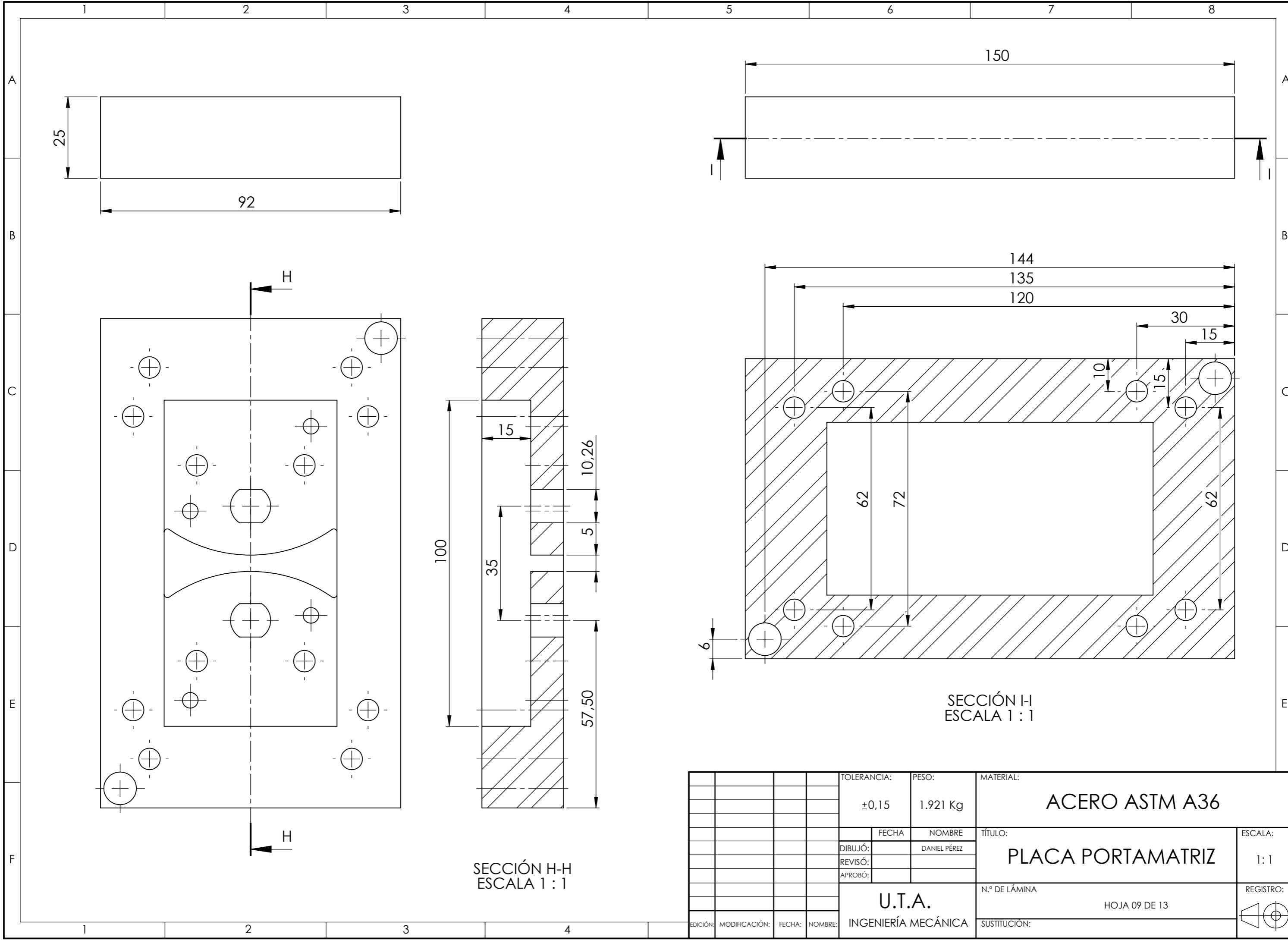
DETALLE T  
ESCALA 2 : 1

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,15	0.7 Kg	ACERO ASTM A36		
				FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ:	DANIEL PÉREZ	PLACA PORTA PUNZONES		1:1
				REVISÓ:				
				APROBÓ:				
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA		REGISTRO:
				INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 07 DE 13		◀ ⊕
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:				



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0,2	10.626 Kg	ACERO ASTM A36		
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:
				DIBUJÓ:		DANIEL PÉREZ	PLACASUPERIOR TROQUEL	1:1
				REVISÓ:				
				APROBÓ:				
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA			N.º DE LÁMINA	REGISTRO:
							HOJA 08 DE 13	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:				SUSTITUCIÓN:	

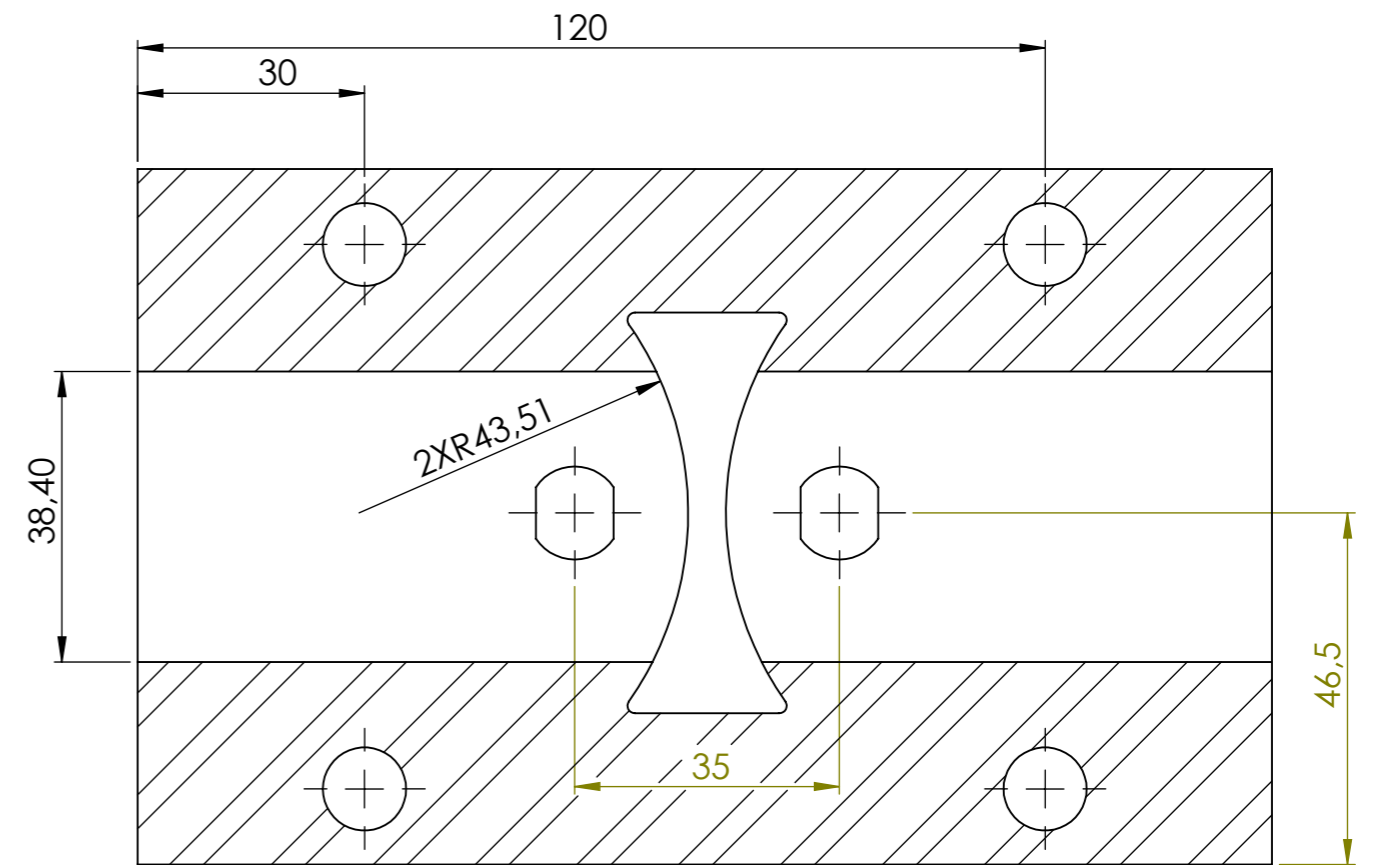
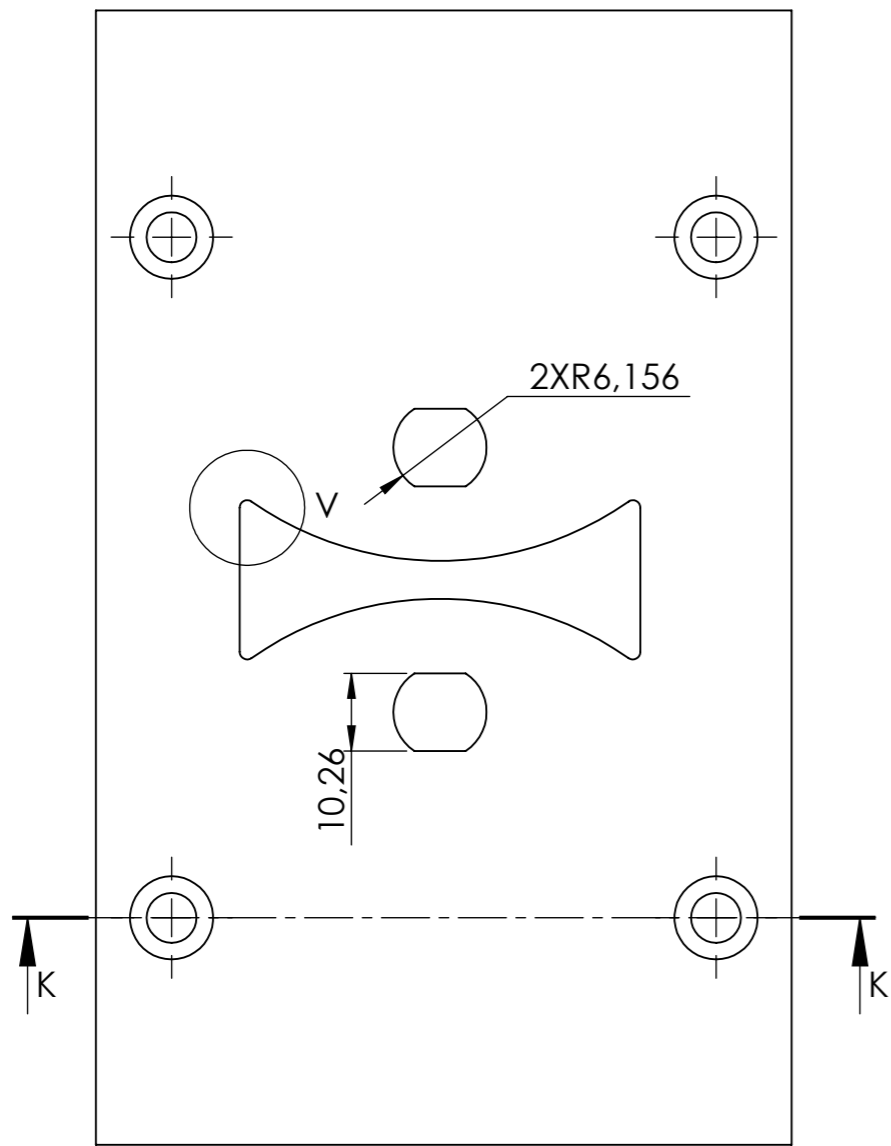
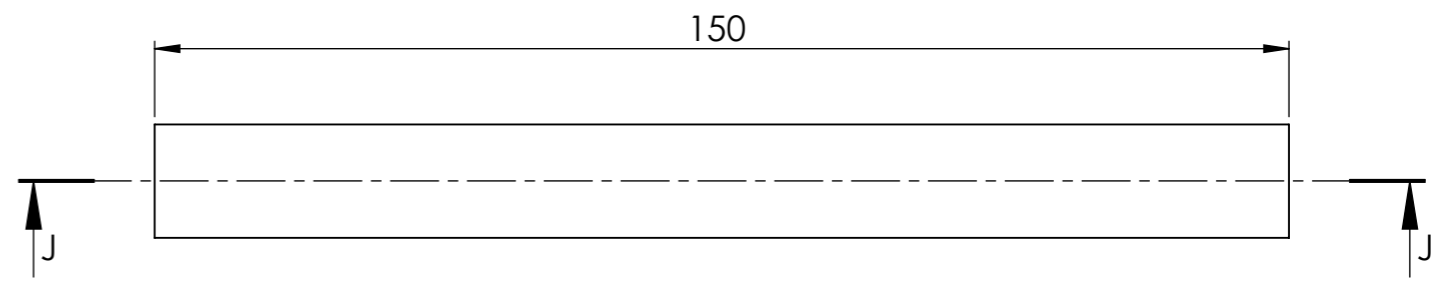
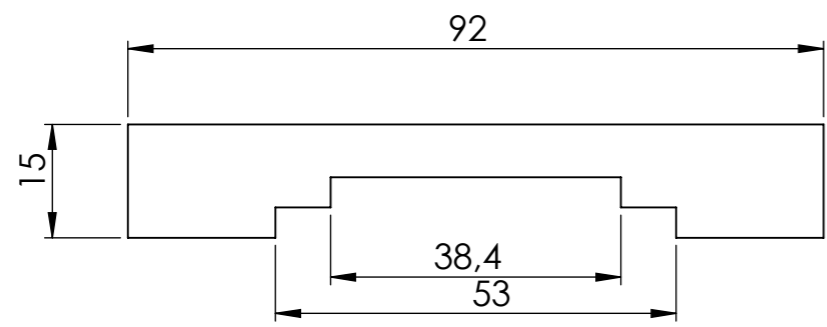




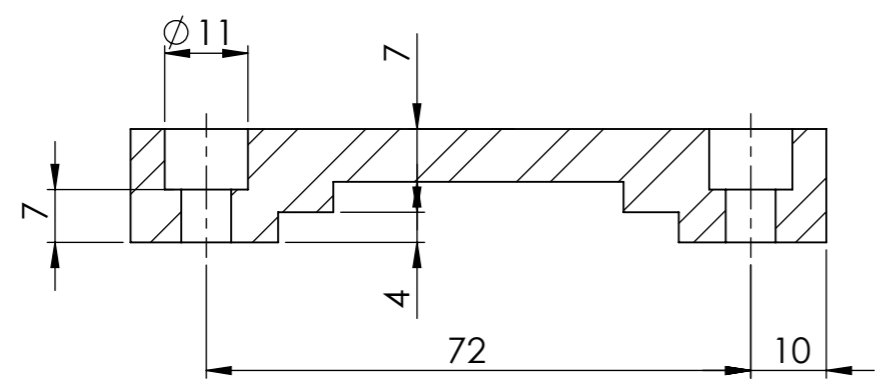
SECCIÓN H-H  
ESCALA 1 : 1

SECCIÓN I-I  
ESCALA 1 : 1

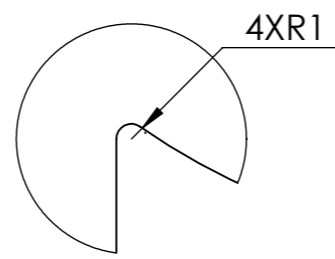
		TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:	
		±0,15	1.921 Kg	ACERO ASTM A36	
		FECHA:	NOMBRE:	TÍTULO:	ESCALA:
		DIBUJÓ:	DANIEL PÉREZ	PLACA PORTAMATRIZ	1 : 1
		REVISÓ:			
		APROBÓ:		N.º DE LÁMINA:	REGISTRO:
		U.T.A.		HOJA 09 DE 13	
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:	
			INGENIERÍA MECÁNICA		



SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 : 1

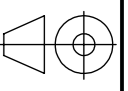


SECCIÓN K-K  
ESCALA 1 : 1



DETALLE V  
ESCALA 2 : 1

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0,15		1.110 Kg		ACERO ASTM A36	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
DIBUJÓ:		DANIEL PÉREZ		PUENTE SUPERIOR	
REVISÓ:				ESCALA:	
APROBÓ:				1 : 1	
EDICIÓN:		MODIFICACIÓN:		REGISTRO:	
FECHA:		NOMBRE:		N.º DE LÁMINA	
				HOJA 10 DE 13	
		INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	



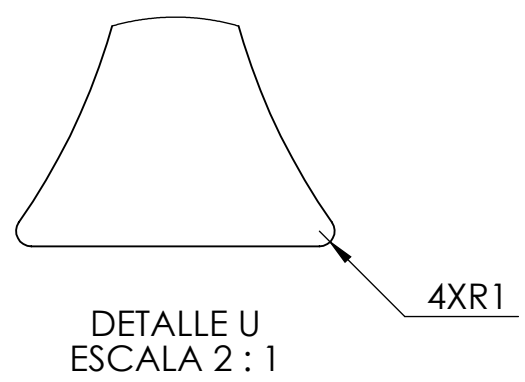
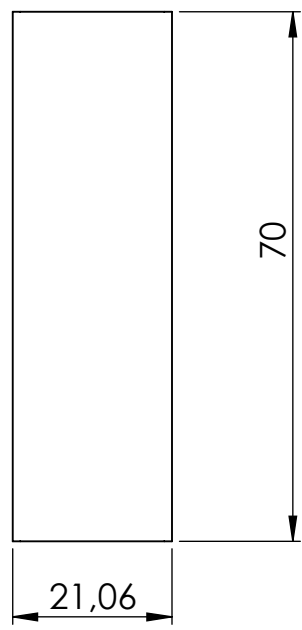
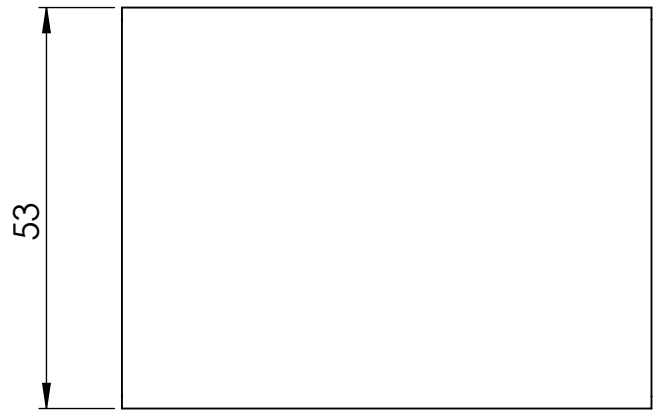
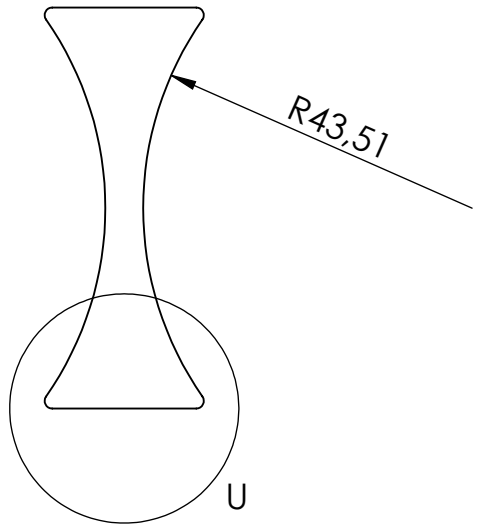
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0.15	0.306 Kg	ACERO AISI SAE D3		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:	ESCALA:	
				DIBUJÓ: 01/01/2018	DANIEL PÉREZ P		PUNZÓN DE CORTE	1:1
				REVISÓ:				
				APROBÓ:		N.º DE LÁMINA	REGISTRO:	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		HOJA 11 DE 13		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:		

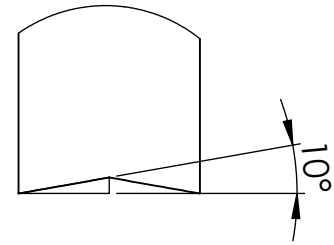
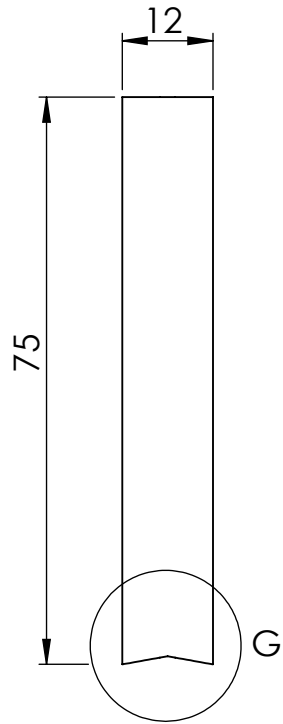
1

2

3

4

A

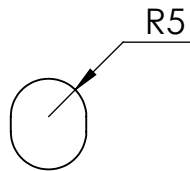


DETALLE G  
ESCALA 2 : 1

B

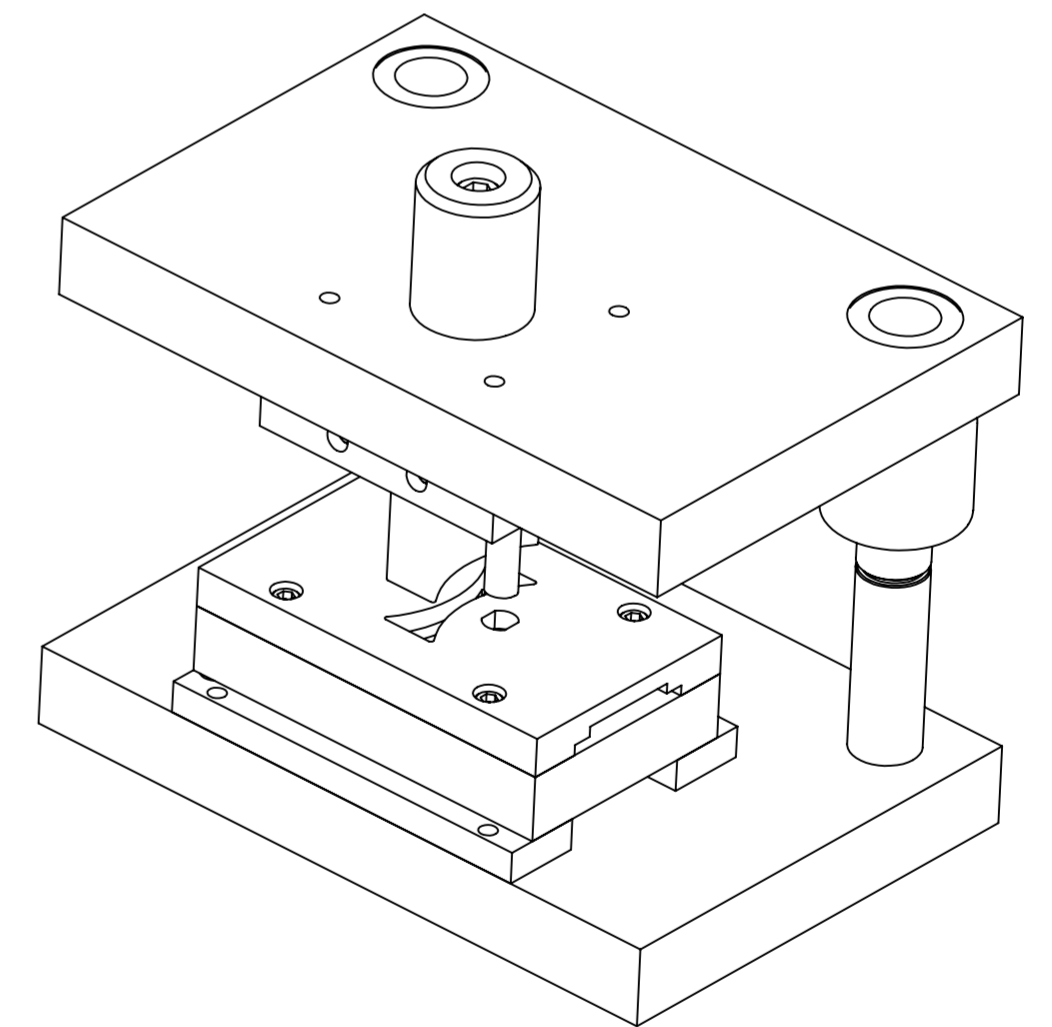
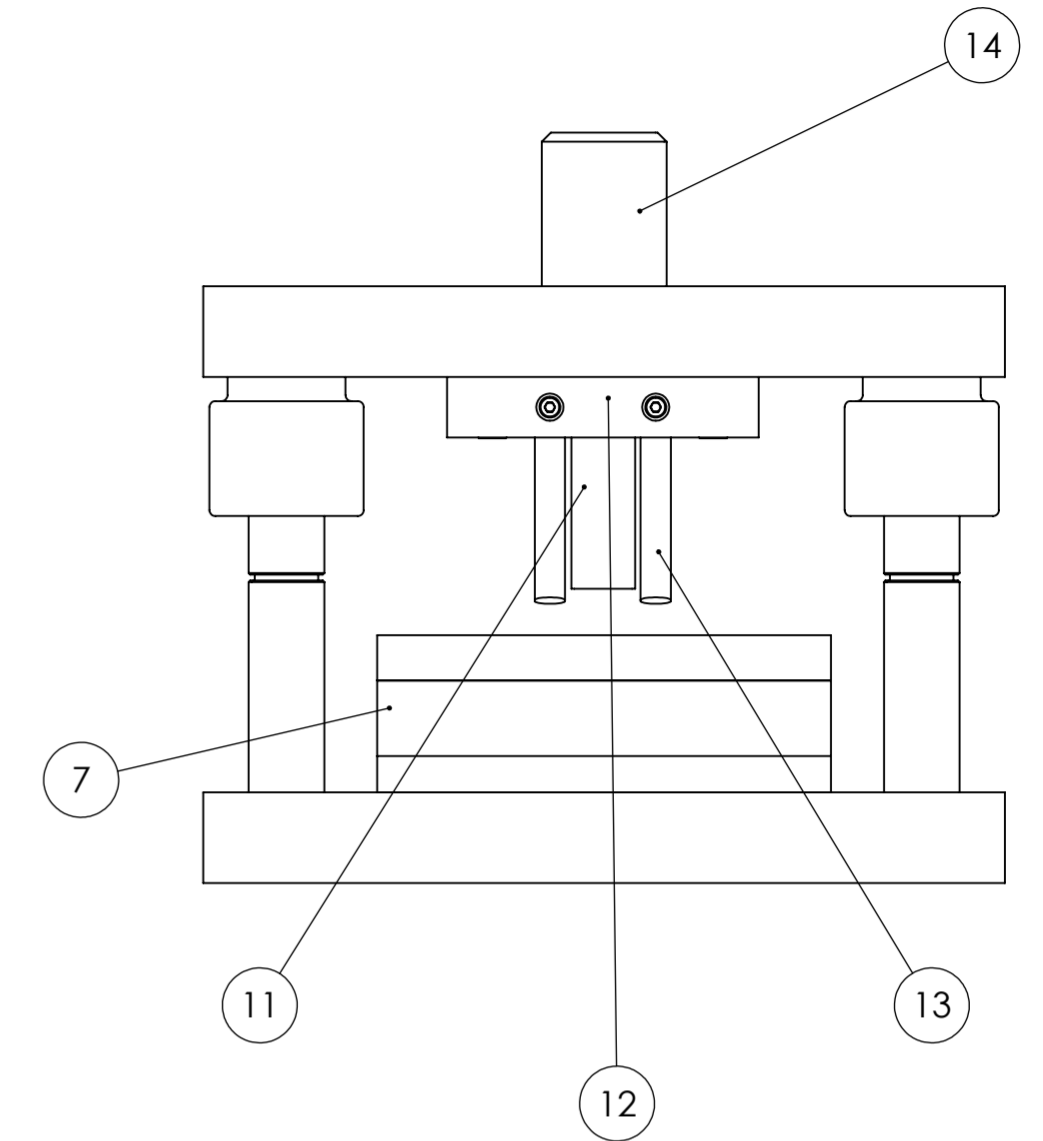
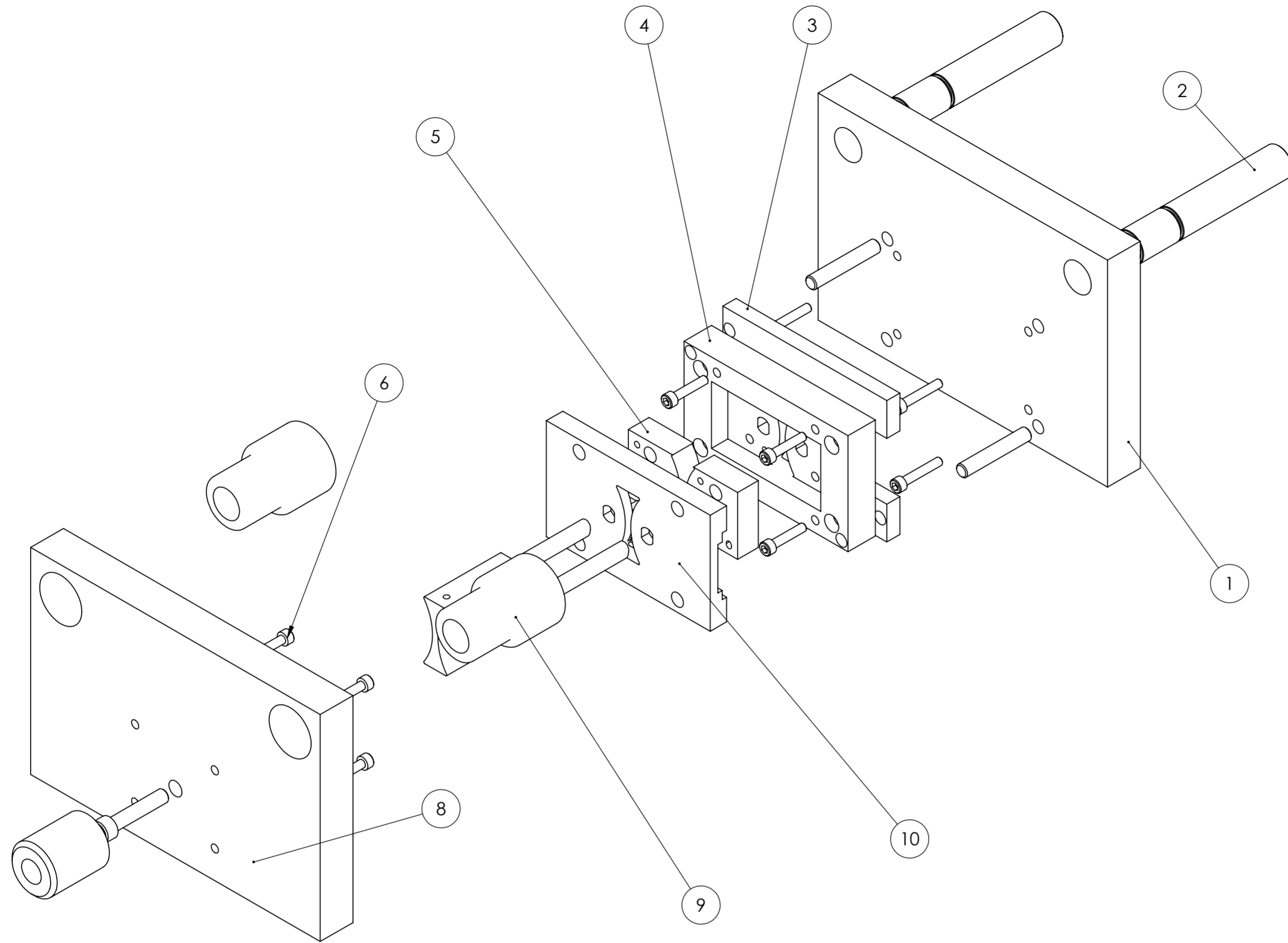
C

D



E

				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 0.059 Kg	MATERIAL: ACERO AISI SAE D3	
						TÍTULO: PUNZÓN DE PERFORADO	ESCALA: 1:1
				DIBUJÓ: 01/01/2018	NOMBRE: DANIEL PÉREZ P		
				REVISÓ:			
				APROBÓ:			
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA HOJA 12 DE 13	REGISTRO: 
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	



N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	MATERIAL	Masa Kg
1	Placa Base	Elemento donde se ensambla la parte fija del troquel	1	Acero ASTM A36	10.935
2	Columna Guía	Columna donde se desliza la parte móvil del troquel	2	Acero AISI SAE 4340	0.549
3	Paralelas Guía	Paralelas que permiten la eliminación del retal	2	Acero ASTM A36	0.410
4	Placa Porta Matriz	Permite la sujeción de la matriz	1	Acero ASTM A36	1.9
5	Matriz De Corte	Conjunto para corte de placa metálica	1	Acero AISI SAE D3	0.618
6	Perno Hexagonal cabeza Hueca tipo ALLEN	Elemento de ensamble	20	Acero Austenítico	-
7	Pasadores fijos	Elemento de amarra	2	Acero Plata	-
8	Placa Base Superior	Elemento donde se ensambla el conjunto de punzones	1	Acero ASTM A36	10.626
9	Buje Guía	Elemento de unión entre las partes superior e inferior	2	Acero AISI SAE 4340	0.684
10	Puente	Elemento de guía para la platina metálica	1	Acero ASTM A36	1.1
11	Punzón De Corte	Elemento que realiza el corte	1	Acero AISI SAE D3	0.306
12	Placa Portapunzones	Elemento de sujeción del conjunto de punzones	1	Acero ASTM A36	0.71
13	Punzón de Perforado	Elemento de perforado de placa metálica	2	Acero AISI SAE D3	0.059
14	Espiga de Sujeción	Elemento de sujeción entre la matriz y la troqueladora	1	Acero AISI SAE 4340	0,47

TOLERANCIA:		PESO:		MATERIAL:	
±0.15		30.9 kg		VARIOS	
FECHA:		NOMBRE:		TÍTULO:	
16/05/2017		DANIEL PÉREZ P.		ENSAMBLE TROQUEL	
REVISO:		APROBO:		N.º DE LÁMINA:	
				HOJA 13 DE 13	
EDICIÓN:		MODIFICACIÓN:		FECHA:	
				INGENIERÍA MECÁNICA	
				SUSTITUCIÓN:	
				REGISTRO:	

Anexo 2.

Propiedades físicas y mecánicas de acero AISI SAE D3 (BOHLER K100)



**KALTARBEITSSTAHL**  
**COLD WORK TOOL STEEL**



**Qualitativer Vergleich der wichtigsten  
Eigenschaftsmerkmale**

**Qualitative comparison of the major  
steel properties**

Marke / Grade BÖHLER	Verschleißwiderstand abrasiv  Wear resistance abrasive	Verschleißwiderstand adhäsiv  Wear resistance adhesive	Zähigkeit  Toughness	Druckbelastbarkeit  Compressive strength	Maßbeständigkeit bei der Wärmebehandlung  Dimensional stability during heat treatment
<b>BÖHLER K100</b>	***	**	*	**	**
<b>BÖHLER K105</b>	**	**	*	**	**
<b>BÖHLER K107</b>	***	**	*	**	**
<b>BÖHLER K110</b>	***	**	*	**	**
<b>BÖHLER K245</b>	*	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K305</b>	*	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K306</b>	*	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K329</b>	**	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K340 ISODUR</b>	***	***	***	***	***
<b>BÖHLER K353</b>	***	***	*****	**	**
<b>BÖHLER K360 ISODUR</b>	****	****	**	****	***
<b>BÖHLER K390 MICROCLEAN</b>	*****	*****	***	*****	***
<b>BÖHLER K455</b>	*	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K460</b>	*	*	****	*	*
<b>BÖHLER K600</b>	*	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K605</b>	*	*	*****	*	*
<b>BÖHLER K720</b>	*	*	****	*	*
<b>BÖHLER K890 MICROCLEAN</b>	***	***	*****	****	***
<b>BÖHLER K700</b>	Austenitischer Manganstahl, der seine charakteristischen Eigenschaften durch Kaltverfestigung bei Schlag- und Druckbeanspruchung erhält. Deshalb ist ein Vergleich mit den härtbaren Stählen in dieser Form nicht möglich. Austenitic manganese steel maintaining its characteristic properties by work hardening under impact and compressive stresses. Therefore it is not comparable with the hardenable steels in this form.				

Die Tabelle soll einen Anhalt für die Auswahl von Stählen bieten. Sie kann jedoch die unterschiedlichen Beanspruchungsverhältnisse für verschiedene Einsatzgebiete nicht berücksichtigen.

Vergleichsbewertung ist stark abhängig von der Wärmebehandlung.

Unser technischer Beratungsdienst steht Ihnen für alle Fragen der Stahlverwendung und -verarbeitung jederzeit zur Verfügung.

This table is intended to facilitate the steel choice. It does not, however, take into account the various stress conditions imposed by the different types of application.

Comparison is strongly dependent on the heat treatment conditions.

Our technical consultancy staff will be glad to assist you in any questions concerning the use and processing of steels.



# BÖHLER K100

---

## Eigenschaften

Standardmarke der maßänderungsarmen, ledeburitischen 12%-igen Chromstähle.

## Verwendung

### Schneid- und Stanzwerkzeuge:

Vorwiegend Stempel für Hochleistungsschnitte und sehr komplizierte Folge- und Gesamtschnitte, vor allem für die Elektroindustrie, Beschlagteileherzeugung, Konservendosen- u. Kartonagenindustrie, Uhrenindustrie, Sägezahnschnitte, auch Schabe- und Repassierwerkzeuge für größte Stückzahlen, hochbeanspruchte Stempel für alle Arten von Stanzwerkzeugen, Schermesser hoher Schnittleistung zum Schneiden von Blechen bis etwa 4 mm Dicke, Abgratwerkzeuge, Messer für Drahtstifte-Erzeugung usw.

### Spanabhebende Werkzeuge:

Räumnadeln, Messer für die Stahlwollefertigung, hochbeanspruchte Holzbearbeitungswerkzeuge.

### Werkzeuge zur spanlosen Formgebung:

Gewindewalzbacken und -rollen, Bördel- und Sickenrollen, Stempel und Matrizen für die Kaltmutter-Fertigung, Drück- und Preßwerkzeuge, Tiefziehwerkzeuge, Fließpreßwerkzeuge zum Verarbeiten von Leichtmetalllegierungen und Stahl, Einsenkpaffen für die Herstellung von Kunststofformen, Rändelwerkzeuge, Ziehheisen für Drahtzug, Ziehmatrizen und Ziehstopfen für Rohr- und Stangen- und Dorne zum Kaltpilgern von Stahlrohren, Hämmer zur Nadelherstellung (Nadelreduzierbacken).

## Properties

Standard grade of dimensionally stable ledeburitic, high carbon, high chromium (12%) tool steels.

## Application

### Blanking, punching, shearing:

Punches for high duty and complicated progressive and integral cutting dies, mainly for industries making electrical equipment, fittings, cardboard, preserve cans, and watches; sawteeth cutting dies, scraping and trimming tools for maximum production runs, highly stressed for all types of cutting tools, high performance shear blades for cutting sheet of up to 4 mm thickness, deburring tools, and cutters for wire nail manufacture.

### Machining:

Broaches, cutters for steel wool production, high duty woodworking tools.

### Shaping:

Thread rolling dies, flanging and beading dies, punches and dies for cold nut manufacture; tools for spinning, pressing, deep drawing, and cold extrusion of light alloys and steel; master hobs for making plastic moulds, knurling tools, wire drawing dies, mandrels and dies for tube and rod drawing, mandrels for the cold pilger rolling of steel tubes, hammers and reducing dies for needle manufacture.

**Verschleißfeste Werkzeuge und Bauteile:**

Preßwerkzeuge zum Verarbeiten stark verschleißender keramischer Stoffe, Formplatten für die Ziegelindustrie und zur Fertigung für feuerfester Steine, Preßwerkzeuge für die pharmazeutische Industrie, Führungsbüchsen für Automaten, Führungseinsätze für spitzenlose Schleifmaschinen, Stufenscheiben und Ringe für Drahtziehmaschinen, Sandstrahl-düsen, Werkzeuge für die Sinterindustrie.

**Wear resisting tools and components:**

Press tools for the processing of highly abrasive ceramic materials, liner plates for the brick industry and for making refractories, press tools for the pharmaceutical industry, automatic lathe guide sleeves, guide bars in centerless grinding machines, cone pulleys and rings for wire drawing machines, sandblast nozzles, and tools for the powder metal industry.

**Meßzeuge****Measuring tools****Warmarbeitswerkzeuge:**

Hochbeanspruchte Hammerkerne für die Sensen- und Sichelherzeugung sowie für Schnellschlaghämmer zum Ausschmieden harter oder hochlegierter Stähle, ferner für Fertigwalzköpfe bei Ringwalzen, Warmziehringe u. dgl.

**Hot work tools:**

High duty hammer cores for the manufacture of scythes and sickles, and for fast hitting hammers used to forge hard or high alloy steels; tyre mill finishing rolls, hot drawing rings etc.

Chemische Zusammensetzung (Anhaltswerte in %) / Chemical composition (average %)			
C	Si	Mn	Cr
2,00	0,25	0,35	11,50

**Normen****Standards**

**EN / DIN**  
< 1.2080 >  
X210Cr12

**AISI**  
~ D3

**JIS**  
~ SKD1

**GOST**  
~ Ch12

# BÖHLER K100

---

## Warmformgebung

### Schmieden:

1050 bis 850°C

Langsame Abkühlung im Ofen oder in wärmeisolierendem Material.

## Wärmebehandlung

### Weichglühen:

800 bis 850°C

Geregelte langsame Ofenabkühlung mit 10 bis 20°C/h bis ca. 600°C, weitere Abkühlung in Luft.

Härte nach dem Weichglühen:

**max. 248 HB.**

### Spannungsarmglühen:

ca. 650°C

Langsame Ofenabkühlung. Zum Spannungsabbau nach umfangreicher Zerspanung oder bei komplizierten Werkzeugen. Haltedauer nach vollständiger Durchwärmung 1-2 Stunden in neutraler Atmosphäre.

### Härten:

940 bis 970°C

Öl, Warmbad (220 bis 250°C oder 500 bis 550°C), Druckluft- oder Luftpärtung bis max. 25 mm Dicke bei Härtetemperaturen an der oberen Grenze möglich, Gas

Haltedauer nach vollständigem Durchwärmen: 15 bis 30 Minuten.

Erzielbare Härte: 57 - 62 HRC.

### Anlassen:

Langsames Erwärmen auf Anlasstemperatur unmittelbar nach dem Härten/Verweildauer im Ofen 1 Stunde je 20 mm Werkstückdicke, jedoch mindestens 2 Stunden/Luftabkühlung.

Richtwerte für die erreichbare Härte nach dem Anlassen bitten wir dem Anlassschaubild zu entnehmen.

In bestimmten Fällen ist es zweckmäßig mit abgesenkter Anlasstemperatur und verlängerter Haltedauer vorzugehen.

## Hot forming

### Forging:

1050 to 850°C

Slow cooling in furnace or thermoinsulating material.

## Heat treatment

### Annealing:

800 to 850°C

Slow controlled cooling in furnace at a rate of 10 to 20°C/hr down to approx. 600°C, further cooling in air.

Hardness after annealing:

**max. 248 HB.**

### Stress relieving:

approx. 650°C

Slow cooling in furnace; intended to relieve stresses set up by extensive machining, or in complex shapes.

After through heating, hold in neutral atmosphere for 1-2 hours.

### Hardening:

940 to 970°C

Oil, salt bath (220 to 250°C or 500 to 550°C), compressed or still air if thickness does not exceed 25 mm and if hardening temperature is on the upper side of the range, gas

Holding time after temperature equalization: 15 to 30 minutes.

Obtainable hardness: 57 - 62 HRC.

### Tempering:

Slow heating to tempering temperature immediately after hardening/time in furnace 1 hour for each 20 mm of workpiece thickness but at least 2 hours/cooling in air.

For average hardness figures to be obtained please refer to the tempering chart.

For certain cases we recommend to reduce tempering temperature and increase holding time.

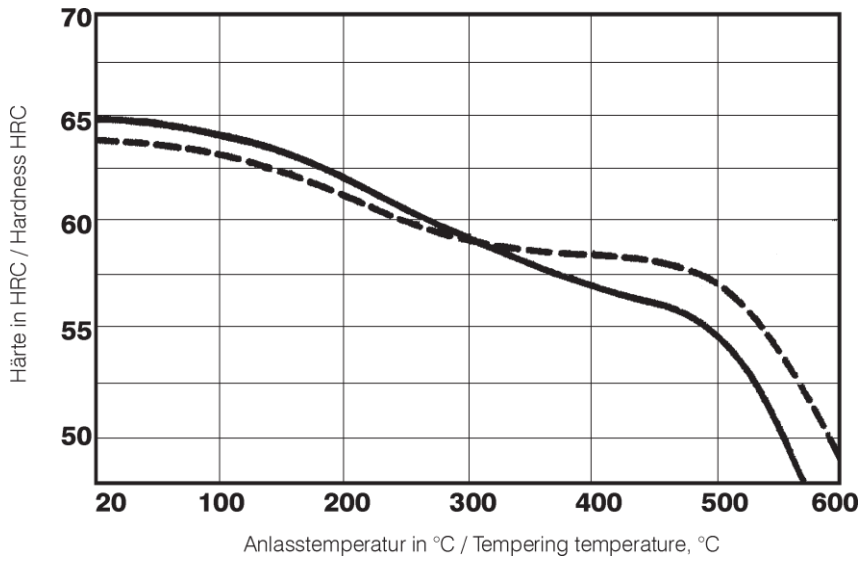
---

**Anlassschaubild:**

Härtetemperatur:  
 — 950°C  
 - - - - 1000°C  
 Probenquerschnitt: Vkt. 20 mm

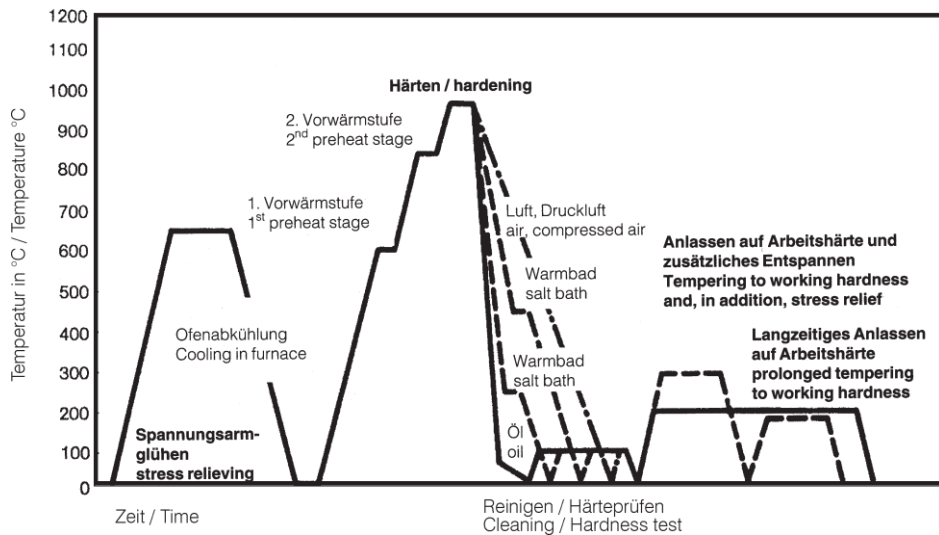
**Tempering chart:**

Hardening temperature:  
 — 950°C  
 - - - - 1000°C  
 Specimen size: square 20 mm



**Wärmebehandlungsschema**

**Heat treatment sequence**



**Reparaturschweißen**

Die Gefahr von Rissen bei Schweißarbeiten ist, wie allgemein bei Werkzeugstählen, vorhanden. Sollte ein Schweißen unbedingt erforderlich sein, bitten wir Sie, die Richtlinien Ihres Schweißzusatzwerkstoffherstellers zu beachten.

**Repair welding**

There is a general tendency for tool steels to develop cracks after welding. If welding cannot be avoided, the instructions of the appropriate welding electrode manufacturer should be sought and followed.

## Maßänderung

Die Maßänderung beim Härten hängt von der Lage der Werkzeuge in bezug auf die Hauptverformungsrichtung (liegende oder stehende Faser), von den Abmessungen und der Form sowie der Härte-temperatur und dem Härtemittel ab.

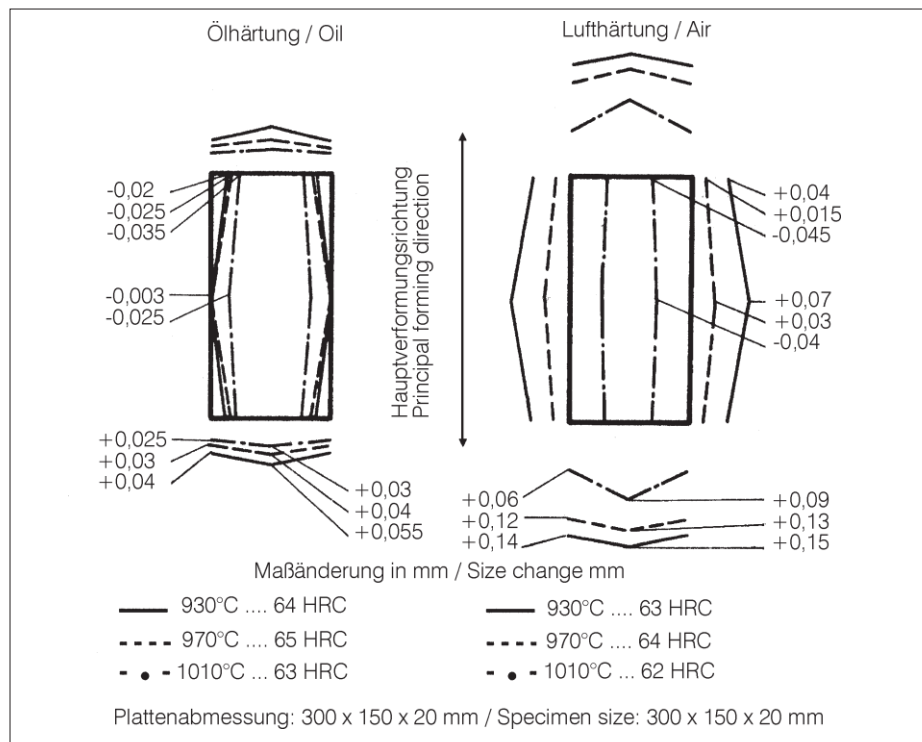
Maßänderung von Platten mit liegender Faser bei Öl- und Lufthärtung.

Plattenabmessung: 300 x 150 x 20 mm.

## Size change

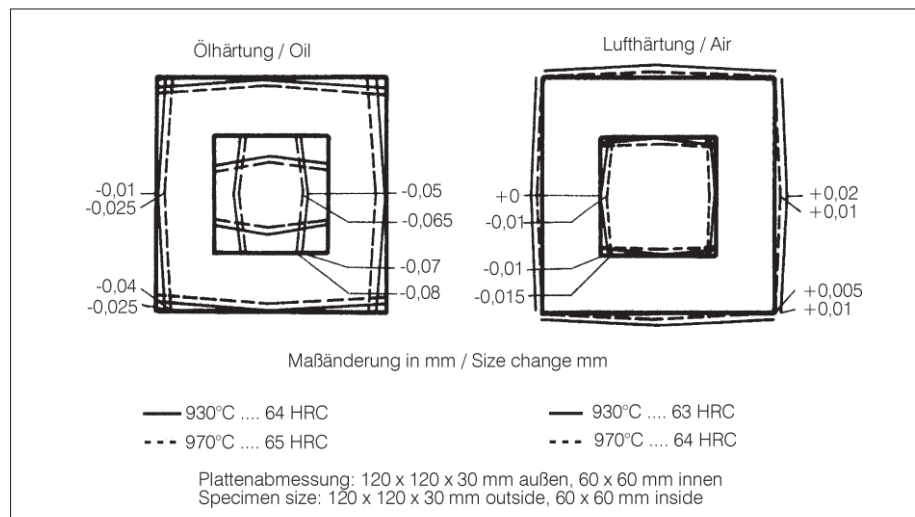
In hardening, size change depends on the direction of grain flow in tools and dies (longitudinal, i.e. in the main direction of rolling, or transverse), on dimensions, shape, quenching, temperature, and quenchant.

Size change in high carbon, high chromium die blanks with longitudinal grain flow, oil vs. air hardening. Specimen size: 300 x 150 x 20 mm.



Maßänderung von Platten mit stehender Faser bei Öl- und Lufthärtung.

Size change in high carbon, high chromium die blanks with vertical grain flow, oil vs. air hardening.

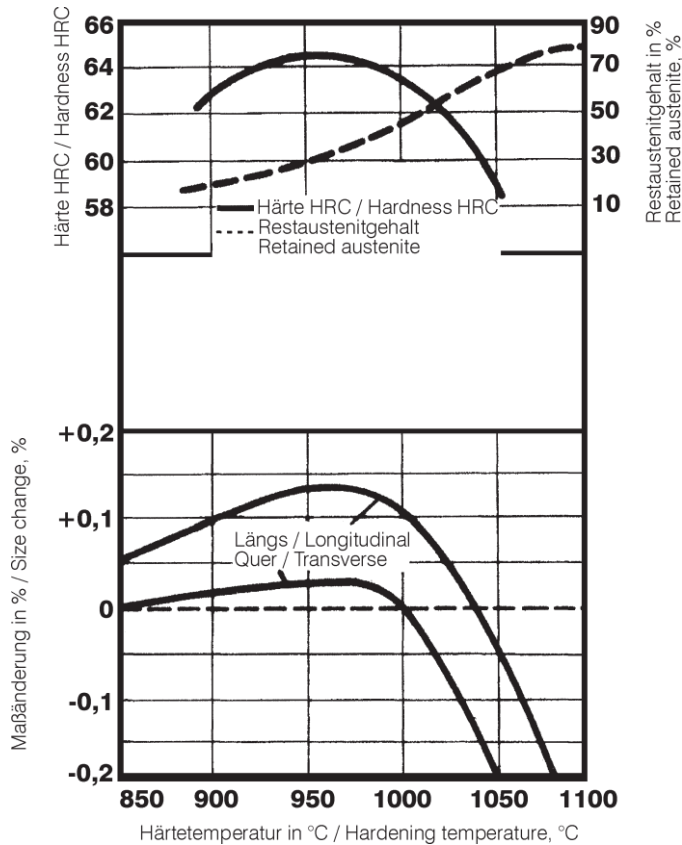


Durch die Härtetemperatur ist es möglich, den Restaustenitanteil und damit die Volumenzunahme zu beeinflussen, ohne daß die Härte wesentlich sinkt.

Hardening temperature affords control of retained austenite, thus of increase in volume, with no appreciable loss of hardness.

**Abhängigkeit der Härte, des Restaustenitgehalts und der Maßänderung in Längs- und Querrichtung von der Härtetemperatur.**

**Hardness, retained austenite, and size change lengthwise and crosswise as a function of hardening temperature.**



Härtemittel: Öl  
 Probenabmessung: Ø 20 x 100 mm  
 (entnommen aus 20 mm dicken Flachstahl).

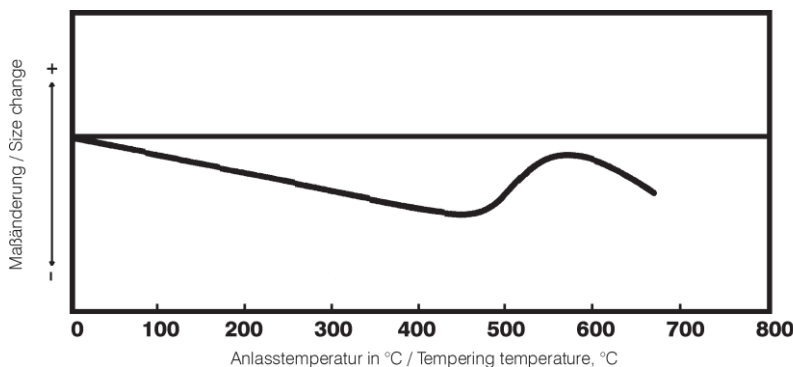
Quenchant: Oil  
 Specimen size: Ø 20 x 100 mm  
 (machined from 20 mm thick flats).

Beim Anlassen tritt im Vergleich zum gehärteten Zustand eine weitere Maßänderung auf.

Tempering from the as-quenched condition causes further size change.

**Maßänderung beim Anlassen nach dem Härten**

**Dimensional change during tempering after hardening**



# BÖHLER K100

## ZTU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung / Continuous cooling CCT curves

Austenitisierungstemperatur: 950°C  
Haltedauer: 30 Minuten

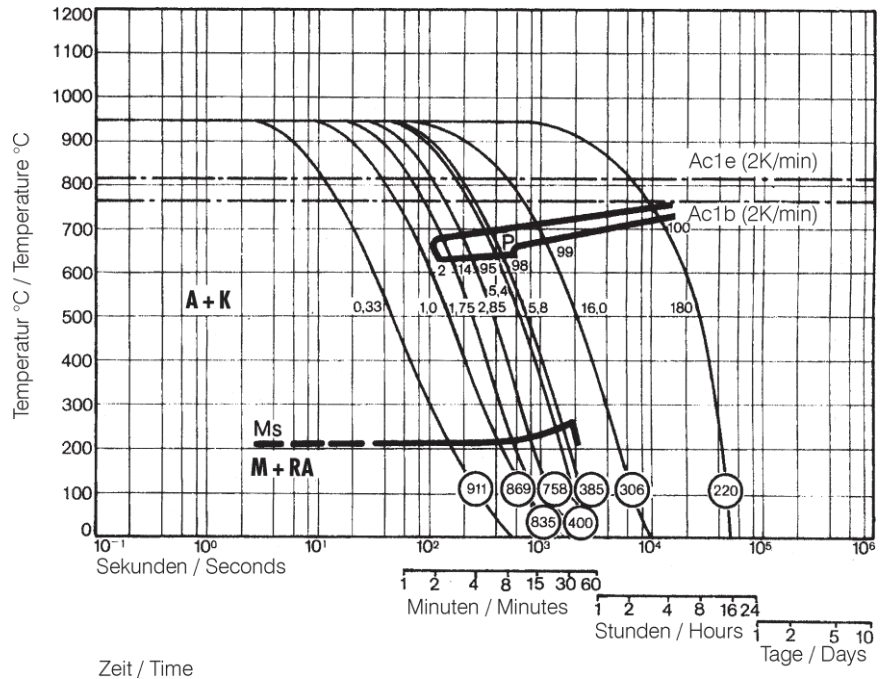
○ Härte in HV  
2... 100 Gefügeanteile in %  
0,33... 180 Abkühlungsparameter, d. h. Abkühlungsdauer von 800°C bis 500°C in  $s \times 10^{-2}$   
2K/min.....Abkühlungsgeschwindigkeit in K/min im Bereich von 800°C bis 500°C

Austenitising temperature: 950°C  
Holding time: 30 minutes

○ Vickers hardness  
2... 100 phase percentages  
0.33 ... 180 cooling parameter, i.e. duration of cooling from 800°C to 500°C in  $s \times 10^{-2}$   
2K/min .....cooling rate in K/min in the 800°C to 500°C range

## Chemische Zusammensetzung (Anhaltswerte in %) / Chemical composition (average %)

C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,98	0,19	0,32	11,84	0,18	0,05

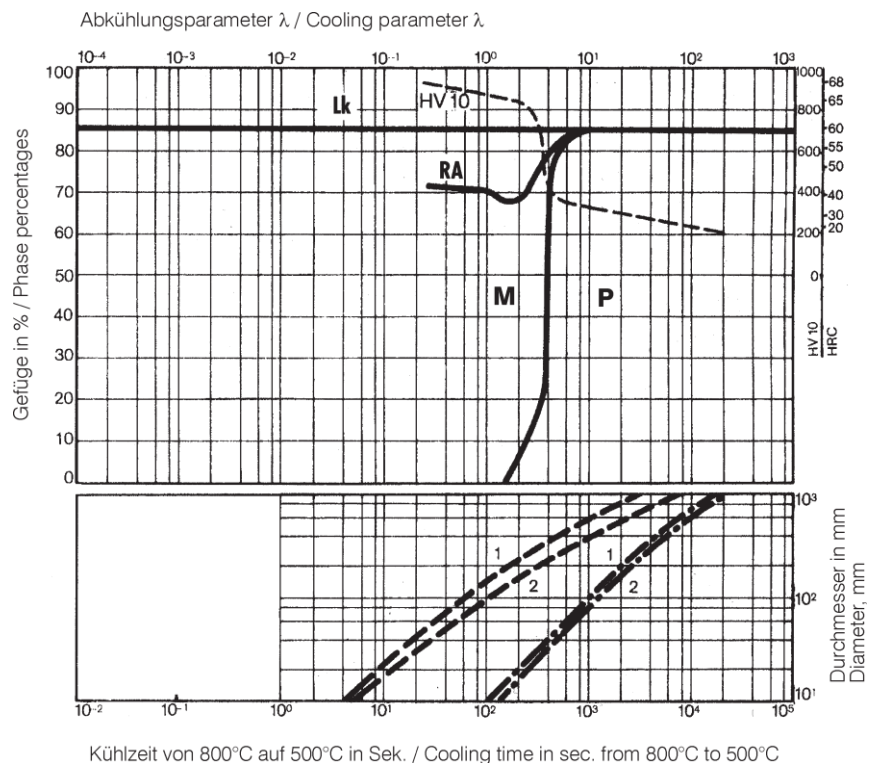


## Gefügemengenschaubild / Quantitative phase diagram

Lk ... Ledeburitkarbid / Ledeburite carbide  
RA... Restaustenit / Residual austenite  
A... Austenit / Austenite  
M... Martensit / Martensite  
P... Perlit / Perlite  
K... Karbid / Carbide

---- Ölabbkühlung / Oil cooling  
- • - Luftabbkühlung / Air cooling

1..... Werkstückrand / Edge or face  
2..... Werkstückzentrum / Core



Kühlzeit von 800°C auf 500°C in Sek. / Cooling time in sec. from 800°C to 500°C

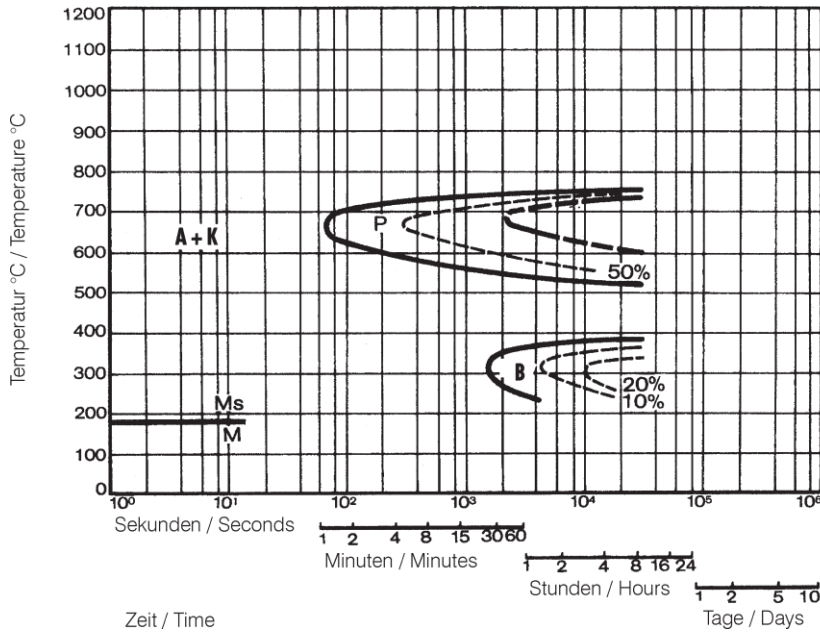
**Isothermisches ZTU-Schaubild /  
Isothermal TTT curves**

**Chemische Zusammensetzung (Anhaltwerte in %) / Chemical composition (average %)**

C	Si	Mn	Cr	Ni	W
1,98	0,19	0,32	11,84	0,18	0,05

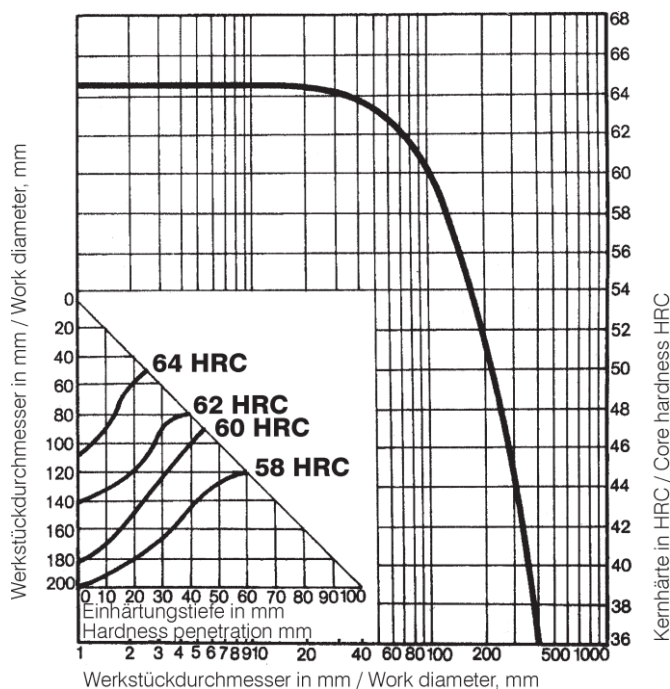
Austenitisierungstemperatur: 950°C  
Haltedauer: 30 Minuten

Austenitising temperature: 950°C  
Holding time: 30 minutes



**Abhängigkeit der Kernhärte und der  
Einhärtetiefe vom Werkstückdurch-  
messer**

**Influence of work diameter on core  
hardness and hardness penetration**



Härtetemperatur: 950°C  
Härtemittel: Öl

Hardening temperature: 950°C  
Quenchant: Oil



# BÖHLER K100

## Bearbeitungshinweise

(Wärmebehandlungszustand weichgeglüht, Richtwerte)

<b>Drehen mit Hartmetall</b>				
Schnitttiefe mm	0,5 bis 1	1 bis 4	4 bis 8	über 8
Vorschub mm/U	0,1 bis 0,3	0,2 bis 0,4	0,3 bis 0,6	0,5 bis 1,5
BOEHLERIT- Hartmetallsorte	SB10,SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
ISO - Sorte	P10,P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
<b>Schnittgeschwindigkeit, m/min</b>				
Wendeschneidplatten Standzeit 15 min	210 bis 150	160 bis 110	110 bis 80	70 bis 45
Gelötete Hartmetallwerkzeuge Standzeit 30 min	150 bis 110	135 bis 85	90 bis 60	70 bis 35
Beschichtete Wendeschneidplatten Standzeit 15 min BOEHLERIT ROYAL 121 BOEHLERIT ROYAL 131	bis 210 bis 140	bis 180 bis 140	bis 130 bis 100	bis 80 bis 60
Schneidwinkel für gelötete Hartmetallwerkzeuge Spanwinkel Freiwinkel Neigungswinkel	6 bis 12 6 bis 8 0°	6 bis 12° 6 bis 8 - 4°	6 bis 12° 6 bis 8 - 4°	6 bis 12° 6 bis 8 - 4°

<b>Drehen mit Schnellarbeitsstahl</b>			
Schnitttiefe mm	0,5	3	6
Vorschub mm/U	0,1	0,4	0,8
BÖHLER/DIN-Sorte	S700 / DIN S10-4-3-10		
<b>Schnittgeschwindigkeit, m/min</b>			
Standzeit 60 min	30 bis 20	20 bis 15	18 bis 10
Spanwinkel	14°	14°	14°
Freiwinkel	8°	8°	8°
Neigungswinkel	-4°	-4°	-4°

<b>Fräsen mit Messerköpfen</b>		
Vorschub mm/U	bis 0,2	0,2 bis 0,4
<b>Schnittgeschwindigkeit, m/min</b>		
BOEHLERIT SBF/ ISO P25	150 bis 100	110 bis 60
BOEHLERIT SB40/ ISO P40	100 bis 60	70 bis 40
BOEHLERIT ROYAL 131 / ISO P35	130 bis 85	130 bis 85

<b>Bohren mit Hartmetall</b>			
Bohrerdurchmesser mm	3 bis 8	8 bis 20	20 bis 40
Vorschub mm/U	0,02 bis 0,05	0,05 bis 0,12	0,12 bis 0,18
BOEHLERIT / ISO-Hartmetallsorte	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10
<b>Schnittgeschwindigkeit, m/min</b>			
	50 bis 35	50 bis 35	50 bis 35
Spitzenwinkel	115 bis 120°	115 bis 120°	115 bis 120°
Freiwinkel	5°	5°	5°

**Recommendation for machining**

(Condition annealed, average values)

<b>Turning with carbide tipped tools</b>				
depth of cut mm	0.5 to 1	1 to 4	4 to 8	over 8
feed, mm/rev.	0.1 to 0.3	0.2 to 0.4	0.3 to 0.6	0.5 to 1.5
BOEHLERIT grade	SB10, SB20	SB10, SB20, EB10	SB30, EB20	SB30, SB40
ISO grade	P10, P20	P10, P20, M10	P30, M20	P30, P40
<b>cutting speed, m/min</b>				
indexable carbide inserts edge life 15 min	210 to 150	160 to 110	110 to 80	70 to 45
brazed carbide tipped tools edge life 30 min	150 to 110	135 to 85	90 to 60	70 to 35
hardfaced indexable carbide inserts edge life 15 min BOEHLERIT ROYAL 121 BOEHLERIT ROYAL 131	to 210 to 140	to 180 to 140	to 130 to 100	to 80 to 60
cutting angles for brazed carbide tipped tools rake angle clearance angle angle of inclination	6 to 12° 6 to 8° 0°	6 to 12° 6 to 8° - 4°	6 to 12° 6 to 8° - 4°	6 to 12° 6 to 8° - 4°

<b>Turning with HSS tools</b>			
depth of cut, mm	0.5	3	6
feed, mm/rev.	0.1	0.4	0.8
HSS-grade BOEHLER/DIN	S700 / DIN S10-4-3-10		
<b>cutting speed, m/min</b>			
edge life 60 min	30 to 20	20 to 15	18 to 10
rake angle	14°	14°	14°
clearance angle	8°	8°	8°
angle of inclination	-4°	-4°	-4°

<b>Milling with carbide tipped cutters</b>		
feed, mm/tooth	to 0.2	0.2 to 0.4
<b>cutting speed, m/min</b>		
BOEHLERIT SBF/ ISO P25	150 to 100	110 to 60
BOEHLERIT SB40/ ISO P40	100 to 60	70 to 40
BOEHLERIT ROYAL 131 / ISO P35	130 to 85	130 to 85

<b>Drilling with carbide tipped tools</b>			
drill diameter, mm	3 to 8	8 to 20	20 to 40
feed, mm/rev.	0.02 to 0.05	0.05 to 0.12	0.12 to 0.18
BOEHLERIT / ISO-grade	HB10/K10	HB10/K10	HB10/K10
<b>cutting speed, m/min</b>			
	50 to 35	50 to 35	50 to 35
top angle	115 to 120°	115 to 120°	115 to 120°
clearance angle	5°	5°	5°

# BÖHLER K100

## Physikalische Eigenschaften

## Physical properties

Dichte bei /

Density at .....20°C .....7,70 .....kg/dm<sup>3</sup>

Wärmeleitfähigkeit bei /

Thermal conductivity at .....20°C .....20,0 .....W/(m.K)

Spezifische Wärme bei /

Specific heat at .....20°C .....460 .....J/(kg.K)

Spez. elektr. Widerstand bei /

Electrical resistivity at .....20°C .....0,65 .....Ohm.mm<sup>2</sup>/m

Elastizitätsmodul bei /

Modulus of elasticity at .....20°C .....210 x 10<sup>3</sup>...N/mm<sup>2</sup>

### Wärmeausdehnung zwischen 20°C und ...°C, 10<sup>-6</sup> m/(m.K) bei Thermal expansion between 20°C and ...°C, 10<sup>-6</sup> m/(m.K) at

100°C	200°C	300°C	400°C	500°C	600°C
10,5	11,0	11,0	11,5	12,0	12,0

Für Anwendungen und Verarbeitungsschritte, die in der Produktbeschreibung nicht ausdrücklich erwähnt sind, ist in jedem Einzelfall Rücksprache zu halten.

As regards applications and processing steps that are not expressly mentioned in this product description/data sheet, the customer shall in each individual case be required to consult us.

Überreicht durch:  
Your partner:

---



BÖHLER EDELSTAHL GMBH & Co KG  
MARIAZELLER STRASSE 25  
POSTFACH 96  
A-8605 KAPFENBERG/AUSTRIA  
TELEFON: (+43) 3862/20-6046 Marketing  
TELEFAX: (+43) 3862/20-6260 Technical Department  
E-mail: [info@bohler-edelstahl.com](mailto:info@bohler-edelstahl.com)  
[www.bohler-edelstahl.com](http://www.bohler-edelstahl.com)

Die Angaben in diesem Prospekt sind unverbindlich und gelten als nicht zugesagt; sie dienen vielmehr nur der allgemeinen Information. Diese Angaben sind nur dann verbindlich, wenn sie in einem mit uns abgeschlossenen Vertrag ausdrücklich zur Bedingung gemacht werden. Bei der Herstellung unserer Produkte werden keine gesundheits- oder ozonschädigenden Substanzen verwendet.

The data contained in this brochure is merely for general information and therefore shall not be binding on the company. We may be bound only through a contract explicitly stipulating such data as binding. The manufacture of our products does not involve the use of substances detrimental to health or to the ozone layer.

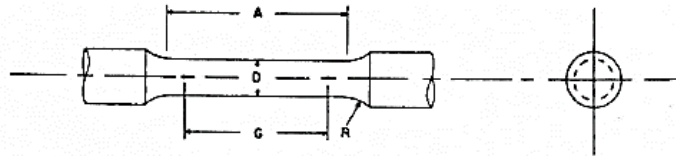
## Anexo 3

### Composición química para hacer de grado herramienta para la fabricación de punzones y matrices.

SAE Steel Designation	C	Mn	Si	Cr	V	W	Mo	Co
<b>Water Hardening Tool Steels</b>								
W10 <sup>a</sup>	0.70-0.85	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	—	—	—	—
W10 <sup>b</sup>	0.85-0.95	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	—	—	—	—
W11 <sup>b</sup>	0.95-1.10	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	—	—	—	—
W11 <sup>2b</sup>	1.10-1.30	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	—	—	—	—
W209	0.85-0.95	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	0.15-0.35	—	—	—
W210	0.95-1.10	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	0.15-0.35	—	—	—
W310	0.95-1.10	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	— <sup>b</sup>	0.35-0.50	—	—	—
<b>Shock Resisting Tool Steels</b>								
S1—Chromium-Tungsten	0.45-0.55	0.20-0.40	0.25-0.45 <sup>c</sup>	1.25-1.75	0.15-0.30	1.00-3.00	0.40 <sup>d</sup>	—
S2—Silicon-Molybdenum	0.45-0.55	0.30-0.50	0.80-1.20	—	0.25 <sup>d</sup>	—	0.40-0.60	—
S5—Si, con-Manganese	0.50-0.60	0.60-0.90	1.80-2.20	0.30 <sup>d</sup>	0.25 <sup>d</sup>	—	0.30-0.50	—
<b>Cold Work Tool Steels</b>								
<b>Oil Hardening Types</b>								
O1—Low Manganese	0.85-0.95	1.00-1.30	0.20-0.40	0.40-0.60	0.20 <sup>d</sup>	0.40-0.60	—	—
O2—High Manganese	0.85-0.95	1.40-1.80	0.20-0.40	0.35 <sup>d</sup>	0.20 <sup>d</sup>	—	0.30 <sup>d</sup>	—
O6—Molybdenum Graphitic	1.35-1.55	0.30-1.00	0.80-1.20	—	—	—	0.20-0.30	—
<b>Medium Alloy Air Hardening Types</b>								
A2—5% Chromium Air Hard	0.95-1.05	0.45-0.75	0.20-0.40	4.75-5.50	0.40 <sup>d</sup>	—	0.90-1.40	—
<b>High Carbon-High Chromium Types</b>								
D2—High Carbon-High Chromium (Air)	1.40-1.60	0.30-0.50	0.30-0.50	11.00-13.00	0.80 <sup>d</sup>	—	0.70-1.20	0.60 <sup>d</sup>
D3—High Carbon-High Chromium (Oil)	2.00-2.35	0.24-0.45 <sup>c</sup>	0.25-0.45	11.00-13.00	0.80 <sup>d</sup>	0.75 <sup>d</sup>	0.80 <sup>d</sup>	—
D5—High Carbon-High Chromium (Cobalt)	1.40-1.60	0.30-0.50	0.30-0.50	11.00-13.00	0.80 <sup>d</sup>	—	0.70-1.20	2.50-3.50
D7—High Carbon-High Chromium-High Vanadium	2.15-2.50	0.30-0.50	0.30-0.50	11.50-13.50	3.80-4.40	—	0.70-1.20	—
<b>Hot Work Tool Steels</b>								
<b>Chromium Base Types</b>								
H11—Chromium-Molybdenum-V	0.30-0.40	0.20-0.40	0.80-1.20	4.75-5.50	0.30-0.50	—	1.25-1.75	—
H12—Chromium-Molybdenum-Tungsten	0.30-0.40	0.20-0.40	0.80-1.20	4.75-5.50	0.10-0.50	1.00-1.70	1.25-1.75	—
H13—Chromium-Molybdenum-VV	0.30-0.40	0.20-0.40	0.80-1.20	4.75-5.50	0.80-1.20	—	1.25-1.75	—
<b>Tungsten Base Types</b>								
H21—Tungsten	0.30-0.40	0.20-0.40	0.15-0.30	3.00-3.75	0.30-0.50	8.75-10.00	—	—
<b>High Speed Tool Steels</b>								
<b>Tungsten Base Types</b>								
T1—Tungsten 18-4-1	0.65-0.75	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	0.90-1.30	17.25-18.75	—	—
T2—Tungsten 18-4-2	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	1.80-2.40	17.50-19.00	0.70-1.00	—
T4—Cobalt-Tungsten 18-4-1-5	0.70-0.80	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	0.80-1.20	17.25-18.75	0.70-1.00	4.25-5.75
T5—Cobalt-Tungsten 18-4-2-8	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	1.80-2.40	17.50-19.00	0.70-1.00	7.00-9.00
T8—Cobalt-Tungsten 14-4-2-5	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	1.80-2.40	13.25-14.75	0.70-1.00	4.25-5.75
<b>Molybdenum Base Types</b>								
M1—Molybdenum 8-2-1	0.75-0.85	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	0.90-1.30	1.15-1.85	7.75-9.25	—
M2—Molybdenum-Tungsten 6-6-2	0.78-0.88	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	1.60-2.20	5.50-6.75	4.50-5.50	—
M3—Molybdenum-Tungsten 6-6-3	1.00-1.25	0.20-0.40	0.20-0.40	3.75-4.50	2.25-3.25	5.50-6.75	4.75-6.25	—
M4—Molybdenum-Tungsten 6-6-4	1.25-1.40	0.20-0.40	0.20-0.40	4.00-4.75	3.90-4.50	5.25-6.50	4.50-5.50	—
<b>Special Purpose Tool Steels</b>								
<b>Low Alloy Types</b>								
L6—Nickel-Chromium*	0.65-0.75	0.55-0.85 <sup>c</sup>	0.20-0.40	0.65-0.85	0.25 <sup>d</sup>	—	0.25 <sup>d</sup>	—
L7—Chromium	0.95-1.05	0.25-0.45	0.20-0.40	1.25-1.75	—	—	0.30-0.50	—

## Anexo 4

### Dimensiones de las probetas para el ensayo de tracción

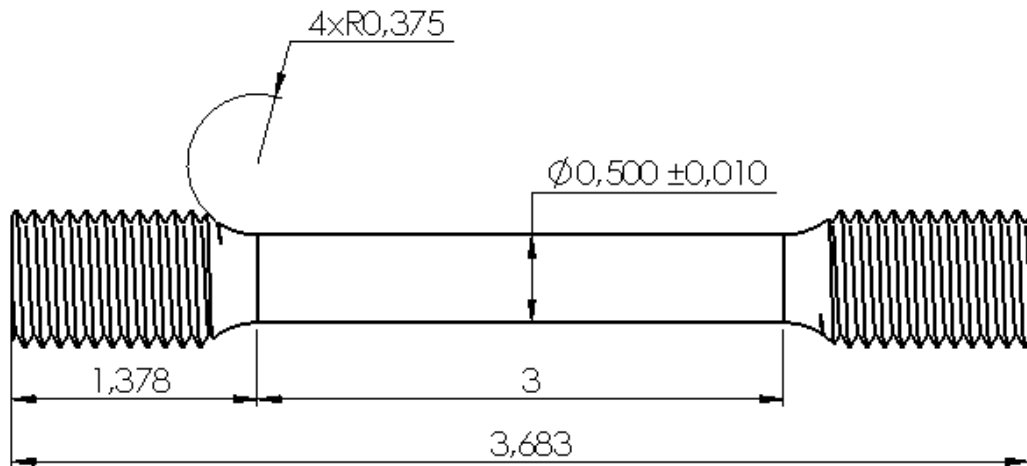


Dimensions, mm [in.]  
For Test Specimens with Gauge Length Four times the Diameter [E8]

	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
	Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
G—Gauge length	50.0 ± 0.1	36.0 ± 0.1	24.0 ± 0.1	16.0 ± 0.1	10.0 ± 0.1
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	56 [2.25]	45 [1.75]	30 [1.25]	20 [0.75]	16 [0.625]

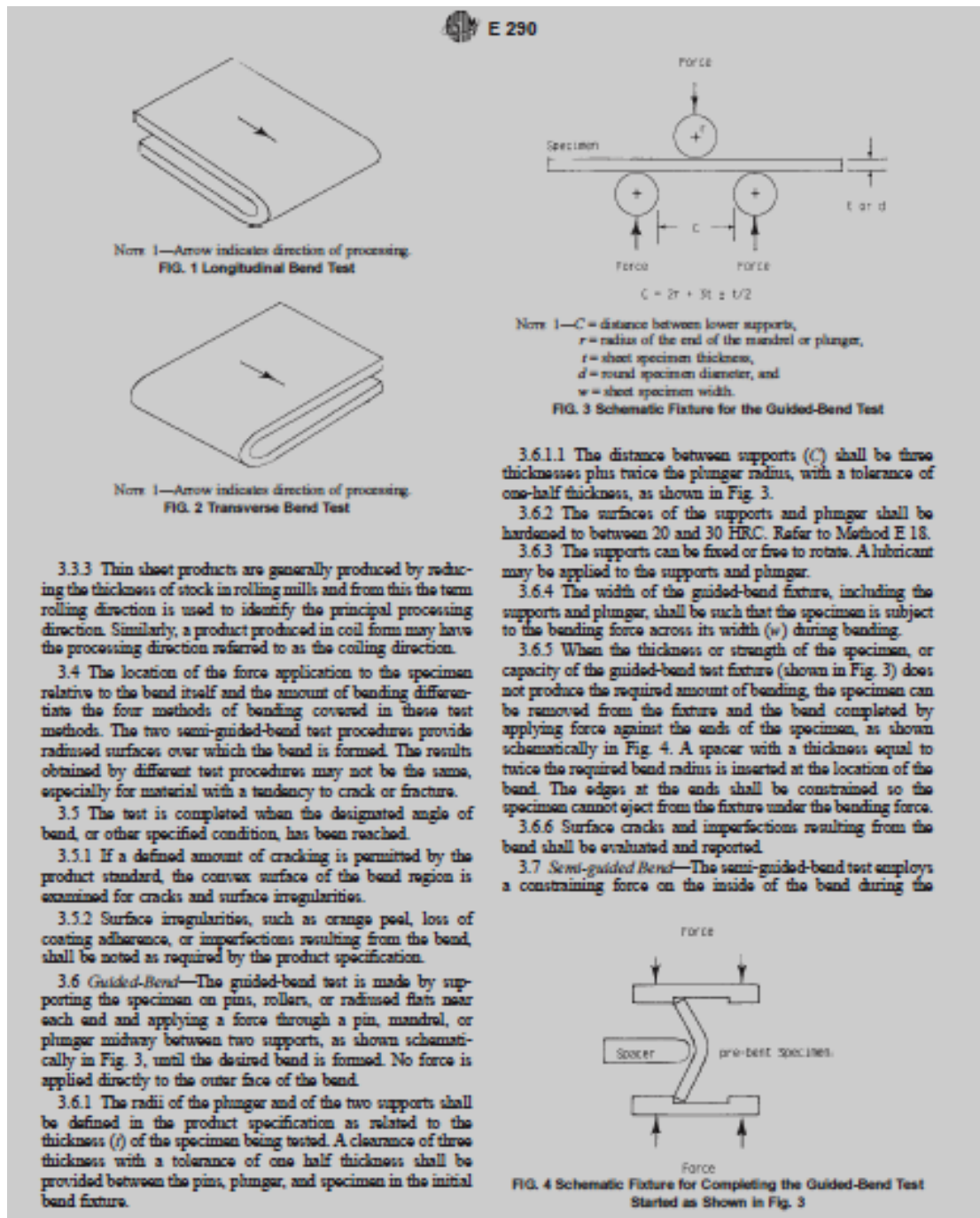
Dimensions, mm [in.]  
For Test Specimens with Gauge Length Five times the Diameter [E8M]

	Small-Size Specimens Proportional to Standard				
	Standard Specimen	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4
G—Gauge length	62.5 ± 0.1	45.0 ± 0.1	30.0 ± 0.1	20.0 ± 0.1	12.5 ± 0.1
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	9.0 ± 0.1	6.0 ± 0.1	4.0 ± 0.1	2.5 ± 0.1
R—Radius of fillet, min	10 [0.375]	8 [0.25]	6 [0.188]	4 [0.156]	2 [0.094]
A—Length of reduced section, min (Note 2)	75 [3.0]	54 [2.0]	36 [1.4]	24 [1.0]	20 [0.75]



## Anexo 5

### Esquematización para el ensayo guiado de flexión en tres puntos.



## Anexo 6

### Guía y Parámetros para mejorar la calidad de malla.

**ANSYS** **Impact of the Mesh Quality**

Good quality mesh means that...

- Mesh quality criteria are within correct range
  - Orthogonal quality ...
- Mesh is valid for studied physics
  - Boundary layer ...
- Solution is grid independent
- Important geometric details are well captured

Bad quality mesh can cause;

- Convergence difficulties
- Bad physic description
- Diffuse solution

User must...

- Check quality criteria and improve grid if needed
- Think about model and solver settings before generating the grid
- Perform mesh parametric study, mesh adaption ...

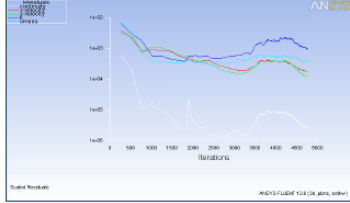
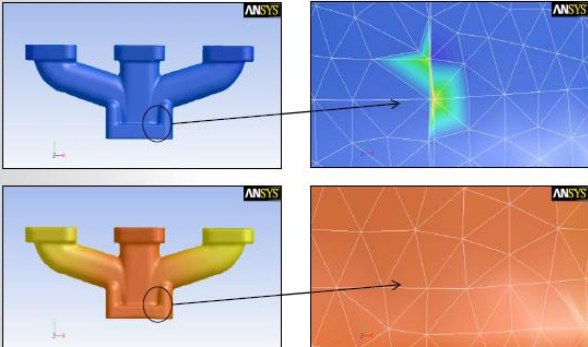


Table of Convergence						
	A	B	C	D	E	F
1	Mesh	P1 - Sweep Method 3 Sweep Element Size	P2 - Sweep Method 2 Sweep Element Size	P3 - Sweep Method Sweep Element Size	P4 - Face Tang Element Size	P5 - Q1
2		in	in	in	in	in
3	Control	0.04	0.04	0.04	0.02	747.52
4	DP 1	0.02	0.02	0.02	0.01	509.44
5	DP 2	0.01	0.01	0.01	0.005	361.4
6	DP 3	0.005	0.005	0.005	0.0025	307.6
7	DP 4	0.0025	0.0025	0.0025	0.00125	299.58

26 © 2013 ANSYS, Inc. October 29, 2014 ANSYS Confidential

**ANSYS** **Impact of the Mesh Quality on the Solution**

- Example showing difference between a mesh with cells failing the quality criteria and a good mesh
- Unphysical values in vicinity of poor quality cells



27 © 2013 ANSYS, Inc. October 29, 2014 ANSYS Confidential

**ANSYS** **Impact of the Mesh Quality on the Solution**

- Diffusion example

Large cell size change

Mesh 1

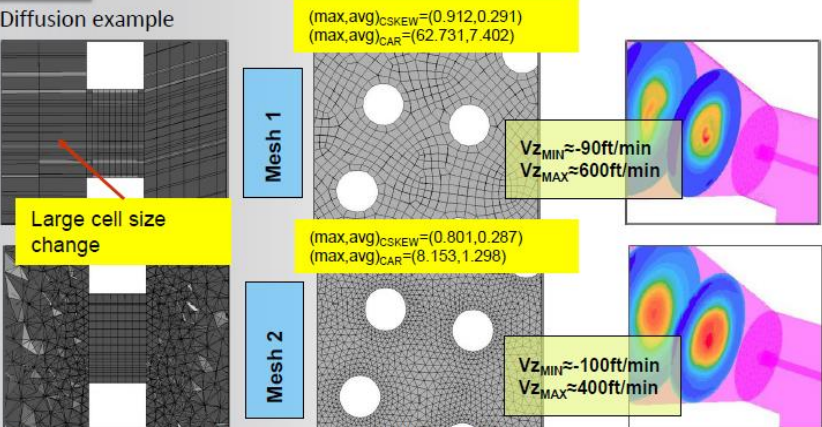
(max,avg)<sub>CSKEW</sub>=(0.912,0.291)  
(max,avg)<sub>CAR</sub>=(62.731,7.402)

Vz<sub>MIN</sub>≈-90ft/min  
Vz<sub>MAX</sub>≈600ft/min

Mesh 2

(max,avg)<sub>CSKEW</sub>=(0.801,0.287)  
(max,avg)<sub>CAR</sub>=(8.153,1.298)

Vz<sub>MIN</sub>≈-100ft/min  
Vz<sub>MAX</sub>≈400ft/min



28 © 2013 ANSYS, Inc. October 29, 2014 ANSYS Confidential



Displays mesh information for Nodes and Elements

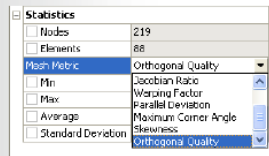
List of quality criteria for the Mesh Metric

- Select the required criteria to get details for quality
- It shows minimum, maximum, average and standard deviation

Different physics and different solvers have different requirements for mesh quality

Mesh metrics available in ANSYS Meshing include:

- Element Quality
- Aspect Ratio
- Jacobean Ration
- Warping Factor
- Parallel Deviation
- Maximum Corner Angle
- Skewness
- Orthogonal Quality



Nodes	15973
Elements	91020
Mesh Metric	Orthogonal Quality
Min	0.232326778900267
Max	0.993638844699329
Average	0.685623612128101
Standard Deviation	0.60790579240246702



For Multi-Body Parts, go to corresponding body in Tree Outline to get its separate mesh statistics per part/body

## Orthogonal Quality (OQ)

Derived directly from

Fluent solver discretization

- For a cell it is the minimum of:

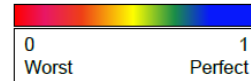
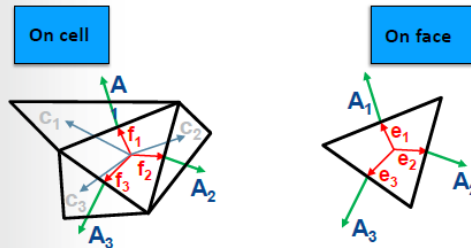
$$\frac{A_i \cdot f_i}{|A_i| |f_i|} \quad \frac{A_i \cdot c_i}{|A_i| |c_i|}$$

computed for each face  $i$

For the face it is computed as the minimum of  $\frac{A_i \cdot e_i}{|A_i| |e_i|}$  computed for each edge  $i$

Where  $A_i$  is the face normal vector and  $f_i$  is a vector from the centroid of the cell to the centroid of that face, and  $c_i$  is a vector from the centroid of the cell to the centroid of the adjacent cell, where  $e_i$  is the vector from the centroid of the face to the centroid of the edge

At boundaries and internal walls  $c_i$  is ignored in the computations of OQ



## Skewness

Two methods for determining skewness:

1. Equilateral Volume deviation:

$$\text{Skewness} = \frac{\text{optimal cell size} - \text{cell size}}{\text{optimal cell size}}$$

Applies only for triangles and tetrahedrons

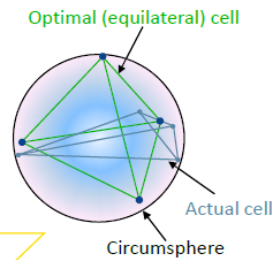
2. Normalized Angle deviation:

$$\text{Skewness} = \max \left[ \frac{\theta_{\max} - \theta_e}{180 - \theta_e}, \frac{\theta_e - \theta_{\min}}{\theta_e} \right]$$



Where  $\theta_e$  is the equiangular face/cell (60 for tets and tris, and 90 for quads and hexas)

- Applies to all cell and face shapes
- Used for hexa, prisms and pyramids





## Mesh Quality

### Mesh quality recommendations

Low Orthogonal Quality or high skewness values are not recommended

Generally try to keep minimum orthogonal quality > 0.1, or maximum skewness < 0.95. However these values may be different depending on the physics and the location of the cell


Fluent reports negative cell volumes if the mesh contains degenerate cells

### Skewness mesh metrics spectrum



Excellent	Very good	Good	Acceptable	Bad	Unacceptable
0-0.25	0.25-0.50	0.50-0.80	0.80-0.94	0.95-0.97	0.98-1.00

### Orthogonal Quality mesh metrics spectrum



Unacceptable	Bad	Acceptable	Good	Very good	Excellent
0-0.001	0.001-0.14	0.15-0.20	0.20-0.69	0.70-0.95	0.95-1.00



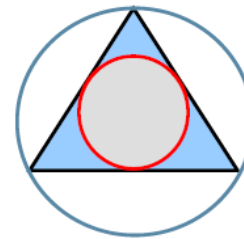
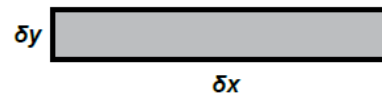
## Aspect Ratio

### 2-D:

- Length / height ratio:  $\delta x / \delta y$

### 3-D

- Area ratio
- Radius ratio of circumscribed / inscribed circle



### Limitation for some iterative solvers

- $A < 10 \dots 100$
- (CFX: < 1000)

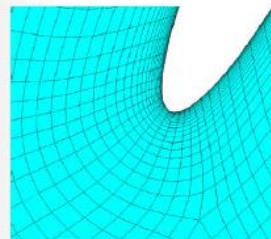
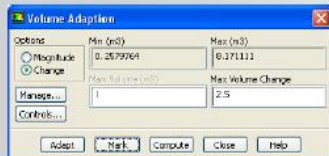
Large aspect ratio are accepted where there is no strong transverse gradient (boundary layer ...)



## Smoothness

### Checked in solver

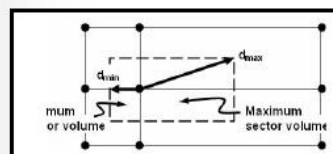
- Volume Change in Fluent
  - Available in Adapt/Volume
  - 3D:  $\sigma_i = V_i / V_{nb}$



Recommendation:  
 Good:  $1.0 < \sigma < 1.5$   
 Fair:  $1.5 < \sigma < 2.5$   
 Poor:  $\sigma > 5 \dots 20$

### Expansion Factor in CFX

- Checked during mesh import
- Ratio of largest to smallest element volumes surrounding a node





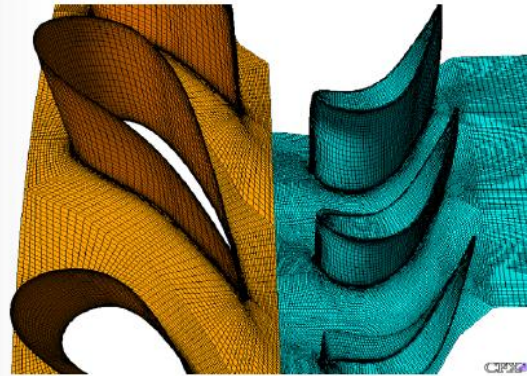
## Elements: Hex

### Pro:

- Good shear layer element
- Best element wrt. memory & calculation time per element

### Con:

- Degree of automation for grid generation



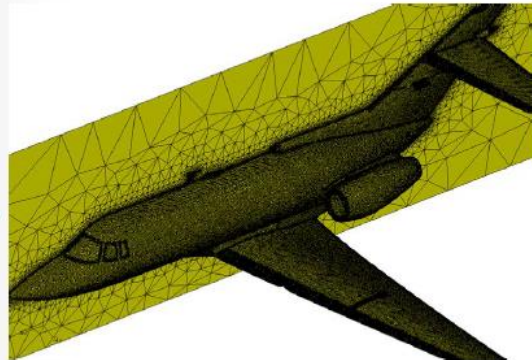
## Elements: Tet

### Pro:

- High degree of automation for grid generation

### Con:

- Memory & calculation time per node  $\approx 1.5 \times$  hex
- Poor shear layer element
- No streamline orientation
- Quantity must (and can) make up for quality



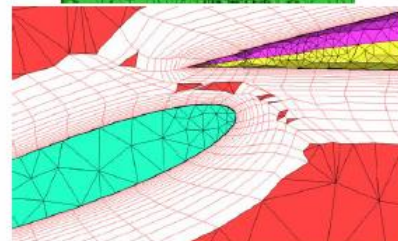
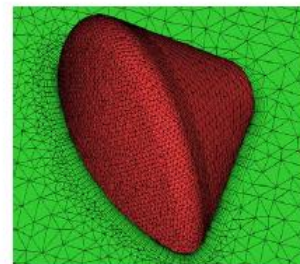
## Elements: Prism

### Pro:

- Better shear layer resolution than tet
- High degree of automation
- Tet/prism combination

### Con:

- Less efficient than hex
- Topological difficulties (corners, ...)  $\rightarrow$  poor grid quality (angles, ...)
- Manual repair





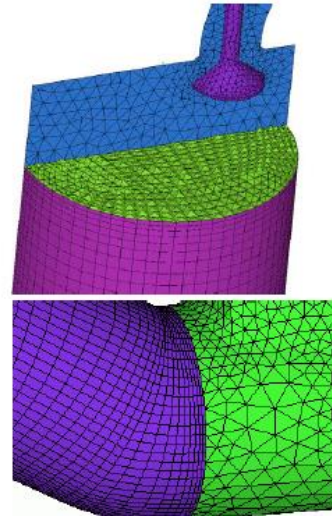
## Elements: Pyramid

Use in hybrid grids

Transition element between hex and tet

### Polyhedral grids

- ANSYS Fluent:
  - Generate base types
  - Convert
- ANSYS CFX builds polyhedrals around vertices



## Recommendations

1<sup>st</sup> Option → Hex grid

- Best accuracy and numerical efficiency
- Time and effort manageable?

2<sup>nd</sup> Option → Tet/hex/pyramid grid

- Hex near walls & shear layers
- Developing technology ...

3<sup>rd</sup> Option → Tet/prism grid



- High degree of automation
- Quality (prism/tet transition, ...)

4<sup>th</sup> Option → Tet grid

- Shear layer resolution?

## Anexo 7

**Proceso de mecanizado del troquel de corte y perforado de platina metálica  
1/8 pulgada de espesor.**

Componente	Detalle
Placa base	 A close-up photograph showing a metal plate being drilled on a lathe. A cutting tool is positioned above the plate, and a stream of white coolant is being applied to the drilling site. The plate is held in a vise on the lathe bed.
Placa Superior	 A close-up photograph showing a metal plate being drilled on a lathe. A spotlight is directed at the drilling site, highlighting the metal surface and the cutting process. The plate is held in a vise on the lathe bed.

Puente Superior



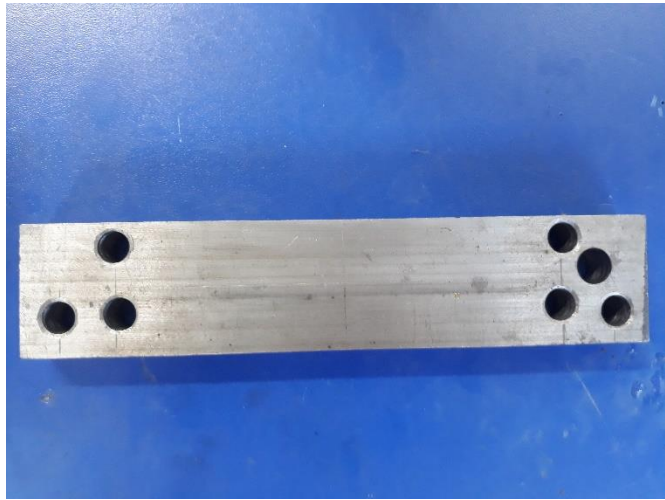
Placa porta matriz



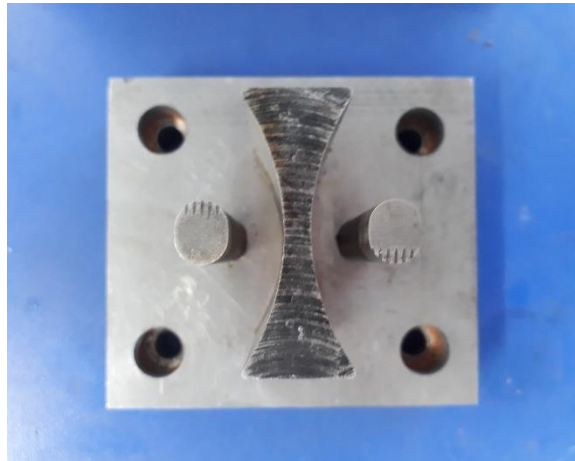
Matriz de corte



Paralelas



Punzón de corte,  
perforado y placa  
porta punzones




Bujes Guía



Columnas guía	
---------------	--

### Anexo 8

**Proceso de ensamble del troquel de corte y perforado de platina metálica 1/8 pulgada de espesor.**

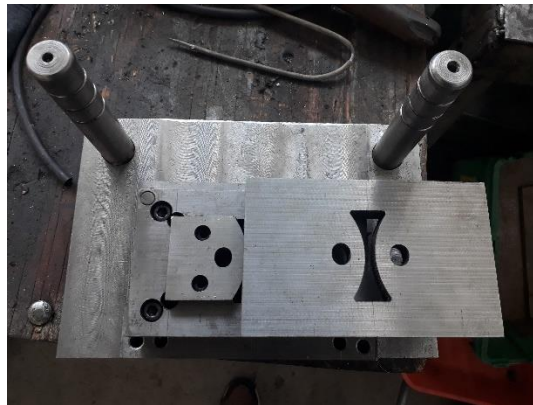
Componente	Descripción
Parte Fija del Troquel	<p>Primero se ensamblan la placa base, y las columnas guía.</p> 



El siguiente paso es fijar la matriz, porta matriz, paralelas guía y el puente dónde se apoyará la platina metálica.



Mediante elementos de sujeción como pernos y pasadores fijos se amarra todo el conjunto fijo del troquel.

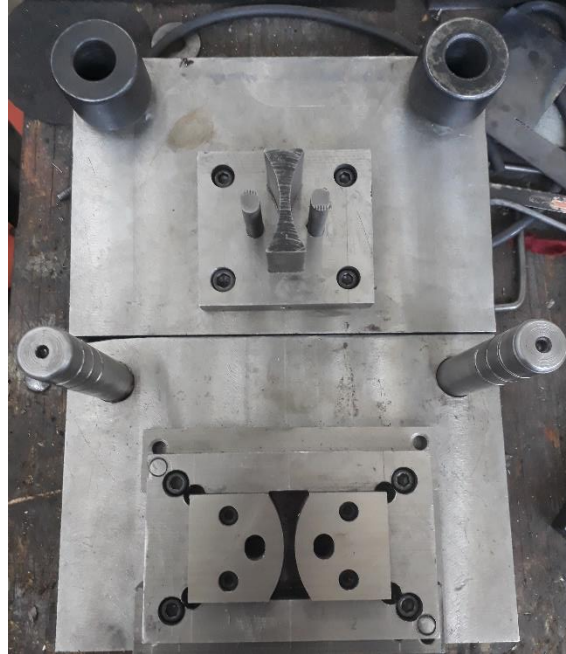


El componente móvil del troquel está compuesto por la base superior, bujes, punzones y la placa porta punzones como se observa en la siguiente figura.

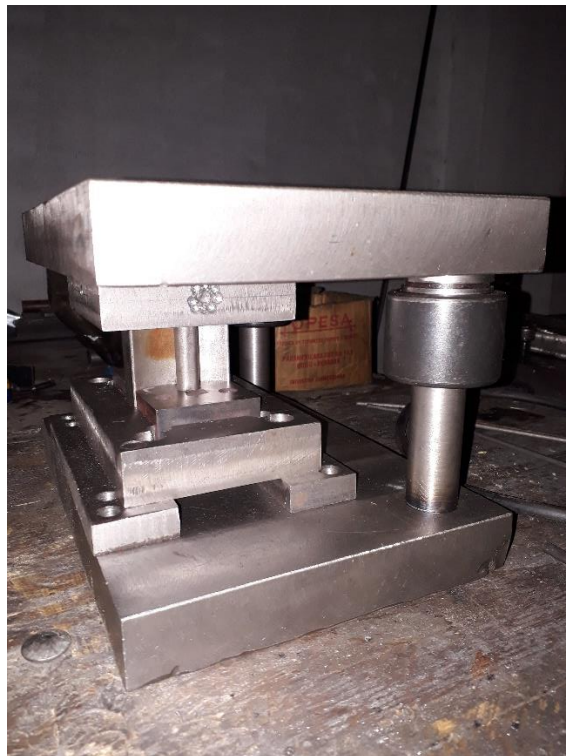
Parte móvil  
del troquel

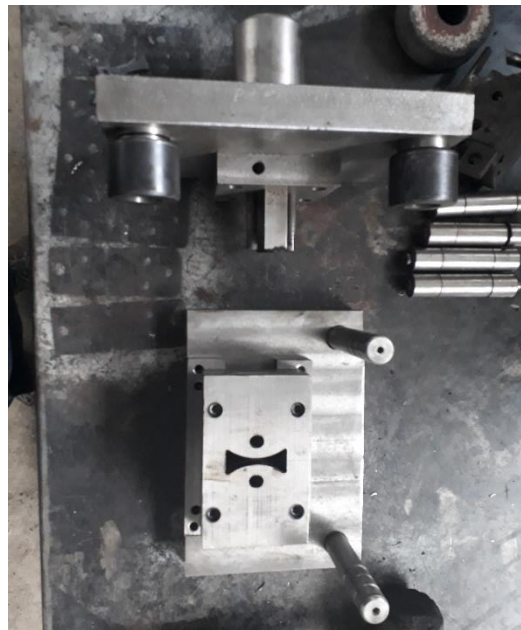


Mediante elementos de sujeción se ensamblan punzones y la placa porta punzones.



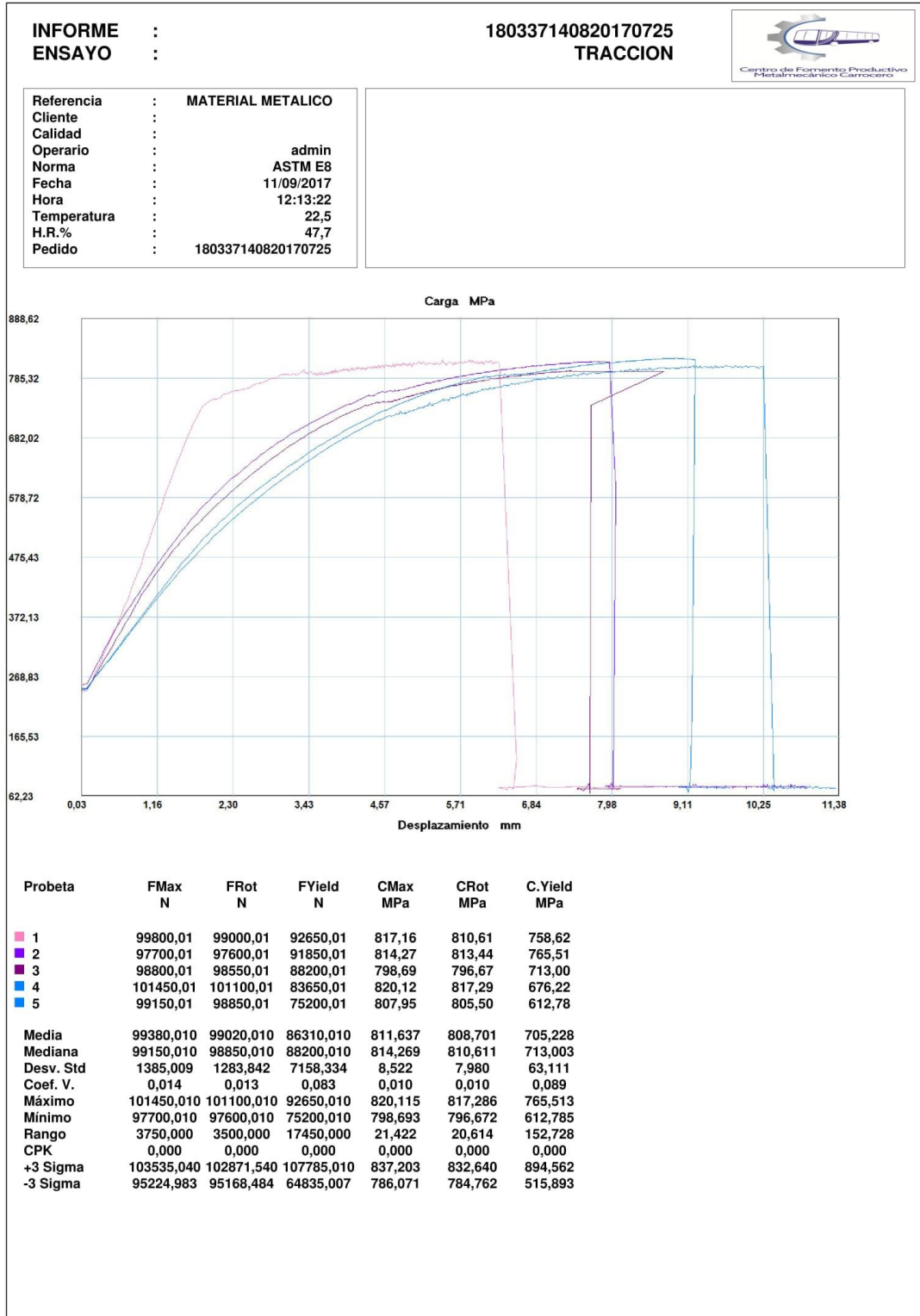
Ensamble  
Final





## Anexo 9

### Curvas y resultados obtenidos en el ensayo de Tracción.



### Parametros

Precarga	=	30000,00	N
Caída %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	20,00	mm

### Velocidades

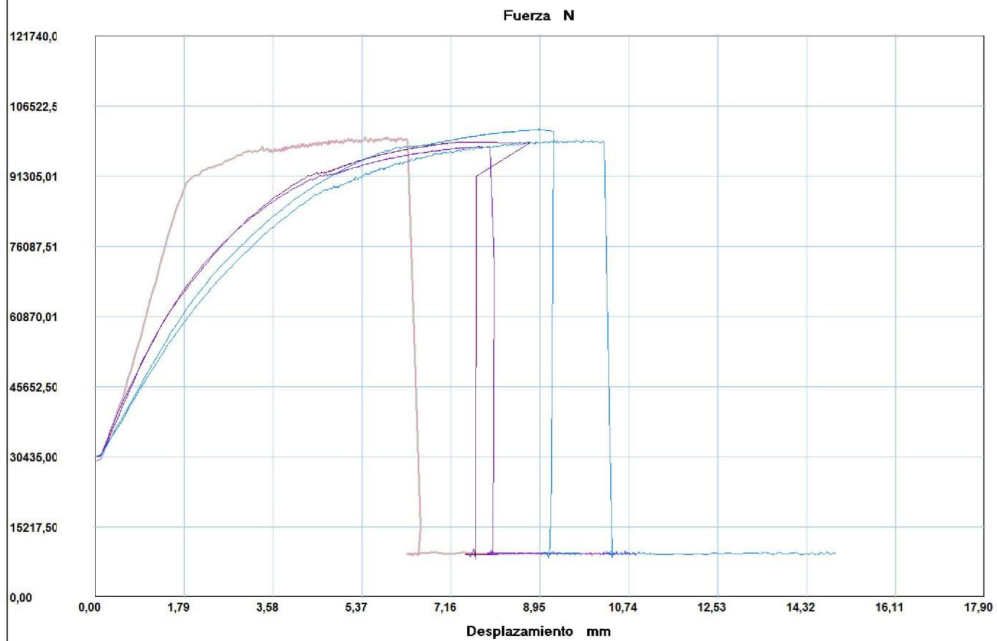
Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	20,00	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min

**INFORME** :  
**ENSAYO** :

**180337140820170725**  
**TRACCION**



Referencia : MATERIAL METALICO  
 Cliente :  
 Calidad :  
 Operario : admin  
 Norma : ASTM E8  
 Fecha : 11/09/2017  
 Hora : 12:13:22  
 Temperatura : 22,5  
 H.R.% : 47,7  
 Pedido : 180337140820170725



Probeta	FMax N	FRot N	FYield N	CMax MPa	CRot MPa	C.Yield MPa
1	99800,01	99000,01	92650,01	817,16	810,61	758,62
2	97700,01	97600,01	91850,01	814,27	813,44	765,51
3	98800,01	98550,01	88200,01	798,69	796,67	713,00
4	101450,01	101100,01	83650,01	820,12	817,29	676,22
5	99150,01	98850,01	75200,01	807,95	805,50	612,78
Media	99380,010	99020,010	86310,010	811,637	808,701	705,228
Mediana	99150,010	98850,010	88200,010	814,269	810,611	713,003
Desv. Std	1385,009	1283,842	7158,334	8,522	7,980	63,111
Coef. V.	0,014	0,013	0,083	0,010	0,010	0,089
Máximo	101450,010	101100,010	92650,010	820,115	817,286	765,513
Mínimo	97700,010	97600,010	75200,010	798,693	796,672	612,785
Rango	3750,000	3500,000	17450,000	21,422	20,614	152,728
CPK	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
+3 Sigma	103535,040	102871,540	107785,010	837,203	832,640	894,562
-3 Sigma	95224,983	95168,484	64835,007	786,071	784,762	515,893

### Parametros

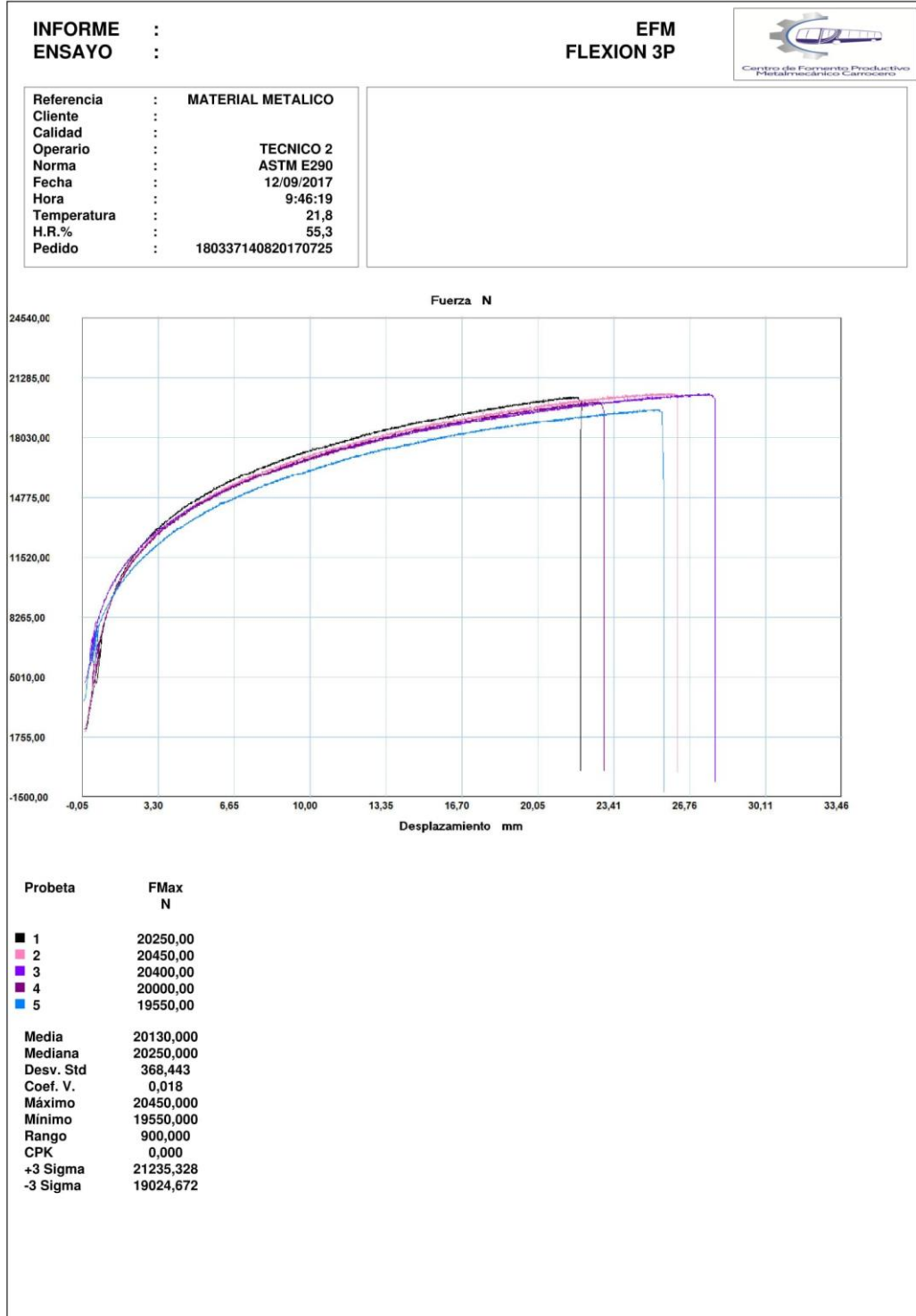
Precarga	=	30000,00	N
Caída %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	20,00	mm

### Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	20,00	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min

## Anexo 10

### Curvas y resultados obtenidos en el ensayo de Flexión.





### Parametros

Precarga	=	2000,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	1,00	
Limite Fuerza	=	1000000,00	N
Limite Desplazamiento	=	50,00	mm

### Velocidades

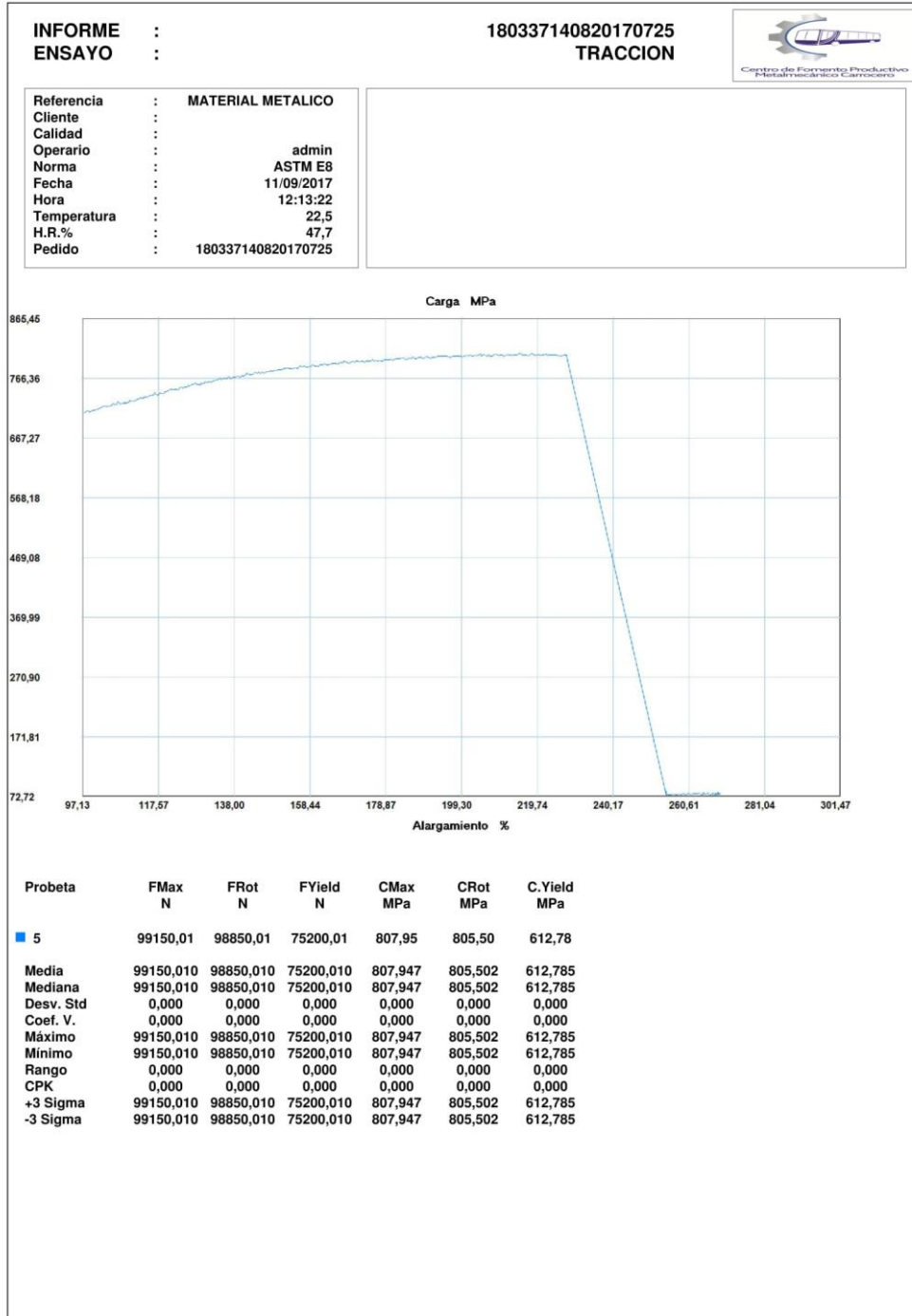
Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	10,00	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min

### Cálculos

Distancia Apoyos	=	108,00	mm
------------------	---	--------	----

## Anexo 11

### Curva y resultados obtenidos en el ensayo de Tracción probeta 5.



### Parametros

Precarga	=	30000,00	N
Caida %	=	100,00	
Retorno Automatico	=	0,00	
Limite Fuerza	=	1500000,00	N
Limite Desplazamiento	=	500,00	mm
Stop Ext	=	20,00	mm

### Velocidades

Precarga	=	10,00	mm/min
Ensayo	=	10,00	mm/min
Retorno	=	20,00	mm/min
Posicionamiento	=	100,00	mm/min

## Anexo 12

### Informe del ensayo de Tracción efectuado en el acero BOHLER K100



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

#### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

Informe N°: 180337140820170725-ETM	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
Empresa / Cliente: Cristian Fabián Pérez Salinas	
DIRECCIÓN: Parroquia Huachi Grande, Barrio San Vicente, Pan. Sur.	
NÚM. DE CEDULA / RUC: 1803371408	TELÉFONO: 0987854474
E-MAIL: cf.perez@uta.edu.ec	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>	
Laboratorio: Resistencia de Materiales.	
Designación del material: Acero de grado herramienta K100	
Método de ensayo: ASTM E8 / E8M -16a.	

#### Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Material	Cantidad
1	180337140820170725-ETM 01	Acero de grado herramienta K100	5
<b>Total</b>			<b>5</b>

Nota: Probetas maquinadas



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180337140820170725-ETM 01-1	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	11/09/2017
2	180337140820170725-ETM 01-2	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	11/09/2017
3	180337140820170725-ETM 01-3	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	11/09/2017
4	180337140820170725-ETM 01-4	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	11/09/2017
5	180337140820170725-ETM 01-5	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	11/09/2017

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por la norma.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
<b>Cliente</b>	

**NOTA:** LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN, NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.



**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE TRACCIÓN DE MATERIALES METALICOS**

**INFORME DE RESULTADOS N°: 180337140820170725-ETM**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** RM\_2017\_046  
**Designación del material:** Acero de grado herramienta K100.  
**Empresa / Cliente:** Cristian Fabián Pérez Salinas.  
**RUC/C.I.:** 1803371408  
**Dirección:** Parroquia Huachi Grande, Barrio San Vicente, Pan. Sur. **Ciudad:** Ambato.  
**Teléfono:** 0987854474  
**Correo:** cf.perez@uta.edu.ec  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 11 de septiembre de 2017.  
 Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Material	Cantidad
I	180337140820170725-ETM 01	Acero de grado herramienta K100	5
<b>Total</b>			<b>5</b>

**Observaciones:** Ninguna.

		
<b>Elaborado por:</b>	<b>Aprobado por:</b>	
Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Fecha de entrega de Informe:** Ambato, 18 de septiembre de 2017.

**N°. Factura:** 001-002-000003170





### RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.  
**Dirección:** Ambato/Catiglata. Toronto y Rio de Janeiro.  
**Código del Informe:** 180337140820170725-ETM  
**Fecha de Finalización de Ensayo:** 18 de septiembre de 2017.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.  
**Método de ensayo:** ASTM E8 / E8M -16a. Ensayo de tracción para materiales metálicos a temperatura ambiente.  
**Tipo de probeta:** Cilíndrica. **Longitud calibrada:** 62,5 mm  
**Condiciones ambientales:** Temperatura (°C): 22,5 Humedad relativa (%):47,7  
**Equipo utilizado:** Maquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN  
**Velocidad de ensayo:** 10 mm/min **Precarga:** 30000 N

### RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

Ítem	Identificación de la probeta	Dimensiones (mm)	Fuerza de rotura (N)	Fuerza de fluencia (N)	Resistencia de rotura (MPa)	Límite de fluencia (MPa)	Deformación (%)
		Diámetro					
1	180337140820170725-ETM 01-1	12,47	99000,01	92650,01	810,61	758,62	8,4
2	180337140820170725-ETM 01-2	12,36	97600,01	91850,01	813,44	765,51	7,6
3	180337140820170725-ETM 01-3	12,55	98350,01	88200,01	796,67	713,00	7,5
4	180337140820170725-ETM 01-4	12,55	101100,01	83650,01	817,29	676,22	9,8
5	180337140820170725-ETM 01-5	12,50	98850,01	75200,01	805,50	612,78	8,8
Promedio $\bar{x}$			99020,01	86310,01	808,70	705,23	
Desviación estándar $S_{n-1}$			1283,842	7158,33	7,98	63,11	
Coeficiente de variación CV			1,3	8,3	1,0	8,9	

**Observaciones del ensayo:** Todas las probetas durante el ensayo rompieron en la zona calibrada.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.





Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Caracero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS**

Informe N°: 180337140820170725-ETM

**DATOS DEL CLIENTE**

Empresa / Cliente: Cristian Fabián Pérez Salinas

DIRECCIÓN: Parroquia Huachi Grande, Barrio San Vicente, Pan. Sur.

NÚM. DE CEDULA / RUC: 1803371408 TELEFONO: 0987854474

E-MAIL: cf.perez@uta.edu.ec

**DATOS INFORMATIVOS**

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Acero de grado herramienta K100.

Método de ensayo: ASTM E8 / E8M -16a.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180337140820170725-ETM 01-1	07/09/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180337140820170725-ETM 01-2	07/09/2017		Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	180337140820170725-ETM 01-3	07/09/2017	18/09/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180337140820170725-ETM 01-4	07/09/2017	18/09/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180337140820170725-ETM 01-5	07/09/2017	18/09/2017	Cliente	Se entrega al cliente	



Las dos probetas iniciales por acuerdo con el cliente se almacenan en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

	
<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
Cliente	

## Anexo 13

### Informe del ensayo de Flexión efectuado en el acero BOHLER K100



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

#### RECEPCIÓN E IDENTIFICACIÓN DE PROBETAS

<b>Informe N°:</b> 180337140820170725-ETM	
<b>DATOS DEL CLIENTE</b>	
<b>Empresa / Cliente:</b> Cristian Fabián Pérez Salinas	
<b>DIRECCIÓN:</b> Parroquia Huachi Grande, Barrio San Vicente, Pan. Sur.	
<b>NÚM. DE CEDULA / RUC:</b> 1803371408	<b>TELÉFONO:</b> 0987854474
<b>E-MAIL:</b> cf.perez@uta.edu.ec	

<b>DATOS INFORMATIVOS</b>
<b>Laboratorio:</b> Resistencia de Materiales.
<b>Designación del material:</b> Acero de grado herramienta K100
<b>Método de ensayo:</b> ASTM E290 – 14.

#### Número de Probetas cuantificadas

N°	Identificación del grupo	Material	Cantidad
1	180337140820170725-ETM 01	Acero de grado herramienta K100	5
<b>Total</b>			<b>5</b>

**Nota:** Ninguna.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



ENSAYO SOLICITADO				
No.	No. DE PROBETA	DESCRIPCIÓN	FECHAS	
			RECEPCIÓN	ENSAYO
1	180337140820170725-ETM 01-1	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	12/09/2017
2	180337140820170725-ETM 01-2	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	12/09/2017
3	180337140820170725-ETM 01-3	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	12/09/2017
4	180337140820170725-ETM 01-4	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	12/09/2017
5	180337140820170725-ETM 01-5	Cumple criterios dimensionales.	07/09/2017	12/09/2017

**DATOS INFORMATIVOS:** De acuerdo a los criterios de aceptación y rechazo las probetas cumplen con las dimensiones determinadas por la norma.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
<b>Cliente</b>	

NOTA: LA INFORMACIÓN CONSIGNADA EN ESTE FORMULARIO ES DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDAD DEL CLIENTE. POSTERIORMENTE A LA EJECUCIÓN DEL(LOS) ENSAYO(S) NO SE ADMITIRÁ ARREGLOS DE ESTA INFORMACIÓN, NI DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS. FAVOR REVISAR ANTES DE SU FIRMA.



Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocero



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

**LABORATORIO DE RESISTENCIA DE MATERIALES**  
**ENSAYO DE FLEXIÓN DE MATERIALES METALICOS**

**INFORME DE RESULTADOS N°: 180337140820170725-EFM**

**DATOS GENERALES**

**N° de proforma:** RM\_2017\_046  
**Designación del material:** Acero de grado herramienta K100.  
**Empresa / Cliente:** Cristian Fabián Pérez Salinas.  
**RUC/C.I.:** 1803371408  
**Dirección:** Parroquia Huachi Grande, Barrio San Vicente, Pan. Sur. **Ciudad:** Ambato.  
**Teléfono:** 0987854474  
**Correo:** cf.perez@uta.edu.ec  
**Fecha de Inicio de Ensayo:** 12 de septiembre de 2017.  
Los resultados obtenidos en el presente informe corresponden a ensayos realizados en probetas de materiales metálicos. Las probetas fueron recibidas en el Laboratorio de Resistencia de Materiales del CFPMC del H.G.P. Tungurahua.

**OBJETOS DE ENSAYO**

**Número de Probetas cuantificadas**

N°	Identificación del grupo	Material	Cantidad
1	180337140820170725-ETM 01	Acero de grado herramienta K100	5
<b>Total</b>			<b>5</b>

**Observaciones:** Ninguna

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Analizado por:</b> Ing. Ángel Balseca Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC

**Fecha de entrega de Informe:** Ambato, 12 de septiembre de 2017.

**N° Proforma:** 001-002-000003170



Código: RG-RM-011  
Fecha de Elaboración: 01-09-2017  
Fecha de última aprobación: 12-09-2017  
Revisión: 1

**INFORME DE ENSAYO DE**  
**FLEXIÓN MATERIALES**  
**METALICOS**

Página 1 de 2



### RESULTADOS DE LOS ENSAYOS

**Lugar de Ejecución del Ensayo:** Laboratorio de Resistencia de Materiales.  
**Dirección:** Ambato/Catiglatá. Toronto y Río de Janeiro.  
**Código del Informe:** 180337140820170725-EFM  
**Fecha de Finalización de Ensayo:** 12 de septiembre de 2017.  
**Tipo de ensayo:** Cuantitativo.  
**Método de ensayo:** ASTM E290 – 14. Métodos de prueba estándar para la prueba de flexión para ver la ductilidad de materiales metálicos.  
**Tipo de probeta:** Cilíndrica. **Distancia entre apoyos:** 108 mm  
**Condiciones ambientales:**  
**Temperatura (°C):** 21,8 **Humedad relativa (%):** 55,3  
**Equipo utilizado:** Máquina de ensayos universal. Metro test 1500 kN  
**Modelo:** STH-1500/CS **Capacidad:** 1500 kN **Serie:** 8802M001  
**Velocidad de ensayo:** 10 mm/min **Precarga:** 2000 N

### RESISTENCIA A LA FLEXIÓN

Íte m	Identificación de la probeta	Dimensiones (mm)	Fuerza máxima (N)	Deflexión (mm)	Esfuerzo máximo a flexión (MPa)	Deformación máxima (%)
		Diámetro				
1	180415869720170704-ETM 01-1	16,94	20250,00	21,354	1145,64	18,61
2	180415869720170704-ETM 01-2	16,65	20450,00	25,868	1218,47	22,16
3	180415869720170704-ETM 01-3	16,65	20400,00	27,118	1215,49	23,23
4	180415869720170704-ETM 01-4	16,67	20000,00	22,439	1187,37	19,24
5	180415869720170704-ETM 01-5	16,64	19550,00	24,549	1166,94	21,01
Promedio $\bar{x}$			20130,00	24,27	1186,78	20,85
Desviación estándar $S_{n-1}$			368,44	2,38	31,28	1,94
Coeficiente de variación CV			1,83	9,80	2,64	9,29

**Observaciones del ensayo:** Todas las probetas durante el ensayo se rompen.

Nota: Este informe no significa certificación de calidad, no debe ser usado con fines publicitarios y no debe ser reproducido total ni parcialmente.





Centro de Fomento Productivo  
Metalmeccánico Carrocer



Honorable Gobierno  
Provincial de Tungurahua

### HOJA DE ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS

Informe N°: 180415869720170704-ETM

#### DATOS DEL CLIENTE

Empresa / Cliente: Cristian Fabián Pérez Salinas

DIRECCIÓN: Parroquia Huachi Grande, Barrio San Vicente, Pan. Sur.

NÚM. DE CEDULA / RUC: 1803371408

TELÉFONO: 0987854474

E-MAIL: cf.perez@uta.edu.ec

#### DATOS INFORMATIVOS

Laboratorio: Resistencia de Materiales.

Designación del material: Acero de grado herramienta K100.

Método de ensayo: ASTM E290 – 14.

N°	IDENTIFICACIÓN DE LA MUESTRA	FECHA INGRESO	FECHA ELIMINACIÓN	RESPONSABLE	OBSERVACIONES	Evidencias
1	180337140820170725-ETM 01-1	07/09/2017	12/09/2017	Ing. F. Galarza	Se almacena	
2	180337140820170725-ETM 01-2	07/09/2017	12/09/2017	Ing. F. Galarza	Se almacena	
3	180337140820170725-ETM 01-3	07/09/2017	12/09/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
4	180337140820170725-ETM 01-4	07/09/2017	12/09/2017	Cliente	Se entrega al cliente	
5	180337140820170725-ETM 01-5	07/09/2017	12/09/2017	Cliente	Se entrega al cliente	

Código: RG-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS



Centro de Fomento Productivo  
Metalmecánico Carrocero



La dos primeras probetas de cada grupo por acuerdo con el cliente se almacena en el CFPMC. El centro no se responsabiliza por el mantenimiento y almacenamiento de las otras, quedando a responsabilidad del cliente su resguardo.

<b>Elaborado por:</b> Ing. Fernando Galarza Chacón Analista Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC	<b>Aprobado por:</b> Ing. Esteban López Espinel Director Técnico Área de Ensayos e Inspecciones CFPMC
 Cliente	

Código: RG-RM-003  
Fecha de Elaboración: 06-07-2016  
Fecha de última aprobación: 17-01-2017  
Revisión: 3

HOJA DE ALMACENAMIENTO  
DE MUESTRAS

Página 2 de 2