

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



TRABAJO DE GRADUACIÓN:

**PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE  
MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA**

PRESENTADO POR:

**ANGEL ANTONIO GÓMEZ BAYONA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, OCTUBRE DE 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR

:

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL :

**M.Sc. CRISTÓBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO

:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

SECRETARIO

:

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR

:

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE  
MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA**

Presentado por :

**ANGEL ANTONIO GÓMEZ BAYONA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

San Salvador, octubre de 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

**DEDICATORIA**

A:

*Freth*

*Angel Antonio Gómez Bayona*

# **PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA**

Alumno: Angel Antonio Gómez Bayona<sup>1</sup>  
Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>2</sup>

1 E-mail: aa.gomezbayona@gmail.com

2 E-mail: jaberriosortiz@gmail.com

## **RESUMEN**

Se ha aplicado una nueva metodología de modelado CAD, que brinda utilidad práctica a los componentes, piezas y ensamblajes, mediante la integración de estrategias y técnicas del mecanizado con arranque de viruta, de manera explícita e implícita por medio del sentido físico brindado a las operaciones que se usan en los modelos CAD. Primeramente se establecen los fundamentos teóricos del modelado CAD, el diseño CAD/CAM, la manera usual de modelar y el mecanizado convencional y CNC. Luego se procede a establecer la metodología que incluye, en función del tipo de máquina, diversos aspectos como la estructuración de la documentación de los archivos de piezas, ensamblajes y planos mecánicos, además del nuevo proceso que se debe seguir y las consideraciones que se deben tomar en cuenta, establecidas mediante ejemplos de modelado. Posteriormente se aplica la metodología al diseño CAD/CAM de una máquina, con énfasis en las características geométricas y de funcionalidad.

## ÍNDICE

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. MARCO TEÓRICO.....	4
1.1. ANTECEDENTES DEL DISEÑO CAD/CAM.....	4
1.2. TIPOS DE PROGRAMAS CAD.....	7
1.3. TIPOS DE PROGRAMAS CAM.....	9
1.4. PROCESOS DEL DISEÑO.....	12
1.5. PROCESOS Y CONSIDERACIONES PARA LA PRODUCCIÓN.....	16
1.6. MECANIZADO CONVENCIONAL.....	19
1.6.1. MATERIALES DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE.....	21
1.6.2. MECANIZADO EN TORNO.....	23
1.6.3. HERRAMIENTAS DE CORTE PARA TORNO.....	24
1.6.4. MECANIZADO EN FRESADORA.....	26
1.6.5. HERRAMIENTAS PARA LAS FRESADORAS.....	28
1.6.6. PROCESOS DE TORNEADO.....	31
1.6.7. PROCESOS DE FRESADO.....	36
1.7. MÁQUINAS CON CNC.....	40
1.7.1. CENTROS DE MECANIZADO Y DE TORNEADO.....	42
1.8. MECANIZADO EN TORNO CON CNC O CENTRO DE TORNEADO.....	44
1.9. MECANIZADO EN FRESADORA CON CNC O CENTRO DE MECANIZADO.....	46
1.10. EL PROCESO DE PROGRAMACIÓN CAD/CAM.....	47
1.11. DESCRIPCIÓN DE SOLIDWORKS Y HSMXPRESS.....	48
1.11.1. GENERALIDADES DE SOLIDWORKS.....	49

1.11.2. HERRAMIENTAS PARA EL MODELADO EN SOLIDWORKS.....	50
1.11.3. LOS ENSAMBLAJES EN SOLIDWORKS .....	52
1.11.4. LOS DIBUJOS EN SOLIDWORKS.....	53
1.11.5. HERRAMIENTAS DE HSMXPRESS.....	54
1.12. DIAGNÓSTICO DEL DISEÑO CAD/CAM EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR.....	56
1.13. CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN EL MODELADO CAD Y LA PROGRAMACIÓN CAM PARA EL PROCESO DE DISEÑO CAD/CAM .....	57
2. ESTABLECIMIENTO DE LA METODOLOGÍA .....	60
2.1. GENERALIDADES Y DEFINICIONES .....	60
2.2. CODIFICACIÓN DE LAS PIEZAS Y SUS COMPONENTES .....	64
2.3. MODELADO CAD USUAL O COMÚN .....	67
2.4. FILOSOFÍA Y FUNDAMENTOS DE LA METODOLOGÍA.....	73
2.5. METODOLOGÍA PARA LA REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO EN EL MODELADO CAD.....	75
2.6. DESCRIPCIÓN Y ESTABLECIMIENTO ALGORÍTMICO DEL PROCESO METODOLÓGICO.....	117
3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA.....	120
3.1. GENERALIDADES.....	120
3.2. ANÁLISIS DE LA MÁQUINA DE REFERENCIA EN RELACION A LA MÁQUINA NUEVA .....	122
3.2.1. CONFIGURACIÓN Y COMPONENTES.....	122
3.2.2. FUNCIONAMIENTO.....	122
3.2.3. REQUERIMIENTOS.....	123
3.3. CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE LA MÁQUINA NUEVA .....	124
3.3.1. GENERALIDADES .....	124
3.3.2. REQUERIMIENTOS PRINCIPALES .....	125

3.4. PARAMETRIZACIÓN.....	135
3.4.1. CILINDRO HIDRÁULICO .....	136
3.4.2. PROBETA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN .....	137
3.5. ESTRUCTURACIÓN DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN..	141
3.5.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA MÁQUINA DE REFERENCIA.....	142
3.5.2. MODIFICACIONES A LA MÁQUINA DE REFERENCIA .....	144
3.5.3. TIPOS DE PIEZAS DE LA MÁQUINA NUEVA .....	145
3.5.4. ESTRUCTURACIÓN FINAL DE LA MÁQUINA MTPR-XN .....	145
3.6. CARÁCTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN MTPR-XN.....	160
3.6.1. CAPACIDAD, PROBETAS Y MATERIALES A ENSAYAR .....	161
3.6.2. VERSATILIDAD.....	164
3.6.3. DISEÑO CAD/CAM Y PROGRAMACIÓN CAM .....	165
3.7. RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA ....	180
3.7.1. CASO 1: TALLER DE ESTRUCTURAS Y SIMILARES .....	181
3.7.2. CASO 2: TALLER DE MECANISMOS Y SIMILARES .....	181
3.7.3. CASO 3: TALLER DE MOLDES Y SIMILARES.....	182
3.7.4. CASO 4: TALLER DE PIEZAS Y SIMILARES .....	182
3.7.5. COMENTARIOS FINALES .....	183
CONCLUSIONES .....	184
BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CITADAS.....	187
ANEXOS.....	190

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Principales aplicaciones según la clasificación ISO/DIN de las herramientas con placa soldada de metal duro (Demaquinasyherramientas.com, 2014).....	26
Tabla 1.2. Fresas cilíndricas periféricas y angulares sin vástago (Demaquinasyherramientas.com, 2012).....	29
Tabla 1.3. Fresas de disco y cilíndricas frontales sin vástago (Demaquinasyherramientas.com, 2012).....	30
Tabla 1.4. Fresas que cuenta con vástago cilíndrico o cónico (Demaquinasyherramientas.com, 2012).....	30
Tabla 1.5. Fresas de perfil constante (con o sin vástago) y fresas madre (Demaquinasyherramientas.com, 2012).....	31
Tabla 2.1. Ejemplificación de códigos de referencia para diferentes modelos de máquinas. ....	64
Tabla 2.2. Codificación de los sistemas de una máquina.....	65
Tabla 2.3. Códigos de los subsistemas del sistema dosificador de una máquina trituradora. ....	65
Tabla 2.4. Codificación de las piezas de una máquina de acuerdo a su naturaleza o tipo.....	65
Tabla 2.5. Código para el tipo de máquina herramienta usada en el mecanizado.....	66
Tabla 2.6. Ejemplos diversos de la codificación de piezas y componentes para una máquina. ....	66
Tabla 3.1. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 40 mm de ancho.....	138
Tabla 3.2. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 12.5 mm de ancho.....	138
Tabla 3.3. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 6 mm de ancho.....	139
Tabla 3.4. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 12.5 mm de diámetro con extremo roscado, tipo 1. ....	139
Tabla 3.5. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con extremo roscado, tipo 2. ....	139
Tabla 3.6. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con hombro, tipo 5.....	140
Tabla 3.7. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con hombro, tipo 4.....	140
Tabla 3.8. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con hombro, tipo 3.....	141
Tabla 3.9. Modelos de máquinas de tracción y compresión en función del tipo de probeta.....	142

Tabla 3.10. Sistemas preliminares de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.....	143
Tabla 3.11. Piezas de nivel 1 preliminares de la máquina MTPR-XN.....	143
Tabla 3.12. Sistemas de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.....	144
Tabla 3.13. Piezas de nivel 1 de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN. ..	144
Tabla 3.14. Resistencias máximas a la tracción para las probetas de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN. ....	163
Tabla A.1. Tipo y modelo de máquina.....	190
Tabla A.2. Probetas posibles de ensayar.....	190
Tabla A.3. Resistencia máxima a la tracción para las probetas. ....	190
Tabla A.4. Piezas principales tipo PAE. ....	191

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Proceso de creación de nuevos productos (Luna, 2006).....	13
Fig. 1.2. Sistemas de diseño: a) tradicional y b) por computadora (Luna, 2006). .....	15
Fig. 1.3. Nomenclatura de una herramienta de torneado (Amestoy, 2004). .....	24
Fig. 1.4. Herramientas ISO/DIN con placa soldada (Demaquinasyherramientas.com, 2014).....	25
Fig. 1.5. Refrentado (Gerling, 2006).....	32
Fig. 1.6. Cilindrado externo (Gerling, 2006). .....	32
Fig. 1.7. Cilindrado cónico externo (Gerling, 2006). .....	32
Fig. 1.8 Tronzado o corte en el torno (Gerling, 2006).....	33
Fig. 1.9. Perfilado de forma (Gerling, 2006). .....	33
Fig. 1.10. Taladrado en torno (Gerling, 2006). .....	34
Fig. 1.11. Mandrinado (Gerling, 2006). .....	34
Fig. 1.12. Roscado (Gerling, 2006). .....	35
Fig. 1.13. Torneado excéntrico (Gerling, 2006).....	35
Fig. 1.14. Diversos procesos de torneado interno (Gerling, 2006). .....	36
Fig. 1.15. Aplanamiento, planeado o careado (Gerling, 2006). .....	37
Fig. 1.16. Fresado en escuadra. ....	37
Fig. 1.17. Corte en el fresado.....	37
Fig. 1.18. Ranurado en fresadora. ....	38
Fig. 1.19. Ranurado de forma. ....	38
Fig. 1.20. Cavidades o cajeras.....	39
Fig. 1.21. Fresado de engranes (Gerling, 2006). .....	39
Fig. 1.22. Roscado con trayectoria helicoidal.....	40
Fig. 1.23. Pestaña de HSMXpress dentro del entorno de SolidWorks.....	54
Fig. 1.24. Herramientas para el mecanizado CNC de HSMXpress. ....	55
Fig. 1.25. Librerías de herramientas de HSMXpress.....	55
Fig. 1.26. Taladrado y comandos manuales de HSMXpress.....	55
Fig. 1.27. Herramientas y opciones de fresado 2D de HSMXpress.....	56
Fig. 1.28. Utilidades de HSMXpress. ....	56
Fig. 1.29. Modos de vistas de HSMXpress. ....	56
Fig. 2.1. Estructuración de una máquina en sistemas, subsistemas, piezas y componentes. Se presentan todos los casos posibles y los diferentes niveles de la estructura. ....	63
Fig. 2.2. Acotado de un croquis y de una operación. Las cotas negras son las del croquis y las azules las de la operación. ....	68
Fig. 2.3. Eje escalonado modelado por una sola operación de revolución del perfil final completo, usando como eje la línea horizontal inferior: a) isométrico y b) croquis. ....	68
Fig. 2.4. Eje escalonado creado por la extrusión de cada diámetro. ....	69

Fig. 2.5. Geometría final de una pieza dibujada mediante un método usual (Callinan, 2014).....	70
Fig. 2.6. Extrusión de varios contornos para formar una placa (Callinan, 2014).....	71
Fig. 2.7. Extrusión de las paredes de la pieza, a partir de un contorno de un croquis (Callinan, 2014). .....	71
Fig. 2.8. Extrusión de saliente derecha por medio de un contorno tomado de un croquis (Callinan, 2014). .....	71
Fig. 2.9. Extrusión de saliente central por medio de un contorno tomado de un croquis (Callinan, 2014). .....	72
Fig. 2.10. Modelado usual de un sólido: a) Croquis y operación de extrusión y b) Sólido final (Kiley, 2012). .....	72
Fig. 2.11. Primer ejemplo: a) vistas de la pieza y b) isométrico de la pieza. Cotas en mm.....	77
Fig. 2.12. Primer ejemplo: a) revolución para stock y b) detalle del croquis. ....	77
Fig. 2.13. Primer ejemplo: a) refrentado y b) cotas de medidas del croquis. ....	78
Fig. 2.14. Primer ejemplo: a) taladrado con broca centro #3 y b) cotas.....	78
Fig. 2.15. Primer ejemplo: a) taladrado de diámetro 6 mm y b) medidas. ....	78
Fig. 2.16. Primer ejemplo: a) taladrado de diámetro 10 mm y b) detalle de cotas. ....	79
Fig. 2.17. Primer ejemplo: a) revolución para escalón de diámetro 22 mm y b) detalle del croquis. ....	79
Fig. 2.18. Primer ejemplo: a) escalón de diámetro 19 mm y b) cotas del croquis. ....	79
Fig. 2.19. Primer ejemplo a) escalón de diámetro 14 mm y b) detalle de croquis.....	80
Fig. 2.20. Primer ejemplo: a) simetría para representar dos piezas en un stock y b) isométrico de las piezas. ....	80
Fig. 2.21. Primer ejemplo: a) tronzado de las piezas y b) croquis de la operación. ....	81
Fig. 2.22. Primer ejemplo: a) refrentado final y b) croquis para refrentado final. ....	81
Fig. 2.23. Primer ejemplo: a) redibujado del stock y b) cotas del croquis. ....	81
Fig. 2.24. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) stock inicial y b) detalle del croquis.....	83
Fig. 2.25. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) refrentado y b) cotas del croquis.....	83
Fig. 2.26. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) operación de cilindrado y b) cotas del croquis de la operación. ....	83
Fig. 2.27. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) tronzado y b) cotas. ....	84
Fig. 2.28. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) refrentado final y b) cotas. ....	84
Fig. 2.29. Segundo ejemplo: a) cotas en mm y b) modelo final. ....	87
Fig. 2.30. Segundo ejemplo. Operación padre: stock inicial. ....	87
Fig. 2.31. Segundo ejemplo. Cilindrado izquierdo. ....	87
Fig. 2.32. Segundo ejemplo. Escalón izquierdo. ....	88
Fig. 2.33. Segundo ejemplo. Cilindrado de forma positiva. ....	88
Fig. 2.34. Segundo ejemplo. Ranurado.....	88
Fig. 2.35. Segundo ejemplo. Cilindrado lado derecho. ....	89
Fig. 2.36. Segundo ejemplo. Escalón derecho. ....	89
Fig. 2.37. Segundo ejemplo. Cilindrado de forma negativa. ....	89
Fig. 2.38. Segundo ejemplo. Cono externo. ....	90

Fig. 2.39. Segundo ejemplo. Stock final.....	90
Fig. 2.40. Tercer ejemplo: a) cotas de la geometría en mm y b) modelo.....	92
Fig. 2.41. Tercer ejemplo a) Escalón izquierdo y b) Escalón derecho y taladrado de grupo de agujeros de igual diámetro.....	92
Fig. 2.42. Tercer ejemplo. Plano para la operación excéntrica.....	93
Fig. 2.43. Tercer ejemplo. Revolución excéntrica.....	93
Fig. 2.44. Tercer ejemplo. Plano para segunda operación excéntrica.....	93
Fig. 2.45. Tercer ejemplo. Revolución de segunda excéntrica.....	94
Fig. 2.46. Tercer ejemplo. Modelo final y stock.....	94
Fig. 2.47. Cuarto ejemplo: a) Medidas en mm y b) Modelo de la pieza.....	95
Fig. 2.48. Cuarto ejemplo. Cilindrado, ranurado y chaflán.....	95
Fig. 2.49. Cuarto ejemplo. Plano para hélice de rosca.....	96
Fig. 2.50. Cuarto ejemplo. Hélice para la rosca.....	96
Fig. 2.51. Cuarto ejemplo. Perfil para roscado.....	97
Fig. 2.52. Cuarto ejemplo. Fresado plano.....	97
Fig. 2.53. Cuarto ejemplo. Matriz para fresado plano.....	97
Fig. 2.54. Cuarto ejemplo. Modelo final y distribución de las operaciones.....	98
Fig. 2.55. Cuarto ejemplo. Stock para el modelo.....	99
Fig. 2.56. Quinto ejemplo: a) medidas en mm y b) modelo final.....	99
Fig. 2.57. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Bloque inicial.....	100
Fig. 2.58. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Planeado.....	100
Fig. 2.59. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Contorneado de la pieza.....	101
Fig. 2.60. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Taladrado.....	101
Fig. 2.61. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Chaflán.....	102
Fig. 2.62. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Fresado en escuadra de escalón.....	102
Fig. 2.63. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Simetría del escalón.....	103
Fig. 2.64. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Plano para hélice de rosca.....	103
Fig. 2.65. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Hélice de rosca interna.....	104
Fig. 2.66. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Perfil de rosca interna.....	104
Fig. 2.67. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Modelo final y stock.....	105
Fig. 2.68. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Bloque de inicio.....	106
Fig. 2.69. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Matriz lineal de taladrado y chaflán.....	106
Fig. 2.70. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Fresado en escuadra para escalón.....	107
Fig. 2.71. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Fresado de ranura.....	107
Fig. 2.72. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Matriz para ranurado.....	107
Fig. 2.73. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Planeado para separación de piezas.....	108
Fig. 2.74. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Modelo y stock final.....	108
Fig. 2.75. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Modelo y orden de operaciones.....	109
Fig. 2.76. Sexto ejemplo: a) medidas en mm y b) modelo.....	109
Fig. 2.77. Sexto ejemplo. Operación inicial.....	110
Fig. 2.78. Sexto ejemplo. Taladrado para corredera.....	110
Fig. 2.79. Sexto ejemplo. Fresado de corredera.....	111
Fig. 2.80. Sexto ejemplo. Taladrado de agujeros.....	111

Fig. 2.81. Sexto ejemplo. Stock y modelo final.....	112
Fig. 2.82. Séptimo ejemplo. Stock inicial.....	112
Fig. 2.83. Séptimo ejemplo. Perfilado de forma. ....	113
Fig. 2.84. Séptimo ejemplo. Vaciado en esquina. ....	114
Fig. 2.85. Séptimo ejemplo. Cajera cuadrada. ....	114
Fig. 2.86. Séptimo ejemplo. Fresado de cajera pasada. ....	115
Fig. 2.87. Séptimo ejemplo. Fresado de cajera circular con fondo. ....	115
Fig. 2.88. Séptimo ejemplo. Fresado de ranura abierta.....	115
Fig. 2.89. Séptimo ejemplo. Taladrado de agujeros. ....	116
Fig. 2.90. Séptimo ejemplo. Redibujado de stock y pieza final.....	116
Fig. 2.91. Soporte cilíndrico. Pieza tipo TF.....	117
Fig. 2.92. Opciones para el stock de una pieza: a) stock cilíndrico y b) stock cúbico. ....	117
Fig. 3.1. Representación de la máquina de referencia para ensayos de tracción y compresión. ....	121
Fig. 3.2. Probetas rectangulares para ensayos de tracción (ASTM international, 2009). ....	126
Fig. 3.3. Geometría de la sección reducida de las probetas redondas para ensayos de tracción (ASTM international, 2009). ....	126
Fig. 3.4. Probetas para ensayos de tracción longitudinal de tubos de grandes diámetros y espesores menores a 20 mm (ASTM international, 2009). ....	127
Fig. 3.5. Forma indicativa para el corte de las probetas para ensayos de tracción longitudinal de tubos de grandes espesores y diámetros (ASTM international, 2009). ....	127
Fig. 3.6. Dimensiones y detalle de montaje de los pines para pruebas de sección completa en tubos (ASTM international, 2009).....	128
Fig. 3.7. Dimensiones y detalles para probetas con agujeros en los extremos (ASTM international, 2009). ....	129
Fig. 3.8. Probetas redondas con extremo roscado: tipo 1 y tipo 2 (ASTM international, 2009). ....	130
Fig. 3.9. Probetas redondas con extremo de hombro: tipo 3, tipo 4 y tipo 5 (ASTM international, 2009). ....	131
Fig. 3.10. Sujeciones para las diferentes probetas a) planas b) redondas con extremo roscado c) redondas con extremo de hombro (ASTM international, 2009). ....	132
Fig. 3.11. Mordaza autoajustable para sujetar probetas de hojas metálicas y alambres (ASTM international, 2009). ....	132
Fig. 3.12. Probeta normalizada para el hierro maleable (ASTM international, 2009). ....	133
Fig. 3.13. Probetas normalizadas para hierro fundido (ASTM international, 2009)....	133
Fig. 3.14. Probeta normalizada para las fundiciones (ASTM international, 2009).....	133
Fig. 3.15. Detalle del área efectiva de un cilindro hidráulico.....	136
Fig. 3.16. Configuración de la máquina MTPR-XN para ensayos de tracción de probetas redondas. ....	146

Fig. 3.17. Configuración de la máquina MTPR-XN para ensayos de tracción de probetas planas. ....	147
Fig. 3.18. Configuraciones a nivel CAD de la máquina MTPR-XN. ....	148
Fig. 3.19. Contenido de la carpeta padre de la máquina MTPR-XN. ....	148
Fig. 3.20. Estructura fija de la máquina MTPR-XN. ....	149
Fig. 3.21. Piezas de la estructura fija de la máquina MTPR-XN. ....	149
Fig. 3.22. Sistema hidráulico de la máquina MTPR-XN. ....	151
Fig. 3.23. Piezas del sistema hidráulico de la máquina MTPR-XN. ....	151
Fig. 3.24. Estructura móvil de la máquina MTPR-XN. ....	153
Fig. 3.25. Piezas de la estructura móvil de la máquina MTPR-XN. ....	153
Fig. 3.26. Alineador de soportes de la máquina MTPR-XN. ....	154
Fig. 3.27. Pieza del alineador de soportes de la máquina MTPR-XN. ....	154
Fig. 3.28. Soporte de portaprobeta de la máquina MTPR-XN. ....	155
Fig. 3.29. Piezas del soporte de portaprobeta de la máquina MTPR-XN. ....	155
Fig. 3.30. Soporte de mordazas de la máquina MTPR-XN. ....	156
Fig. 3.31. Piezas del soporte de mordazas de la máquina MTPR-XN. ....	156
Fig. 3.32. Configuraciones para las probetas con extremo roscado (tipo 1 y tipo 2) de la máquina MTPR-XN. ....	158
Fig. 3.33. Configuraciones para las probetas con extremo de hombro (tipo 4 y tipo 5) de la máquina MTPR-XN. ....	158
Fig. 3.34. Configuraciones del portaprobeta desmontable de la máquina MTPR-XN. ....	159
Fig. 3.35. Tabla de diseño para las configuraciones de las probetas con extremo roscado (tipo 1 y tipo 2) de la máquina MTPR-XN. ....	159
Fig. 3.36. Configuraciones de la probeta plana de ancho 12.5 mm de la máquina MTPR-XN. ....	160
Fig. 3.37. Configuraciones de la probeta plana de ancho 6.0 mm de la máquina MTPR-XN. ....	160
Fig. 3.38. Características del cilindro hidráulico de la máquina MTPR-XN. ....	161
Fig. 3.39. Selección de componentes del sistema hidráulico de la máquina MTPR-XN. ....	162
Fig. 3.40. Modificación de mordazas para sujetar probetas con extremo redondo y tubos en la máquina MTPR-XN. ....	164
Fig. 3.41. Operaciones de modelado: a) placa base inferior y b) placa fija superior de la estructura fija. ....	167
Fig. 3.42. Operaciones para el modelado del buje de la estructura fija. ....	168
Fig. 3.43. Operaciones de modelado: a) para el disco de anclaje de soportes de la estructura fija y b) para el disco base de soportes del sistema alineador. ....	168
Fig. 3.44. Operaciones de modelado del disco para anclaje del soporte de mordazas. ....	169
Fig. 3.45. Operaciones de modelado para las placas de la estructura móvil: a) inferior y b) superior. ....	170

Fig. 3.46. Operaciones para el modelado del eje con asiento esférico del sistema alineador. ....	170
Fig. 3.47. Operaciones para el modelado del soporte fijo del sistema soporte de portaprobeta. ....	172
Fig. 3.48. Operaciones de modelado para todas las configuraciones del portaprobeta fijo. ....	172
Fig. 3.49. Operaciones de modelado para el collar roscado del soporte de portaprobeta. ....	173
Fig. 3.50. Operaciones de modelado: a) pin soporte de resorte y b) pin de mordaza. ....	173
Fig. 3.51. Operaciones de modelado: a) sujetador de mordazas y b) mango. ....	174
Fig. 3.52. Operaciones de modelado para pieza C del soporte de mordazas. ....	175
Fig. 3.53. Operaciones de modelado para eje de engrane. ....	176
Fig. 3.54. Operaciones de modelado para el engrane. ....	176
Fig. 3.55. Operaciones del modelado de las mordazas: a) izquierda y b) derecha. ....	177
Fig. 3.56. Operaciones de modelado de mordaza modificada para sujetar probetas redondas. ....	177
Fig. 3.57. Operaciones de modelado para el portaprobeta desmontable. ....	178
Fig. 3.58. Operaciones de modelado para las probetas roscadas. ....	178
Fig. 3.59. Operaciones de modelado para probetas con extremo de hombro. ....	179
Fig. 3.60. Operaciones de modelado para probeta plana de 12.5 mm de ancho. ....	179
Fig. 3.61. Operaciones de modelado para probeta plana de 6.0 mm de ancho. ....	179
Fig. A.1. Estructura de la máquina MTPR-XN. ....	192

## LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- $A_e$ : Área efectiva del cilindro hidráulico.
- $A_p$ : Área inicial (antes del ensayo de tracción) de la sección transversal de la probeta.
- CAD: Diseño asistido por computadora, del inglés: Computer Aided Design.
- CAD/CAM: Diseño y manufactura asistida por computadora, por su interpretación del inglés.
- CAE: Ingeniería Asistida por computador, del inglés: Computer Aided Engineering
- CAI: Verificación asistida por computador, del inglés: Computer Aided Inspection
- CAM: Manufactura asistida por computadora, del inglés: Computer Aided Manufacturing.
- CIM: Fabricación Integrada por Computador, del inglés: Computer Integrated Manufacturing
- CN o NC : Control numérico, del inglés: Numerical Control.
- CNC: Control numérico por computadora, del inglés: Computer Numerical Control
- $F_c$  : Fuerza que proporciona el cilindro hidráulico.
- FE: Elementos finitos, del inglés: Finit Elements
- $K_1$ : Razón entre el área efectiva del cilindro y el área inicial de la probeta.
- $P_c$  : Presión dentro del cilindro hidráulico.
- Stock: Es la preforma o material en bruto del cual se mecaniza una pieza
- $\sigma$  : Esfuerzo nominal sobre la sección transversal de la probeta.

## INTRODUCCIÓN

Dentro de la industria actual, la fabricación de piezas de máquinas es una tarea cotidiana. Un método de fabricación de piezas mecánicas es el llamado mecanizado con arranque de viruta donde se utilizan diferentes máquinas herramientas, y entre ellas, el torno y la fresadora. En el mecanizado convencional, la operación de estas máquinas se realiza de manera manual, auxiliándose de diferentes accesorios que ayudan a lograr perfiles un tanto complejos. Intrínsecamente este mecanizado tiene limitantes muy evidentes como la precisión que se logra, la rapidez de los procesos, entre otras.

En las últimas décadas el mecanizado convencional ha comenzado a perder terreno frente a nuevas tecnologías, principalmente frente al mecanizado con control numérico por computadora (mecanizado CNC). Con esta nueva tecnología se logran producir de manera consistente componentes y piezas con precisiones imposibles de imaginar hace solo algunos años. Si el programa para el mecanizado CNC se prepara adecuadamente, se configura correctamente la máquina y se utilizan bien las herramientas de corte, es posible producir la misma pieza con el mismo grado de precisión cualquier cantidad de veces. Los comandos operacionales que controlan la máquina herramienta mediante el CNC son ejecutados automáticamente con una velocidad, eficiencia, precisión y capacidad de repetición, muy altas.

Como toda nueva tecnología, el mecanizado CNC exige un cambio de paradigma frente a la manera de abordarlo, muchas veces distanciándose en gran medida del mecanizado convencional. En este último, simplificando, basta con un plano de la pieza, una máquina herramienta operativa y buena destreza técnica por parte del operador para obtener un resultado aceptable. El operador va ajustando en el proceso cualquier inconveniente, evitando que se produzcan nuevamente; es decir, tiene control del proceso en todo momento. En el mecanizado CNC una vez se ejecuta el programa de mecanizado, poco control se tiene de éste, y obtener el control de nuevo, generalmente requiere pausar el proceso, lo cual aumenta el costo del mecanizado, ya que la máquina consume

energía mientras se realizan los ajustes y en general estos ajustes no se hacen directamente en la máquina. Tomando en cuenta lo anterior, incluso así, la rentabilidad se presenta por la repetitividad de una misma pieza, siendo muchas veces del orden de los miles. En una empresa con grandes volúmenes de producción, evidentemente esto no es un gran problema, pero en aquellas donde no sea este el caso, sí que lo es.

En sus inicios, la programación de las máquinas con CNC y la representación de las piezas por medio del dibujo de sus planos mecánicos lo realizaban dos personas distintas, generándose problemas debido a la forma de realizar cada uno su función, olvidándose de la del otro, muchas veces por desconocimiento. Como resultado de esto, los paros por ajuste o correcciones eran altos. Hoy en día estas funciones se ven como parte de un proceso global de producción, formándose lo que se llama el diseño CAD/CAM, que une la tecnología del dibujo asistido por computadora y la manufactura asistida por computadora, aportando de esta forma una solución más acertada al mecanizado CNC.

Para lograr mejores resultados, se requiere que el software CAD y el software CAM tengan buena comunicación para evitar errores en la transferencia de la información durante los procesos iterativos de diseño, rediseño o reutilización CAD/CAM. En cuanto al diseñador CAD/CAM, se requiere que tenga dominio de ambas ramas para no convertirse en un cuello de botella del proceso global de fabricación. Además de tener el dominio de las ramas, debe ser capaz de representar correctamente la información.

Aun cuando los programas de software actuales lo permiten, muchas veces la información CAD/CAM no se representa de una manera funcional, sino que más bien solo se hace de manera representativa. Por ejemplo, si se desea fabricar un eje con varios cambios de secciones, se tiende a dibujar un perfil de la pieza terminada y revolucionarla, lo cual a nivel representativo está bien, pero no aporta ninguna información sobre el proceso de mecanizado.

El presente trabajo de graduación pretende brindar una guía acerca de cómo poder representar en un modelo CAD, parte o todo el proceso de

mecanizado, para que todos los involucrados sean capaces de entender mejor ciertas decisiones de diseño, los procesos que ha visualizado el diseñador, la funcionalidad y características, además de aportar utilidad al modelo para un futuro rediseño o reutilización del mismo.

En el primer capítulo se presentan los fundamentos teóricos con respecto a los procesos de diseño y fabricación, mecanizado por arranque de viruta, máquinas herramientas, el control numérico por computadora, software CAD/CAM y generalidades que ayudan a fundamentar la integración de estrategias y técnicas de mecanizado al modelado asistido por computadora.

En el segundo capítulo se describe lo que se espera lograr con el presente trabajo y se presentan definiciones usadas más adelante. Se da a conocer la manera usual de representar las piezas y los componentes, para después proceder a definir la metodología propuesta, que incluye la estructuración, las operaciones usadas y los procedimientos, dando amplios ejemplos de la nueva manera que se propone realizar el modelado CAD/CAM, tomando en cuenta aspectos propios del mecanizado convencional y CNC.

En el tercer capítulo se aplica la metodología al diseño CAD/CAM y al dibujo, incluyendo amplias explicaciones e incluso aplicando técnicas de parametrización para ser integradas al modelado CAD de algunas piezas y a otros aspectos de la máquina. La metodología se aplica al diseño CAD/CAM de una máquina para ensayos de tracción, de probetas redondas y planas normalizadas, quedando incluso la posibilidad de realizar diversas adaptaciones para ensayar otros tipos.

## **1. MARCO TEÓRICO**

El diseño industrial es una actividad proyectual, que consiste en determinar las propiedades formales de los objetos producidos industrialmente. Por propiedades formales no hay que entender tan sólo las características exteriores, si no, sobre todo las relaciones funcionales y estructurales que hacen que un objeto tenga una unidad coherente desde el punto de vista tanto del productor como del usuario. Mientras la preocupación exclusiva por los rasgos exteriores de un objeto determinado conlleva el deseo de hacerlo parecer atractivo, las propiedades formales de un objeto son siempre el resultado de la integración de factores diversos de tipo funcional, cultural, tecnológico o económico (Luna, 2006).

Dentro del diseño industrial se encuentra el diseño mecánico, el cual es el proceso de diseño o selección de componentes mecánicos para conjuntarlos y lograr una función deseada. Naturalmente, los elementos de máquinas deben ser compatibles, acoplarse bien entre si y funcionar en forma segura y eficiente. El diseñador no solo debe considerar el desempeño del elemento diseñado, sino también los elementos con que debe interactuar (Robert L. Mott, 2006).

### **1.1. ANTECEDES DEL DISEÑO CAD/CAM**

El diseño asistido por computadora (CAD, por sus siglas en Inglés: Computer Aided Design) y la manufactura asistida por computadora (CAM, por sus siglas en Inglés: Computer Aided Manufacturing) surgieron en la década de los años 50 y 60. En 1957 el Dr. Patrick Hanratty concibe el primer software CAM llamado "PRONTO", por lo que muchas veces es llamado el padre del CAD/CAM (Castor.es, 2016).

El término CAD también se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis y optimización de un

producto. Dichos sistemas informáticos constarían de un hardware y un software (Luna, 2006).

En 1963 Iván Sutherland del MIT (Massachusetts Institute of Technology, por sus siglas en inglés) publicó su tesis doctoral sobre gráficas interactivas por computadora definiendo la topología del objeto (sistema Sketchpad - SUTH63), es decir, inventa el primer sistema gráfico CAD comúnmente llamado "Sketchpad" (Rojas, 2006).

El término diseño asistido por ordenador fue acuñado por Douglas Ross y Dwight Baumann en 1959, y aparece por primera vez en 1960, en un anteproyecto del MIT, titulado "Computer-Aided Design Project". En aquella época ya se había comenzado a trabajar en la utilización de sistemas informáticos en el diseño, fundamentalmente de curvas y superficies. Estos trabajos se desarrollaron en la industria automovilística, naval y aeronáutica (Torres, 2016)

La tendencia actual para los diseños en la ingeniería mecánica (y prácticamente en todas las ingenierías), es el empleo del diseño CAD como técnica de análisis (una manera de crear un modelo del comportamiento de un producto aun antes de que se haya construido), usando para esto diversos paquetes de software CAD. Esto ha llevado a que los dibujos en papel pueden no ser necesarios en la fase del diseño, basta y sobra la representación que se logra de los modelos en el entorno virtual del software. La aplicación de éstos en el diseño y procesos posteriores, abarca la elaboración de cuadros sinópticos, diagramas de diversos tipos, gráficos estadísticos, representación normalizada de piezas para su diseño y fabricación, representación tridimensional de modelos dinámicos en multimedia, análisis con elementos finitos, aplicaciones en realidad virtual, robótica, entre otros (Rojas, 2006).

El término CAM se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción (Luna, 2006).

A partir de las décadas de los años 50 y 60, las tecnologías CAD y CAM se fueron desarrollando y debido a su naturaleza, inevitablemente se han unido en una sola llamada diseño CAD/CAM. El desarrollo se dio principalmente dentro de grandes conglomerados corporativos debido a sus altos costos, pasando a ser más accesibles a empresas de menor poder adquisitivo en la década de los años 80 y 90, lo cual dio como resultado la globalización de las mismas.

Una observación muy importante, en general, es que un software CAD es necesario para emplear CAM, debido a que se requiere un modelo para llevar a cabo la programación de la manufactura: el CAD es la columna vertebral del CAM. El software CAD puede ser utilizado como una herramienta sola para llevar a cabo modelos virtuales de ingeniería, pero el CAM no puede usarse por sí solo. En el diseño CAD/CAM se hace una integración de ambos, y deben ser compatibles desde cualquier punto de vista, para crear una buena simbiosis. Hay paquetes de software CAM que brindan la posibilidad de dibujar internamente el modelo CAD.

La información ingresada al software CAD, implícita en el modelo, puede ser transferida a un software CAM, donde se realiza una programación de las operaciones necesarias para la producción, entre ellos el mecanizado. A partir de esta programación se generan los datos necesarios en forma de código para controlar tornos, máquinas de corte, fresadoras, entre otras máquinas.

El control de la maquinaria compatible con el lenguaje de programación CAM se basa en una serie de códigos numéricos, almacenados en archivos informáticos, para controlar las tareas de fabricación. El control numérico por computadora (CNC, por sus siglas en inglés) describe las operaciones de la máquina en términos de códigos alfanuméricos, definidos por la geometría y forma de los modelos CAD, creando archivos informáticos especializados o programas de piezas. La creación de estos programas de piezas es una tarea que en gran medida, se realiza hoy día por un archivo informático especial llamado postprocesador que crea el vínculo entre el sistema CAM y la maquinaria.

Los CNC o CN, utilizan instrucciones programadas para controlar máquinas herramienta que cortan, doblan, perforan o transforman una materia prima en un producto terminado (Luna, 2006).

## **1.2. TIPOS DE PROGRAMAS CAD**

Existen principalmente dos tipos de programas CAD: tradicional (analítico) y paramétrico (Arreola, 2016).

El tradicional o analítico usa procedimientos analíticos para definir sus límites o acciones. En este caso, el dibujo o trazado permanece en la memoria de la computadora como una serie de relaciones de puntos-coordenadas, sentido y dirección en programas vectoriales o como un grupo de píxeles, en programas de renderizado y tratamiento de imágenes. Cada elemento del dibujo o trazado es definido por sus coordenadas espaciales (x, y, z) mediante el uso de procedimientos analíticos complejos (cálculo vectorial, integral, diferencial, algebraico), en los cuales toda la información se maneja de forma lógica-analítica.

El paramétrico usa parámetros para definir sus límites o acciones. En un programa paramétrico la información visual es parte de la información disponible en el banco de datos, o sea, una representación de la información como un objeto, en la memoria de la computadora. Cada elemento del dibujo (paredes, puertas, ventanas, entre otros) es tratado como un "objeto", que no es definido únicamente por sus coordenadas espaciales (x, y, z), sino que también por sus parámetros, sean estos gráficos o funcionales. Los bancos de datos relacionales de los objetos son entrelazados permitiendo que cualquier cambio ocurrido en una especificación, modifique el dibujo en uno o todo el articulado. Si esos bancos de datos incluyen información económica y financiera, ellos son descritos como 5D, donde existen las tres dimensiones espaciales, el tiempo como la cuarta y los costos como la quinta.

En la actualidad, los programas CAD paramétrico han substituido, casi por completo, a las técnicas clásicas de diseño en tres dimensiones mediante el modelado de sólidos y superficies, y se han convertido en un conocimiento imprescindible para cualquier profesional de la ingeniería o la informática técnica.

Existen programas CAD 2D y 3D. Así, para los procesos de diseño mecánico, es necesario el uso de un programa CAD con representación 3D ya que se deben considerar las tres dimensiones simultáneamente (Costa de Moraes Figueira, 2002/2003).

Los principales métodos de representación de modelado 3D en los diferentes programas CAD, son:

- Wireframe,
- Superficies,
- Modelado sólido CSG: constructive solid geometry,
- Modelado sólido Brep: boundary representation,
- Modelado sólido híbrido,
- Modelado sólido basado en características, y
- Modelado sólido paramétrico.

A través del tiempo han surgido diversos programas CAD con diferentes características y enfoques a soluciones de la industria, y basados en los diferentes métodos de representación ya mencionados. AutoCAD es el más vendido y ha sido comercializado prácticamente desde la aparición de las computadoras personales (PC: Personal Computer, por sus siglas en inglés), es odiado por muchos y amado por otros debido a sus características intrínsecas, además puede decirse que es la mejor elección para un programa CAD 2D.

ProEngineer es un programa CAD 3D por modelado sólido, con el nació el primer modelador de sólidos y representó una revolución ya que la forma de trabajo era distinta y requería una manera diferente de pensar durante el modelado, además surgió con éste la parametrización de los diseños; es decir, si se modifica un parámetro del modelo, todo éste se actualiza automáticamente.

SolidWorks fue una segunda revolución después de ProEngineer; presenta una funcionalidad equiparada con éste, pero a un precio más barato y una interfaz moderna e inteligente. SolidEdge utiliza el mismo núcleo matemático que SolidWorks y la diferencia esencial entre ambos es la interfaz y la forma de abordar la solución a determinados problemas.

PowerShape es un modelador de superficies de la empresa Delcam, el cual sustituyó a Duct5, que era un poderoso modelador de superficies de la misma empresa. Está especialmente pensado para el modelado de cavidades de moldes; es decir, presenta herramientas propias para la ejecución y verificación de ángulos de salida, creación de líneas de unión, entre otras similares.

CATIA es un software CAD híbrido que permite tanto el modelado de superficies así como de sólidos, las industrias aeronáutica y automovilística lo usan bastante. Se usan formatos de ficheros de difícil lectura en otros programas CAD (Costa de Morais Figueira, 2002/2003).

### **1.3. TIPOS DE PROGRAMAS CAM**

Existen una diversidad de programas CAM que de una u otra forma presentan compatibilidad con varios programas CAD, solo que no necesariamente de una manera tan directa con todos; es decir, cada uno de estos programas CAM presentan una alta compatibilidad con un programa CAD específico y una compatibilidad menor con otros, en relación al mismo o diferente formato de los archivos.

La compatibilidad existe siempre a distintos niveles en los procesos de edición, por ejemplo, para la reutilización de una programación CAM de una pieza con características similares, pero si la compatibilidad no es alta (algunas veces llamada nativa o completa) tarde o temprano tienden a surgir problemas de incompatibilidad, retrasando el diseño o rediseño CAD/CAM.

De la diversidad de programas CAM disponibles en el mercado, entre los más conocidos se tienen:

- Mastercam,
- Solidcam,
- PowerMill,
- CAMWorks,
- Featurecam,
- HSMXpress,
- HSMworks,
- BobCAM, y otros.

Mastercam, fabricado por CNC Software Inc, en Estados Unidos de América, es el programa CAM más extendido en todo el mundo. Desde su inicio en 1984, sobrepasa las 200,000 licencias instaladas. Permite mecanizar con fresadora, en torno o centro de torneado, con electroerosión de hilo y con router. Presenta compatibilidad con SolidWorks, reconoce cambios en el diseño y material restante. Se basa en funciones de programación 2D, permite mecanizado 3D completo con remoción automática de sobrantes, poderoso corte en múltiples ejes y verificación de corte de modelo sólido (CNC Software Inc., 2016).

Solidcam fue fundado en 1984 y desde entonces ha estado involucrado en el desarrollo y las aplicaciones CAM. Se ha integrado a dos grandes sistemas CAD: SolidWorks e Inventor. Presenta una asociación de una sola ventana dentro de los modelos de estos software CAD, con compatibilidad completa. Provee una poderosa solución CAD/CAM, fácil de usar, que brinda ayuda a la gran mayoría de aplicaciones de manufactura: iMachining 2D, iMachining 3D, fresado 2.5D, fresado de superficie de alta velocidad, fresado 3D de alta velocidad, fresado de varias caras indexadas en 4/5 ejes, fresado simultaneo en 5 ejes, torneado, fresado-torneado avanzado, corte por electroerosión de hilo y verificación de sólidos por medio de sonda. iMachining es una tecnología patentada que realiza los corte del mecanizado por medio de espirales, separando las islas (porciones del material que no van a ser

cortadas) inteligentemente y haciendo ranuras para lograr un corto ciclo de mecanizado (SolidCAM Ltd., 2016).

PowerMill es un software desarrollado por Delcam; está adaptado para el mecanizado de formas complejas. Cuenta con las operaciones tradicionales de mecanizado 2D como planeado, achaflanado o taladrado y proporciona una gran variedad de posibilidades de abordar este tipo de trabajos, incluye la tecnología del mecanizado de alta velocidad y mecanizado en 5 ejes, además de otras como la combinación del procesamiento en paralelo con el cálculo en segundo plano (Delcam Inc. España, 2017).

CAMWorks emplea la popular interfaz de SolidWorks, por lo que resulta muy fácil de aprender y utilizar. Cuenta con la certificación Gold Certified por SolidWorks, lo que asegura máxima compatibilidad. Es un sistema CAM basado en el reconocimiento automático de rasgos (AFR: automatic feature recognition, por sus siglas en inglés) que analiza la geometría del modelo sólido e identifica los rasgos que pueden mecanizarse (orificios, ranuras, cavidades y machos; rasgos de torneado, como diámetros exteriores, caras, ranuras y tronizados; y rasgos de mecanizado de electroerosión por hilo, como cavidades de matrices). CAMWorks proporciona una simulación realista de la máquina herramienta completa, que permite ejecutar la verificación de colisiones entre la herramienta y los componentes de la máquina. (Grupo Insoft -CAMWorks Mexico, 2017).

HSMXpress es un software CAM gratuito desarrollado por Autodesk que permite a todos los usuarios con licencia de SolidWorks 2012 o más reciente, crear trayectorias de alta calidad para el mecanizado. Es un verdadero sistema CAM integrado para programación CNC con estrategias de fresado 2D y 2.5D. Cuenta con la tecnología de HSMWorks (que es un software de pago de la misma empresa), básicamente cuenta con las mismas herramientas (desbaste 2D, vaciados, taladrados, etc.) y el mismo Kernel (núcleo informático). Incluye varios postprocesadores genéricos posibles de configurar mediante la programación en JavaScript. Se integra como una pestaña al property manager de SolidWorks y cuenta con herramientas de simulación y ayuda. Reconoce los cambios cuando se edita el modelo (Autodesk Inc., 2016).

## 1.4. PROCESOS DEL DISEÑO

El proceso de diseño son los pasos que se siguen desde la concepción de una idea, problema o la determinación de una necesidad, hasta lograr la solución o producto final. Para este camino los diseñadores industriales utilizan metodologías que son la guía paso a paso que los lleva a la solución. Por lo general se basan en el método científico y en resumen buscan el planteamiento del problema, el análisis, determinar los puntos de investigación, el desarrollo (guiar la creatividad) y la conclusión. Las metodologías varían y algunos diseñadores pueden incluso crear una propia que se adapte a sus necesidades, cualidades y defectos, la intención es llegar siempre a la solución más adecuada, independientemente de la estructura de la metodología.

La época actual se caracteriza por una gran evolución tecnológica, con una rápida obsolescencia de los productos industriales. Por ello, se precisa de unas oficinas de diseño ágiles, que proporcionen nuevos productos, con mejores prestaciones y con un tiempo de respuesta cada vez más corto. Antes las grandes empresas medían en años sus plazos de diseño, ahora se miden en semanas. Las industrias están en mercados fuertemente competitivos, con un exceso de oferta sobre la demanda. Se precisa por lo tanto, disponer de mejores productos, con mayores prestaciones y menor costo, por lo que ha sido necesaria una constante mejora de la productividad en donde la incorporación de nuevas tecnologías se demuestra como el medio más efectivo de conseguirlo. La demanda es cada vez más selectiva, al tiempo que los fabricantes amplían la gama de sus productos, y disminuye el tamaño de las series de fabricación. Todo ello hace necesario disponer de un diseño y una fabricación más flexible, más sencilla de cambiar y adaptar a otros modelos.

El proceso de diseño trata de buscar el equilibrio entre los aspectos funcionales, estéticos/formales, simbólicos y de visualización de la función del objeto, su fabricación, su aceptación en el mercado y posterior rediseño del mismo para planificar su ciclo de vida. Si un proceso de diseño contempla todos

los aspectos que interfieren en la creación de una nueva idea, tanto desde la vista del usuario como para el productor, éste obtendrá la respuesta más satisfactoria a la problemática, pues el análisis realizado en cada etapa del proceso fue correcto, de lo contrario la solución final tendrá fallas a corto o largo plazo (Luna, 2006).

En una forma más específica en el proceso de creación de nuevos productos, se pueden distinguir fácilmente cinco grandes etapas, estas se presentan en la Fig. 1.1.

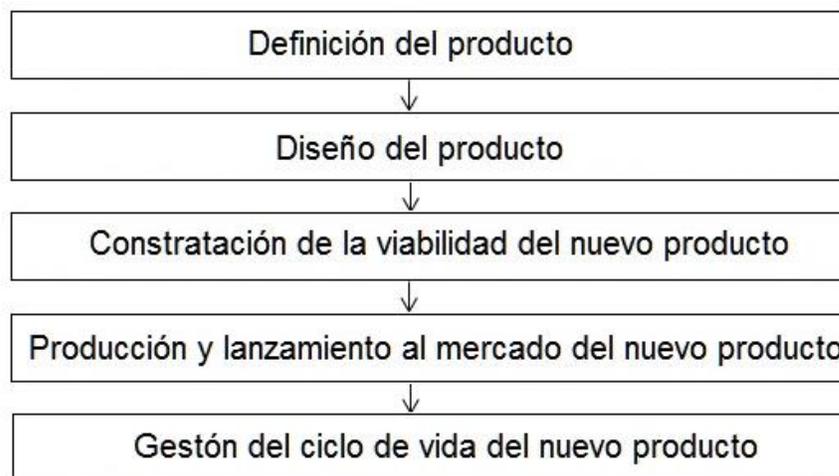


Fig. 1.1. Proceso de creación de nuevos productos (Luna, 2006).

Si interfiere el computador, se consideran cuatro etapas en el desarrollo del producto. Es así como en la primera etapa del ciclo, la del diseño del producto, el ordenador se incorpora a través de la tecnología CAD. También se habla del CADD (Computer Aided Drafting and Document, por sus siglas en inglés, o Dibujo y Documentación Asistida por computador), así como del CAE (Computer Aided Engineering, por sus siglas en inglés o Ingeniería Asistida por computador), el cual incluye otros aspectos del diseño, como cálculos, especialmente el estructural por elementos finitos FE (Finit Elements, por sus siglas en inglés o elementos finitos); la planificación y control de proyectos; la codificación y estandarización, entre otros (Luna, 2006).

La segunda etapa del ciclo es la Ingeniería de proceso que estudia y establece los medios, máquinas, herramientas, utillajes, métodos y tiempos de fabricación. El ordenador, apoyado en el software de simulación de mecanizado, es una herramienta potente en manos del técnico, creándose el llamado CAM, tecnología que influye también la aplicación del ordenador al taller.

En la tercera etapa del ciclo, "Fabricación y Montaje", el computador se incorpora directamente en las máquinas, como elemento de monitorización y control. Con ello, se crea el CNC (Computer Numerical Control, por sus siglas en inglés) apoyado en máquinas NC (numerical Control, por sus siglas en inglés o Control numérico).

En la cuarta etapa del ciclo, la de verificación y Control de Calidad, el computador se acopla a máquinas de medición y prueba, de forma que automatiza los controles y asegura una gran uniformidad en la producción. Esta técnica recibe el nombre de CAI (Computer Aided Inspection, por sus siglas en inglés o Verificación asistida por computador).

La conjunción de todas estas técnicas en una sola tecnología, conlleva al CIM (Computer Integrated Manufacturing, por sus siglas en inglés o Fabricación Integrada por Computador). Según ésta, el ordenador, o una red de ordenadores comunicados entre sí, apoyados en una base de datos única para todas las áreas, asiste y controla toda la producción en todos los aspectos (materiales, máquinas y hombres) (Luna, 2006).

En el proceso de diseño asistido por computadora, existen ciertas características que lo hacen único. Una de ellas es el hecho de que se puede visualizar constantemente el trabajo, para tener una evaluación continua y hacer los cambios en una forma rápida y sin grandes complicaciones.

En la Fig. 1.2 se presenta una comparación entre un sistema de diseño tradicional y uno CAD, con base en las funciones a desempeñar, se ve que en el sistema CAD la optimización del modelo en la fase de análisis y cálculo, simplifica y acorta la fase de experimentación.

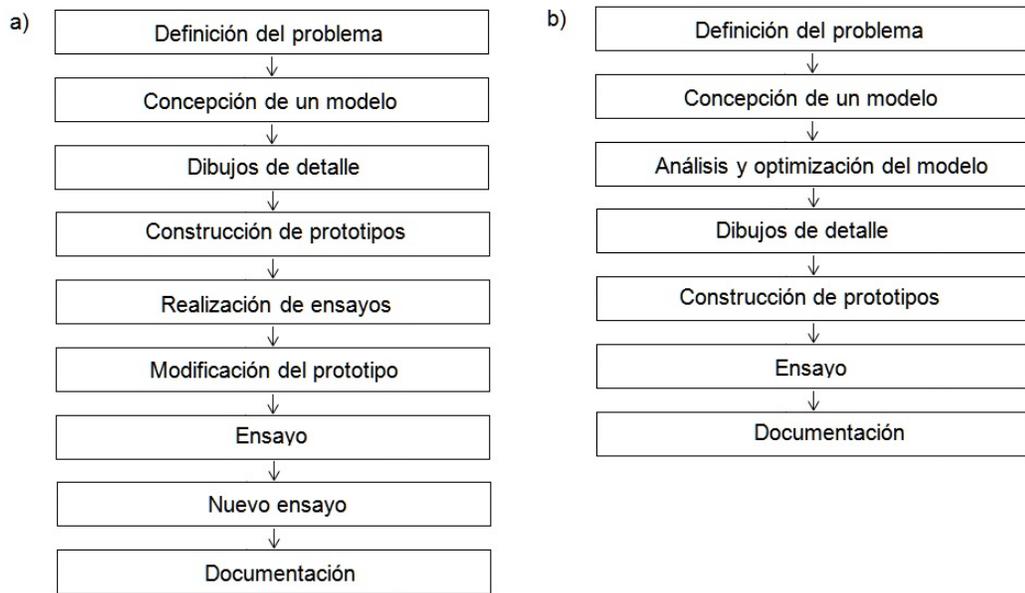


Fig. 1.2. Sistemas de diseño: a) tradicional y b) por computadora (Luna, 2006).

A un nivel más concreto, un sistema CAD debe realizar las siguientes funciones:

- Definición interactiva del objeto;
- Visualización múltiple;
- Cálculo de propiedades (simulación);
- Modificación del modelo;
- Generación de planos y documentación; y
- Conexión con CAM.

También para realizar estas funciones, el sistema utiliza los siguientes componentes:

- Modelo: es la representación computacional del producto que se está diseñando. Contiene toda la información que describe el producto, tanto a nivel geométrico como de características. Es el elemento central del sistema, el resto de los componentes trabajan sobre éste. Por lo tanto, determina las propiedades y limitaciones del sistema CAD.
- Subsistema de edición: permite la creación y edición del modelo a nivel geométrico o especificando propiedades abstractas del sistema.

La edición debe ser interactiva, para facilitar la exploración de posibilidades.

- Subsistema de visualización: se encarga de generar imágenes del modelo. En general, interesa poder realizar distintas representaciones del modelo durante la edición, para evaluar el diseño.
- Subsistema de cálculo: permite el cálculo de propiedades del modelo y la realización de simulaciones.
- Subsistema de documentación: se encarga de la generación de la documentación del modelo (Luna, 2006).

En el diseño, continúa siendo el hombre el elemento fundamental; el ordenador es una herramienta muy potente, y como tal, supeditada al hombre. En el estado actual de tecnología, no existe el diseño por ordenador, sólo el diseño asistido de un ordenador, que simplifica las tareas y permite analizar y estudiar más soluciones, permitiendo obtener un diseño mejor, más económico y en menos tiempo (Luna, 2006).

## **1.5. PROCESOS Y CONSIDERACIONES PARA LA PRODUCCIÓN**

La planificación de la producción debe seguir criterios relacionados con la calidad, tanto en el cumplimiento de las especificaciones de la pieza como en la calidad del servicio al realizarla en el plazo estimado, y el costo final. Para satisfacer los objetivos de calidad, precio y plazo, se han de optimizar y ordenar las múltiples acciones que se deben llevar a cabo (Amestoy, 2004).

Esta ordenación se establece en cinco niveles distintos:

- Planificación de la producción: en esta etapa se realiza un listado de productos a fabricar, el plazo en el que hay que suministrarlos, y en qué cantidades.

- Planificación de pedidos: aquí se realiza la hoja de balance en el que se planifican las actividades para cumplir con el plan de producción. En concreto, se planifican los componentes cuya fabricación se subcontrata, los suministros necesarios, los accesorios y la mano de obra.
- Planificación de capacidad: se establecen los horarios y secuencias de tareas, para cumplir con las fechas de entrega, se establece el capital necesario para mantener la producción, la reducción de tiempos muertos y perezosos de las máquinas, así como tener previsto las soluciones a problemas que pudieran aparecer.
- Planificación de procesos: para cada componente en particular se seleccionan y se definen al detalle las preformas y los procesos a realizar para su transformación en productos finales. En esta parte se definen procesos factibles y se determinan los tiempos y plazos de fabricación.
- Planificación de operaciones: en esta parte se define la documentación a partir de los datos dados en la planificación de procesos. Se suelen usar la hoja de ruta (el documento que acompaña al lote de fabricación y donde se señalan los tiempos, los controles de calidad y todas las incidencias que hayan podido ocurrir) y la ficha de operación (por cada operación se realiza una ficha con todos los detalles de ésta. Suele recibir otros nombres en las fábricas como gamas, o instrucción de control de calidad de procedimientos o ICCP).

La planificación de los procesos puede dividirse en lo siguiente:

- Estudio de la información geométrica del plano,
- Determinación de los volúmenes de mecanizado y asociación de superficies,
- Determinación de procesos y secuencia de mecanizado,
- Selección de superficies de referencia y sujeción,
- Selección de máquinas herramientas,

- Selección de herramientas,
- Establecimiento de los datos de corte,
- Elección o diseño de utillaje,
- Otras operaciones,
- Cálculo de tiempos y costos de fabricación, y
- Economía de mecanizado.

El estudio de la información geométrica del plano evalúa si se pueden lograr las especificaciones del mismo, considerando las herramientas para el control de la calidad, la preforma (llamado stock en el ámbito de programación CAM), cotas o puntos críticos, los puntos de sujeción, operaciones intermedias, el diseño de montajes especiales, etc.

La determinación de los volúmenes de mecanizado y asociación de superficies se hace a partir de la geometría de la preforma, señalando los volúmenes que sobran para conseguir la pieza final. Estos volúmenes se relacionan con las posibles operaciones de mecanizado capaces de arrancarlo, asociando las superficies a dichos volúmenes que muchas veces tendrán varias, por lo que se puede estudiar si se puede realizar el mecanizado simultáneo de dichas superficies, ahorrando operaciones. En esto no se tienen en cuenta tolerancias y se trata simplemente de ver posibilidades y planes alternativos (se piensa en función de procesos de desbaste y no de acabados finales).

En los procesos y secuencia de mecanizado se intenta determinar todas las operaciones necesarias y ordenarlas, considerando los factores tecnológicos de las máquinas, de las herramientas, de los utillajes. Después de determinar todas las operaciones necesarias para realizar la pieza, se ordenan de forma que haya el menor número de fases posibles y el menor número de subfases posibles. Siendo una fase el trabajo realizado en una máquina, y la subfase el trabajo realizado en una máquina y en un amarre. Las operaciones son las partes elementales y se han de cumplir las relaciones de precedencia, para que la pieza sea posible de fabricar. En el argot popular, se le suele llamar "montaje" a la subfase.

En la selección de superficies de referencia y sujeción, se toma en cuenta que el montaje de la pieza en la máquina debe ser preciso, estable, reduciendo al máximo la incertidumbre en su posicionamiento. Para la sujeción de la pieza y de la herramienta se sigue el principio de isostaticidad, esto significa que a la pieza se le restringen los seis grados de libertad: 3 traslaciones y 3 rotaciones (Amestoy, 2004).

## **1.6. MECANIZADO CONVENCIONAL**

Se puede definir como mecanizado, al proceso de transformación que se produce en una pieza, al llevarla de una forma o material en bruto, a su dimensión ideal o próxima, por medio del trabajo de una herramienta o molde. Este proceso cuenta con dos variantes bien definidas: mecanizado sin arranque de viruta y mecanizado con arranque de viruta, ambos procesos son realizados por máquinas herramientas desarrolladas para tal fin (Schvab, 2011).

El mecanizado sin arranque de viruta, es un proceso de mecanizado que se realiza con máquinas herramientas consideradas de un segundo nivel, ya que la mayoría de esas máquinas establecen un tipo de mecanizado primario simple, son pocas las máquinas que efectúan operaciones de pieza terminada. Generalmente, es un proceso que produce materiales o piezas que luego cuentan con una segunda etapa de mecanizado posterior o de terminación. Se los denomina sin arranque de viruta porque los procesos como: laminado, forja, estampado, prensado, trefilado, extrusión, doblado, embutido, etc. son procesos que buscan obtener la deformación de la pieza original, llevándola a un determinado formato o tamaño, mediante distintos procesos físicos, que pueden ser realizados en caliente o en frío, según el diseño y el material.

En general, el proceso con arranque de viruta es el más utilizado, también es el que más desarrollo tuvo a lo largo de los años. Se realiza en máquinas cuyo trabajo consiste en llevar una pieza o materia prima al formato o

diseño definido previamente, mediante el trabajo de una o varias herramientas de corte, mediante las operaciones que permita la máquina (rotación, translación, entre otras) (Schvab, 2011).

Los procesos más utilizados son: torneado, fresado, perforado, taladrado, mandrinado, cepillado, escariado, aserrado, rectificado, bruñido, tronzado, alesado, electroerosionado. Para cada caso, existe una máquina herramienta diseñada para llevar adelante el proceso o modalidad de arranque de viruta correspondiente. Todas estas máquinas tienen como característica principal el sacar viruta de la pieza que se está mecanizando. Para ello existen varias tareas alternativas, que son posibles de realizar de acuerdo a las características y dispositivos de la máquina herramienta.

Las máquinas herramientas cuentan con dos tipos de movimientos importantes, con los que se puede determinar cómo y quién efectúa los movimientos. Para determinar cómo, se usan movimientos de translación o rotación; para determinar quién, se observa si se mueve la pieza o la herramienta.

Un ejemplo de máquina con rotación de la pieza es un torno, donde la pieza está sujeta a un plato que gira a distintas velocidades, mientras la herramienta se encuentra en una torreta fija y solo se mueve en forma transversal o paralela al eje de la pieza. Los casos más comunes de rotación de la herramienta son la fresadora, taladradora o alisadora. Tienen la pieza sujeta a una mesa que se mueve, mientras la herramienta está sujeta a un husillo que gira, efectuando su trabajo respondiendo a los movimientos de la mesa.

Las máquinas herramientas más conocidas son las que se podrían llamar convencionales. Generalmente, están compuestas por una estructura básica y un proceso de funcionamiento simple. Las más conocidas son: tornos, fresadoras, taladros, sierras y rectificadoras (Schvab, 2011).

### 1.6.1. MATERIALES DE LAS HERRAMIENTAS DE CORTE

Es requisito indispensable que una herramienta de corte presente alta dureza, incluso a temperaturas elevadas, alta resistencia al desgaste y gran ductilidad. Estas características dependen de los materiales con los que se fabrican las herramientas de corte. Los materiales más utilizados para la fabricación de herramientas de corte se presentan a continuación:

**Aceros al carbono:** De escasa aplicación en la actualidad, tienen una resistencia térmica de 250-300 °C y, por lo tanto, se emplean solamente para bajas velocidades de corte o en el torneado de madera y plásticos. Su costo es bajo y de fácil tratamiento térmico, pero por encima de 300 °C pierden el filo y la dureza. Con acero al carbono se fabrican machuelos, terrajas, limas de mano y otras herramientas similares.

**Acero rápido (HSS):** Es un acero aleado con elementos tales como tungsteno, cromo, vanadio, molibdeno, entre otros. Tiene alta dureza, alta resistencia al desgaste y una resistencia térmica de hasta 650 °C. Aunque a escala industrial y en el mecanizado de alta velocidad su aplicación ha disminuido notablemente en los últimos años, las herramientas de acero rápido aún se prefieren para trabajos en metales blandos o de baja producción, porque son relativamente económicas y son las únicas que se pueden volver a afilar en amoladoras o esmeriladoras provistas de una muela abrasiva de óxido de aluminio, de uso común en la mayoría de los talleres.

**Carburo cementado o metal duro:** Este material es polvo de carburo, que junto a una porción de cobalto, usado como aglomerante, le otorgan una resistencia de hasta 815 °C. Los carburos más comunes son: carburo de tungsteno (WC o WIDIA), carburo de titanio (TiC), carburo de tantalio (TaC) y carburo de niobio (NbC). Por su dureza y buena resistencia al desgaste son las herramientas más adecuadas para maquinar hierro colado, metales no ferrosos y algunos materiales abrasivos no metálicos. Otra categoría de metales duros aleados comprende carburo cementado recubierto, donde la base de carburo

cementado se recubre con carburo de titanio, nitruro de titanio (TiN), óxido de aluminio, carbonitruro (TiCN) y nitruro de titanio y aluminio (TiAlN).

**Cermet (combinación de material cerámico y metal):** Parecido al carburo cementado, en este caso las partículas base son de TiC, TiCN y TiN en vez de carburo de tungsteno. El aglomerante es níquel-cobalto. Éstos materiales presentan buena resistencia al desgaste, alta estabilidad química y dureza en caliente. Su aplicación más adecuada es en los materiales que producen una viruta dúctil, aceros y las fundiciones dúctiles.

**Cerámica:** Existen dos tipos básicos de cerámica, las basadas en óxido de aluminio y las de nitruro de silicio. Son duras, con alta dureza en caliente y no reaccionan químicamente con los materiales de la pieza, pero son muy frágiles. Se emplean en producciones en serie, como el sector automotriz y las autopartes, donde dado a su buen desempeño, han logrado aumentar notablemente la cantidad de piezas fabricadas.

**Nitruro de boro cúbico (CBN):** Es el material más duro después del diamante. Presenta extrema dureza en caliente, excelente resistencia al desgaste y en general buena estabilidad química durante el mecanizado. Es frágil, pero más tenaz que la cerámica.

**Diamante policristalino (PCD):** Es sintético y casi tan duro como el diamante natural. Presenta una increíble resistencia al desgaste y una baja conductividad térmica, por lo que la vida útil de la herramienta es hasta cien veces mayor que la del carburo cementado. Sin embargo, también es muy frágil, las temperaturas de corte no deben exceder de 600 °C, no puede usarse para cortar materiales ferrosos porque existe afinidad y no sirve para cortar materiales tenaces.

En este sentido el carburo cementado, cermet, cerámica, nitruro de boro cúbico (CBN) y diamante policristalino (PCD) son aquellos materiales con los que se construyen los hoy tan difundidos insertos o plaquitas, usados especialmente en el mecanizado CNC, aunque también se usa en el convencional (Demaquinasyherramientas.com, 2014).

## 1.6.2. MECANIZADO EN TORNO

El torno, es la máquina más antigua, versátil y de mayor uso a nivel mundial, es una máquina herramienta que hace girar la pieza y, por medio de una herramienta, se confiere un perfil de revolución. Los tornos modernos operan a partir del mismo principio básico. La pieza a trabajar se sostiene en un plato y gira sobre su eje, mientras una herramienta avanza sobre las líneas del corte deseado. Con los aditamentos y herramientas de corte adecuadas, en un torno se pueden realizar muchas operaciones y perfiles: conos, formados varios, cortar, tronzar, refrentar, taladrar, mandrinar, esmerilar, pulir, roscar y otras más (Schvab, 2011).

En el torneado, el principio de generación de superficies (mediante el arranque de viruta) es el bidimensional, ya que la geometría de la herramienta sólo posee información de un punto o elemento de superficie de la geometría final. Esto tiene como ventaja la flexibilidad para generar mucha variedad de superficies con la misma herramienta. Para generar la superficie se requieren al menos dos movimientos relativos entre la pieza y la herramienta. La geometría de la pieza final se origina mediante la combinación de dos elementos: la geometría de la herramienta, y el patrón de movimientos relativos entre la pieza y la herramienta.

De los dos movimientos relativos mínimos para generar la superficie, al que consume la mayor parte de la potencia de la máquina se le suele denominar movimiento primario o de corte. El otro movimiento se usa combinado con el movimiento de corte para ayudarlo a eliminar el material sobrante, y es llamado movimiento de avance. En el torno el movimiento principal es circular y lo realiza la pieza, el movimiento de avance lo realiza la herramienta.

### 1.6.3. HERRAMIENTAS DE CORTE PARA TORNO

Para estudiar la geometría de la herramienta de corte en el torneado se usa la norma ISO/DIS 3002, que establece un sistema de planos a partir de los cuales se definen los ángulos de corte. La norma distingue entre geometría herramienta en mano y geometría herramienta en uso. Lo primero se usa con fines de fabricación y afilado de herramientas, mientras que el segundo cuando la herramienta está realmente cortando. Esta es una forma de tener en cuenta los efectos de los grandes avances y los posicionamientos de las herramientas en las máquinas, distintos de los normalizados. Lo único que puede distinguir un sistema de otro es la dirección de la velocidad resultante y la dirección de la sujeción en el montaje (Amestoy, 2004).

Una herramienta de corte típica para usar en un torno (también conocida como buril) consta principalmente de un cuerpo, mango o vástago, y de un cabezal donde se encuentra la parte cortante. A su vez, el cabezal se compone de diversas partes, ver Fig. 1.3.

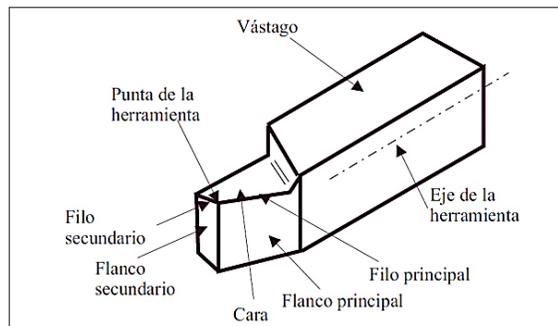


Fig. 1.3. Nomenclatura de una herramienta de torneado (Amestoy, 2004).

La clasificación de las herramientas responde a las normas internacionales ISO y/o DIN. Las herramientas para torno pueden clasificarse:

- **Según la dirección de avance de la herramienta:** Corte derecho (R, abreviación de right del inglés) son las que avanzan de derecha a

izquierda y corte izquierdo (L, abreviación de left del inglés) que avanzan de izquierda a derecha.

- **Según la forma del vástago de la herramienta:** Vástago recto y vástago acodado (su eje se dobla hacia la derecha o la izquierda, cerca de la parte cortante).
- **Según el propósito o aplicación de la herramienta:** Cilindrado, refrentado, torneado cónico, roscado, mandrinado, torneado de forma (el corte hasta cierta profundidad deja la forma de ranurado o acanalado, mientras que un corte total hace el tronzado a la pieza), taladrado y escariado.
- **Según el método de fabricación de la herramienta:** Herramientas integrales o enteras y herramientas compuestas (herramientas fabricadas con distintos materiales, herramientas con placa soldada y portaherramienta con placa intercambiable o inserto). Las herramientas con placa soldada, dependiendo de la aplicación, de la forma del vástago y de la dirección de avance, se clasifican según normas ISO y DIN. Los insertos se clasifican bajo estrictas normas ISO.

En la Fig. 1.4 se presenta la clasificación ISO y DIN de las herramientas con placa soldada de metal duro para las diferentes operaciones de torneado, detallando las principales aplicaciones en la Tabla 1.1.

Debe observarse que algunas operaciones pueden realizarse con más de un tipo de herramienta y que ello depende de la habilidad del operario.

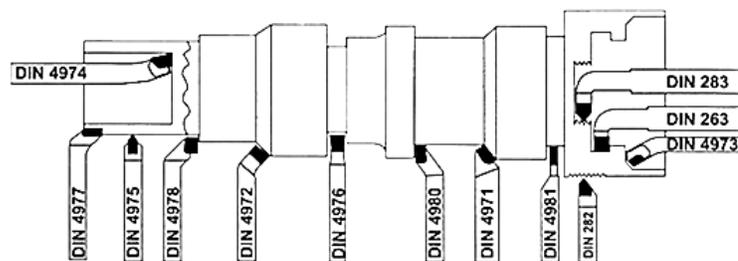
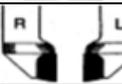
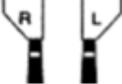


Fig. 1.4. Herramientas ISO/DIN con placa soldada (Demaquinasyherramientas.com, 2014).

Tabla 1.1. Principales aplicaciones según la clasificación ISO/DIN de las herramientas con placa soldada de metal duro (Demaquinasyherramientas.com, 2014).

Clasificación ISO	Clasificación DIN	Aplicación	Forma del cabezal (R = derecha; L = izquierda)
1	4971	Herramienta de desbaste recta	
2	4972	Herramienta de desbaste acodada	
3	4978	Herramienta de cilindrar y refrentar	
4	4976	Herramienta de pala para acanalar	
5	4977	Herramienta de refrentar acodada	
6	4980	Herramienta de cilindrar acodada	
7	4981	Herramienta de tronzar	
8	4973	Herramienta para agujeros pasantes	
9	4974	Herramienta para agujeros ciegos	
351	4975	Herramienta de punta para cilindrar y afinar	
282	-	Herramienta de roscado exterior	
283	-	Herramienta de roscado interior	
263	-	Herramienta de ranurado interior	

#### 1.6.4. MECANIZADO EN FRESADORA

Las máquinas fresadoras son máquinas herramientas que se utilizan para producir con precisión una o más superficies mecanizadas sobre una

pieza. Su versatilidad convierte a las fresadoras en la segunda máquina herramienta de mayor consumo y utilización en el mundo entero. A diferencia de los tornos convencionales que permiten trabajar sobre dos ejes, las fresadoras permiten trabajar sobre tres ejes (Schwab, 2011).

Las fresadoras se pueden clasificar en tres tipos básicos:

- Las máquinas fresadoras horizontales simples,
- Las máquinas fresadoras horizontales universales, y
- Las máquinas fresadoras verticales.

En las fresadoras universales, utilizando los accesorios adecuados, entre otras, se puede realizar las siguientes operaciones:

- **Aplanamiento, planeado o careado:** la aplicación más frecuente de fresado es el aplanamiento que tiene por objetivo conseguir superficies planas.
- **Fresado en escuadra:** el fresado en escuadra es una variante del planeado que consiste en dejar escalones perpendiculares en la pieza que se mecaniza.
- **Corte:** una de las operaciones iniciales de mecanizado que hay que realizar consiste muchas veces en cortar las piezas a la longitud determinada partiendo de barras y perfiles comerciales. Para el corte industrial de piezas se utilizan indistintamente fresadoras equipadas con fresas cilíndricas de corte.
- **Ranurado recto:** para el fresado de ranuras rectas se utilizan generalmente fresas cilíndricas con el ancho de la ranura y a menudo, para aumentar la producción, se montan varias fresas en el eje árbol portafresas, permitiendo aumentar la productividad de mecanizado.
- **Ranurado de forma:** se utilizan fresas de la forma adecuada a la ranura, que puede ser en forma de T, de cola de milano, etc.
- **Ranurado de chaveteros:** se utilizan fresas cilíndricas con mango, que pueden cortar tanto en dirección perpendicular a su eje como paralela a este.

- **Fresado de cavidades:** se aconseja realizar un taladrado previo y a partir del mismo y con fresas adecuadas abordar el mecanizado de la cavidad teniendo en cuenta que los radios de la cavidad deben ser al menos un 15% superior al radio de la fresa.
- **Fresado de engranajes:** el fresado de engranajes se realiza en fresadoras universales mediante el cabezal divisor, también se hacen en máquinas especiales llamadas talladoras de engranajes y con el uso de fresas especiales del módulo de diente adecuado.

### 1.6.5. HERRAMIENTAS PARA LAS FRESADORAS

Las fresas son piezas giratorias para el mecanizado de materiales y constituyen las herramientas principales de las fresadoras. Los filos están normalmente dispuestos de manera simétrica alrededor de un eje y su función es eliminar progresivamente el material de la pieza de trabajo transformándola en una pieza acabada, con la forma y las dimensiones deseadas (Demaquinasyherramientas.com, 2012).

Existe una gran cantidad de fresas, cada una de ellas para una operación específica de fresado y para un trabajo determinado. Cubren una diversa gama de materiales, desde metales hasta madera y plásticos, y la mayoría se encuentra disponible para aceros, fundiciones grises y blancas y metales no ferrosos (tipo N), materiales duros y tenaces (tipo H) y materiales blandos (tipo W).

En general, se pueden agrupar en las siguientes categorías:

- **Por método de fresado:** fresas para fresado frontal, periférico (concordante o discordante);
- **Por tipo de construcción:** fresas enterizas, calzadas y con dientes reemplazables;

- **Por tipo de superficie o perfil de incidencia de la fresa:** superficie fresada y superficie escalonada;
- **Por la forma de los canales entre los dientes:** fresas de canales rectos, helicoidales y bi-helicoidales;
- **Por la dirección de corte de las fresas:** fresas para corte a la derecha y corte a la izquierda;
- **Por el montaje o la fijación de las fresas en la fresadora:** fresas frontales, de mandril y de vástago; y
- **Por la geometría:** es la más extensa y además es común a todas las categorías anteriores.

En las Tablas 1.2 - 1.5 se presenta la clasificación de las herramientas para la fresadora, en función de su geometría.

Tabla 1.2. Fresas cilíndricas periféricas y angulares sin vástago (Demaquinasyherramientas.com, 2012).

Tipos de fresas	Características	Aplicaciones	Figura	Ejemplos
Cilíndricas periféricas (dientes solo en periferia)	Con dentado recto	Usadas en fresadora horizontal: planeado, desbaste y afinado		Fresado en superficies planas: superficies de deslizamiento para rieles, superficies de guías, correderas, etc.
	Con dentado helicoidal			
	Acopladas	Desbaste, rebajado de superficies, ranurado profundo		
Cilíndricas frontales sin vástago (dientes en periferia y cara lateral)		Usadas en fresadora vertical y horizontal: fresado en escuadra, rebajado en ángulo recto		

Tabla 1.3. Fresas de disco y cilíndricas frontales sin vástago (Demaquinasyherramientas.com, 2012).

Tipos de fresas	Características	Aplicaciones	Figura	Ejemplos
De disco (poca longitud de corte respecto a su diámetro)	Con dentado recto	Ranurado plano		Fresado de entalladuras estrechas, fresado de chaveteros planos y profundos, curvas, arcos circulares, perfiles de todo tipo
	Con dentado cruzado o alterno	Ranurado profundo		
	Sierras circulares	Corte de piezas, ranurado estrecho		
Angulares sin vástago (dos filos principales que forman un ángulo entre si)	Frontales	Mecanizado de guías en ángulo a 45, 50, 55 y 60 grados		Obtención de guías prismáticas, guías en ángulo, cuñas.
	Prismáticas	Mecanizado de guías prismáticas en ángulo de 45, 60 y 90 grados		

Tabla 1.4. Fresas que cuenta con vástago cilíndrico o cónico (Demaquinasyherramientas.com, 2012).

Tipos de fresas	Características	Aplicaciones	Figura	Ejemplos
Fresas con vástago (cilíndrico o cónico)	De bola o punta esférica	Copiado, matrices, ranurado, fresado de contornos, acabados y desbastes		Fresado de piezas hexagonales, chaveteros y orificios rasgados, ejes de chavetas, ruedas dentadas
	De punta plana			
	Para ranuras en T	Ranurado		
	Para ranuras Woodruff			
	Cónicas	Avellanado preciso de orificios		
	Cola de milano (formas trapezoidales)	Ranurado y ensambles a cola de milano		

Tabla 1.5. Fresas de perfil constante (con o sin vástago) y fresas madre (Demaquinasyherramientas.com, 2012).

Tipos de fresas	Características	Aplicaciones	Figura	Ejemplos
De perfil constante (con o sin vástago) dejan la geometría del diente en la pieza a mecanizar	Convexas	Ranurado semicircular con radios de 1-20 mm		Fresado en superficies sinuosas, curvas, arcos, ranuras y perfiles de todo tipo
	Cóncavas	Obtención de superficies semicirculares con radios de 0.5-20 mm		
	De módulo (fresas de disco)	Tallado de: engranajes, ruedas dentadas, piñones de cadena, poleas sincrónicas, cremalleras, ejes dentados y de transmisión, tornillos sinfín		
Fresas madre (con o sin vástago)	Mecanizan al mismo tiempo todos los dientes de un engranaje, con una gran ventaja sobre las fresas de módulo que lo hace diente por diente	Ídem fresas de módulo		Fresado por generación: obtención de engranajes en serie con el número deseado de dientes, perfiles y ángulos de hélices.

### 1.6.6. PROCESOS DE TORNEADO

A continuación se describen las operaciones y como se llevan a cabo en el torno.

**Refrentado:** se lleva a cabo moviendo la herramienta a lo largo del eje X, desde afuera hacia el centro de la pieza o viceversa, en el extremo de esta. Se usa para aplanar la cara. Generalmente es el primer proceso que se realiza en el torneado, ver Fig. 1.5.

**Cilindrado externo:** se mueve la herramienta a lo largo del eje Z (a lo largo del eje de la pieza), manteniendo un valor constante en X. En la Fig. 1.6 se observa la representación del proceso.

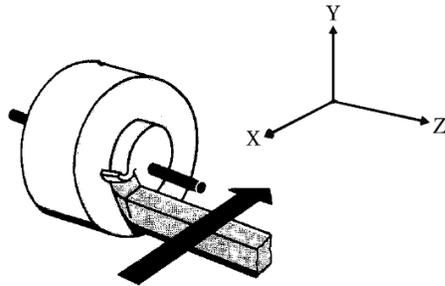


Fig. 1.5. Refrentado (Gerling, 2006).

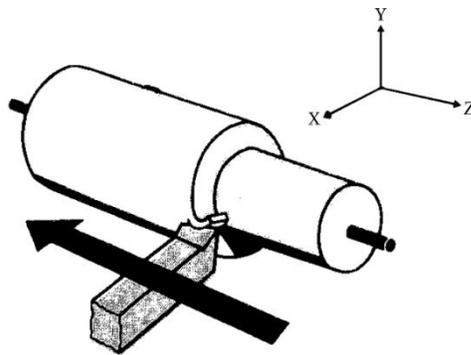


Fig. 1.6. Cilindrado externo (Gerling, 2006).

**Cilindrado cónico externo:** ver Fig. 1.7. Se forma por el movimiento simultáneo de la herramienta a lo largo del eje X, y del eje Z. La torreta del torno se gira el valor del ángulo del cono.

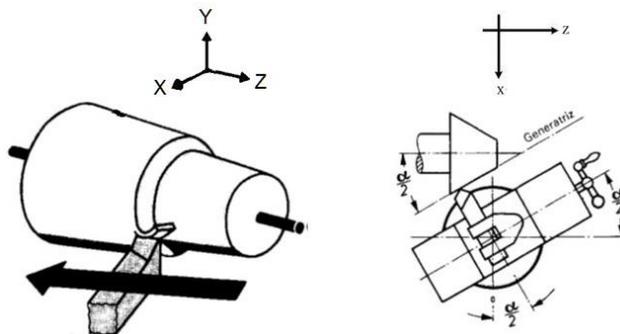


Fig. 1.7. Cilindrado cónico externo (Gerling, 2006).

**Tronzado:** el tronzado se lleva a cabo moviendo la herramienta a lo largo del eje X, desde afuera hacia el centro de la pieza, manteniendo constante el valor de Z. Si la pieza no alcanza el centro de la herramienta, queda una ranura recta, de lo contrario la pieza es cortada (Fig. 1.8).

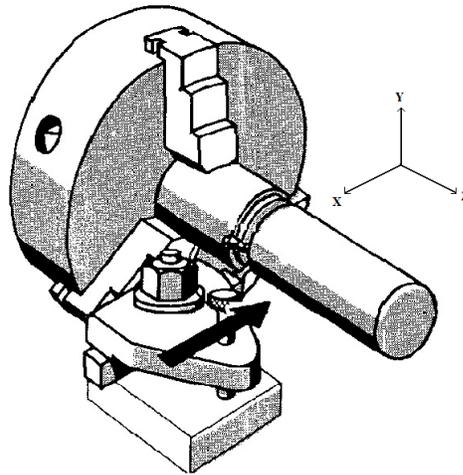


Fig. 1.8 Tronzado o corte en el torno (Gerling, 2006).

**Perfilado de forma:** se realiza de la misma manera que el tronzado, con una herramienta con filo igual al del perfil que se desea formar, ver Fig. 1.9.

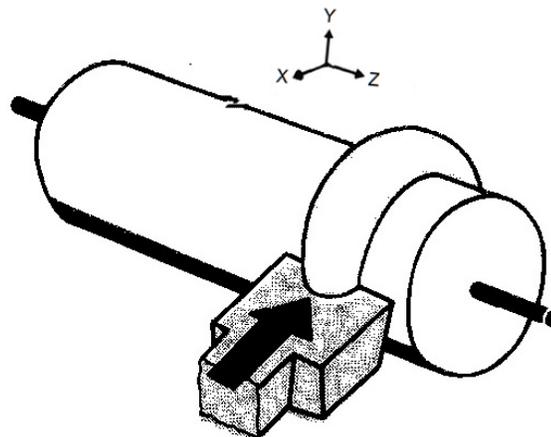


Fig. 1.9. Perfilado de forma (Gerling, 2006).

**Taladrado:** se coloca la broca (de centrar o broca normal), de modo que el eje de la broca y de la pieza coincidan (eje Z). Se hace avanzar la broca

hacia la cara de la pieza y se lleva hasta la profundidad deseada, a lo largo de Z (Fig. 1.10).

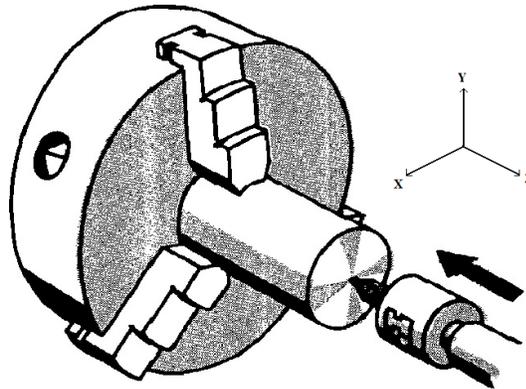


Fig. 1.10. Taladrado en torno (Gerling, 2006).

**Mandrinado:** es un proceso que sirve para lograr mayor precisión dimensional de un agujero. Primero se realiza una perforación con broca y luego se amplía hasta la medida deseada. La herramienta se introduce a lo largo del eje Z, en el centro de la pieza, luego se lleva hasta la posición en X de la pared del agujero y después se mueve a lo largo del eje Z, similar al cilindrado externo. Este proceso también suele llamarse cilindrado interno, ver Fig. 1.11.

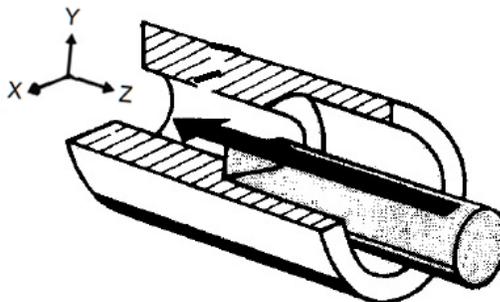


Fig. 1.11. Mandrinado (Gerling, 2006).

**Roscado:** es un proceso para la generación de una rosca. De las Tablas para los pasos y avances que tiene el torno, se elige la combinación requerida

de modo que el avance a lo largo del eje Z y el giro de la pieza se sincronizan para que la herramienta realice una trayectoria helicoidal (Fig. 1.12).

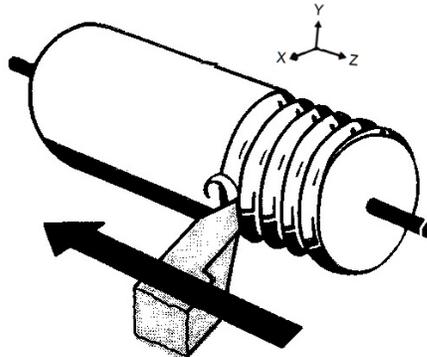


Fig. 1.12. Roscado (Gerling, 2006).

**Torneado excéntrico:** se usa un plato de cuatro garras u otro accesorio, para poder mover la pieza en la dirección del eje X, de modo que el eje de ésta no coincida con la del husillo (Fig. 1.13), luego se lleva a cabo la operación que se requiera: tronzado, cilindrado, taladrado, entre otros.

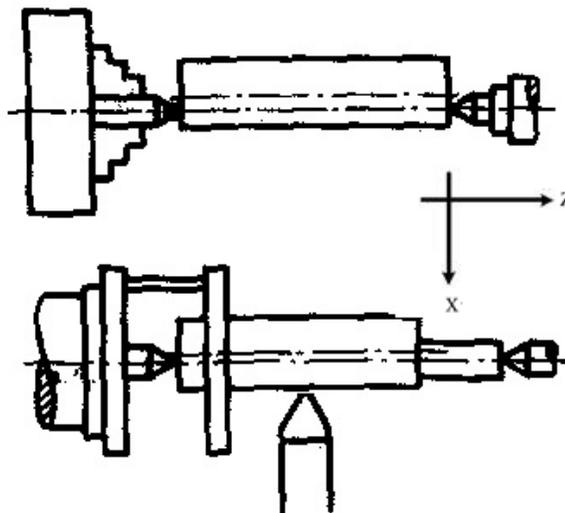


Fig. 1.13. Torneado excéntrico (Gerling, 2006).

Además de estos procesos están: ranurado interno, roscado interno, entre otros que se llevan a cabo bajo la misma lógica. En todos los casos, la

pieza es la que gira y la herramienta se mantiene fija, moviéndose a lo largo del eje X o de Z, ver Fig. 1.14.

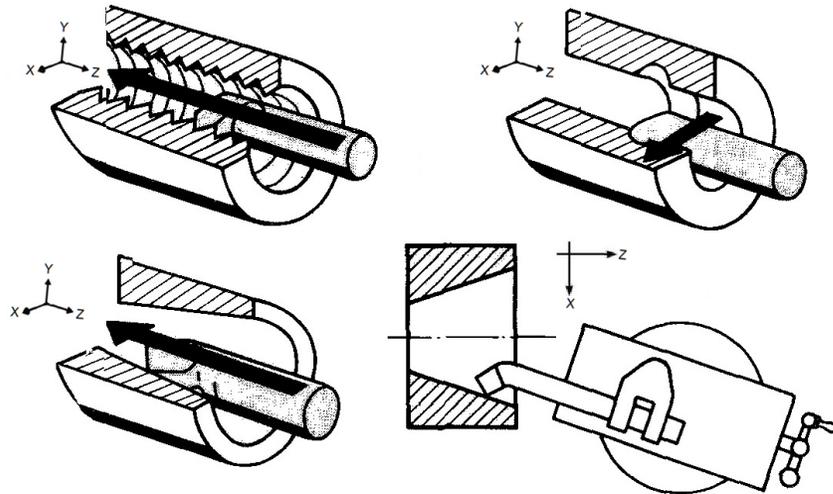


Fig. 1.14. Diversos procesos de torneado interno (Gerling, 2006).

### 1.6.7. PROCESOS DE FRESADO

En las Figs. 1.15 – 1.22 se muestran cada una de las operaciones más comunes del fresado. A continuación, se describe como se llevan a cabo:

**Aplanamiento, planeado o careado:** si se realiza en una fresadora vertical, se realiza con una fresa de vástago llamada planeadora (aunque se puede realizar con cualquiera que tenga el mismo perfil, la diferencia en los diámetros de la herramienta, implica mayor o menor número de pasadas para realizar el proceso) sobre una superficie, de manera que ésta quede plana. En general la superficie es grande y el diámetro de la planeadora también, pudiendo ser mayor, o si es menor se realizan varias pasadas. El eje de la herramienta, en general es perpendicular a la superficie. La herramienta corta con todo o casi todo su diámetro. Para el caso de la fresadora horizontal, se puede llevar a cabo con las herramientas de la Tabla 1.2, siguiendo la misma lógica, ver Fig. 1.15.

**Fresado en escuadra:** es parecido al planeado, la diferencia es que la herramienta no corta con todo su diámetro, si no del ancho del escalón que se forma, ver Fig. 1.16.

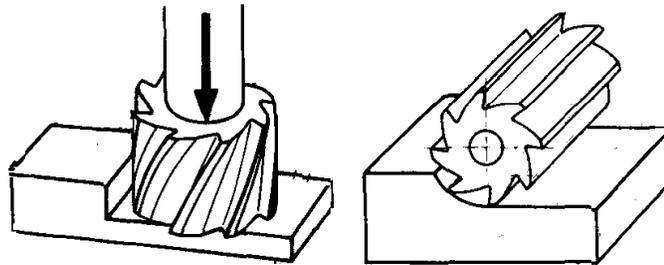


Fig. 1.15. Aplanamiento, planeado o careado (Gerling, 2006).

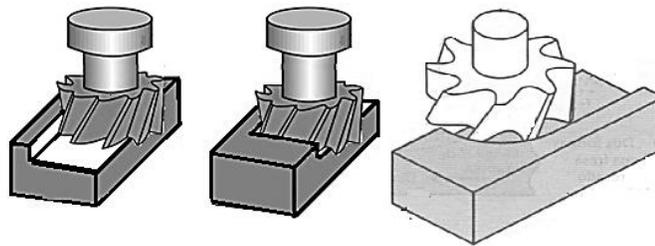


Fig. 1.16. Fresado en escuadra.

**Corte:** se puede llevar a cabo con las fresas de disco de la Tabla 1.3, se utiliza para separar las piezas o para hacer ranuras, similar a la operación de tronzado en el torneado.

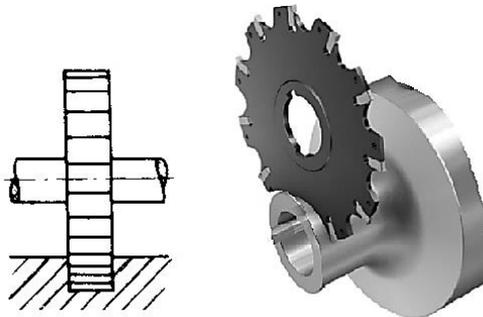


Fig. 1.17. Corte en el fresado.

**Ranurado recto:** la herramienta corta con todo su diámetro, pero a diferencia del fresado en escuadra, este deja material a ambos lados, no solo a uno, y el fondo queda plano. Corta a través del material y generalmente sale por los lados (atraviesa el material).

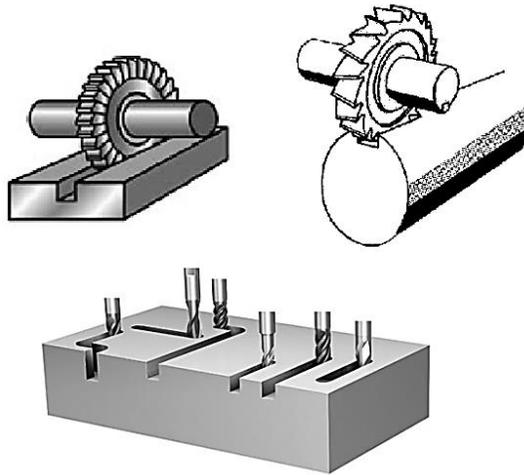


Fig. 1.18. Ranurado en fresadora.

**Ranurado de forma:** sigue la misma lógica del ranurado recto, pero el perfil que queda ya no es necesariamente con todas las caras rectas y perpendiculares, si no en forma de T, con fondo redondo, perfil cónico, en V, entre otros.

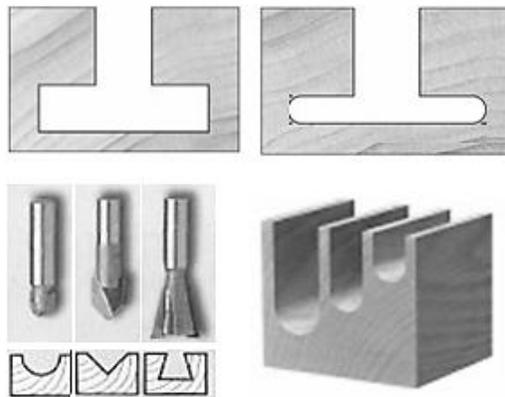


Fig. 1.19. Ranurado de forma.

**Fresado de cavidades:** son llamadas también cajas. Pueden tener cualquier forma: circular, cuadrada, hexagonal, forma de L, entre otros. Se realizan de manera similar al ranurado, sin embargo la herramienta no rompe ninguna cara. Puede quedar material en medio de ésta, se les llama islas.

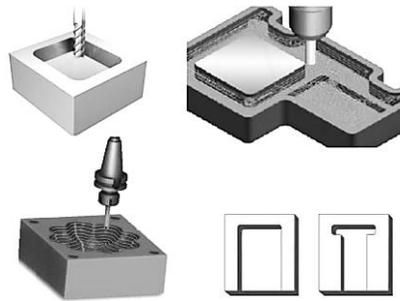


Fig. 1.20. Cavidades o cajas.

**Fresado de engranajes:** lo más común es realizarlo con fresas modulares. Puede decirse que es un ranurado de forma a lo largo del eje del cilindro o disco, o con una inclinación dada (helicoidales). Pueden fabricarse también con fresas madre, donde todos los dientes se van generando simultáneamente.

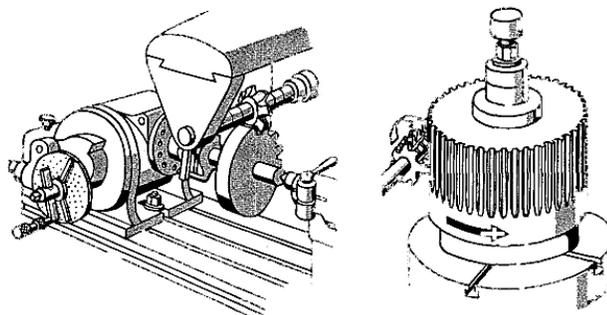


Fig. 1.21. Fresado de engranes (Gerling, 2006).

**Roscado:** se realiza de manera similar al método manual o con trayectorias helicoidales y herramientas de forma en centros de mecanizado o fresadoras con CNC.

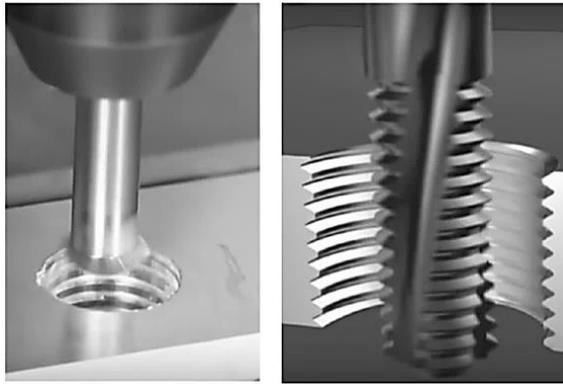


Fig. 1.22. Roscado con trayectoria helicoidal.

Además de las operaciones descritas anteriormente para ambas máquinas herramientas, hay diversidad de operaciones que pueden adaptarse, media vez el movimiento relativo de la pieza y la herramienta lo permita. Es bastante difícil cubrir todos los casos de mecanizado, pero muchos de ellos se basan en principios físicos similares. En los siguientes capítulos se profundiza más para cada uno de los que surgen, mediante la aplicación de la metodología de manera general y a una máquina en específico.

## 1.7. MÁQUINAS CON CNC

El control numérico CN se puede definir como un método de controlar con precisión la operación de una máquina herramienta, mediante una serie de instrucciones codificadas, formadas por números, letras del alfabeto; símbolos que la unidad de control de la máquina puede comprender. Estas instrucciones se convierten en pulsos eléctricos de corriente, que los motores y controles de la máquina siguen para llevar a cabo las operaciones de mecanizado sobre una pieza. Los números, letras y símbolos son instrucciones codificadas que se refieren a distancias, posiciones, funciones o movimientos específicos que la máquina herramienta, puede comprender para mecanizar la pieza. Los

dispositivos de medición y de registro incorporados aseguran que la pieza que se está manufacturando será exacta (Schwab, 2011).

Durante las últimas décadas, se han aplicado computadoras para programar y controlar las operaciones de las máquinas herramientas con CNC. Estos dispositivos han ido mejorando poco a poco de manera continua. Hoy son unidades altamente complejas capaces de controlar completamente la programación, mantenimiento, solución de problemas y la operación de una sola máquina, de un grupo de máquinas y pronto, incluso, de una planta manufacturera entera.

El control numérico por computadora y la computadora han aportado cambios significativos a la industria metalmecánica. Nuevas máquinas herramientas, en combinación con CNC, le permiten a la industria producir de manera consistente componentes y piezas con precisiones imposibles de imaginar hace solo unos cuantos años. Si el programa de CNC ha sido apropiadamente preparado, y la máquina ha sido puesta a punto correctamente, utilizando bien la herramienta de corte adecuada, se puede producir la misma pieza con el mismo grado de precisión cualquier cantidad de veces. Los comandos operacionales que controlan la máquina herramienta mediante el CNC son ejecutados automáticamente con una velocidad, eficiencia, precisión y capacidad de repetición, realmente asombrosas.

El control numérico por computadora se impuso por varias necesidades:

- Fabricar productos en cantidad y calidad suficientes, imposible sin recurrir a una automatización del proceso de fabricación;
- Obtener productos hasta entonces imposibles o muy difíciles de fabricar, por ser excesivamente complejos para ser controlados por un operador humano; y
- Fabricar productos a precios razonablemente bajos.

El factor predominante que condicionó todo automatismo en las máquinas herramientas fue el aumento de productividad. Posteriormente, debido a las nuevas necesidades de la industria aparecieron otros factores no menos importantes a tener en cuenta como la precisión, la rapidez y la

flexibilidad. Las máquinas herramientas con CNC, bien usadas, con la herramienta de corte apropiada y usada correctamente, minimizan el error humano. A la aplicabilidad de los equipos CNC, hay que sumarle los procesos CAD/CAM, procesos en los que se utilizan computadoras para mejorar la fabricación, desarrollo y diseño de los productos. Estos pueden fabricarse más rápido, con mayor precisión o a menor precio, con la aplicación adecuada de tecnología informática.

### **1.7.1. CENTROS DE MECANIZADO Y DE TORNEADO**

A fines de la década de los 70 y principios de los 80, se empezaron a diseñar máquinas que pudieran ejecutar con la misma calidad varias operaciones, tratando de que estas pudieran realizar aproximadamente el 90% del mecanizado en una sola máquina. El resultado más destacado de estas investigaciones fue la puesta en marcha de los novedosos centros de mecanizado, derivados de las fresadoras con CNC de la época. Posteriormente en el transcurso de los años 90, llegaría la versión más elaborada de estas máquinas herramientas conocida como centros de procesado. Se trata de máquinas que pueden ejecutar muy eficientemente las operaciones de taladrado, fresado, mandrinado, aplanado y perfilado de precisión en un mismo equipo con increíble calidad y una repetitividad acorde a las necesidades (Schvab, 2011).

Las fresadoras convencionales permiten trabajar sobre el patrón de tres ejes, la evolución, cambios y desarrollos tecnológicos actuales, brindan la posibilidad de trabajar con cinco, seis o siete ejes en máquinas que ya perdieron su nombre original por el de centros de mecanizados, sin lugar a dudas la máquina de mayor evolución y desarrollo tecnológico en el mundo.

La principal diferencia entre la fresadora con CNC y un centro de mecanizado es que el último cuenta con un cambiador automático de

herramientas, y la fresadora no; además, la fresadora, la mayoría de las veces cambia de velocidad manualmente (tiene que hacerlo el operador) y el centro de mecanizado lo hace automáticamente.

Los centros de mecanizado más conocidos son tres, de diseños bien definidos:

- Centro de mecanizado horizontal,
- Centro de mecanizado vertical, y
- Centro de mecanizado universal.

Los centros de mecanizado horizontales cuentan con dos variantes: de columna móvil y de columna fija. En la primera, las máquinas cuentan con dos mesas para la sujeción de la pieza a mecanizar. Con este tipo de máquinas, la columna y la herramienta de corte giratoria se mueven hacia la pieza, y mientras se está mecanizando la pieza en una mesa, el operador está cambiando la pieza en la otra mesa. La segunda alternativa, la de columna fija, está equipada con una mesa de transferencia de pallets. Los pallets son como unas mesas desmontables donde se fija la pieza a trabajar. En este tipo de máquinas, una vez mecanizada la pieza, el pallet y la pieza se mueven fuera del receptor hacia la mesa de transferencia. Esta última se gira, poniendo en posición un nuevo pallet y el pallet con la pieza terminada, en posición para ser descargada.

Generalmente, los centros de mecanizado verticales son construidos en forma de silla de montar, con bancadas deslizantes en lugar de movimiento del husillo. Este tipo de centro de mecanizado se utiliza para mecanizar piezas planas, sujetas a una prensa o dispositivo de sujeción. Estas máquinas herramientas cuentan con controles CNC, cuyo equipamiento le permite trabajar en un cuarto eje, utilizando en su mayoría herramental de corte giratorio.

Los centros de mecanizado universales, también con CNC, combinan las características de los centros de mecanizado horizontal y vertical. Esto permite contar con una máquina capaz de efectuar el mecanizado de todos los costados de una pieza en una sola puesta a punto (montaje), donde normalmente suelen requerirse el trabajo de dos máquinas para realizar y terminar la pieza. Los

centros de mecanizado universal con CNC, son de especial utilidad para piezas en lotes pequeños y medianos como son moldes, repuestos o componentes complicados.

Los centros de mecanizado modernos cuentan con varios accesorios que permiten incrementar su capacidad productiva y de manufactura, son los que mejoran su eficiencia operacional, como los sistemas de servo freno, aplicables en los cambios bruscos de velocidad, o los carretes porta herramientas (magazing, por sus siglas en inglés), con cambiadores automáticos de las herramientas de corte. En la actualidad, muchos centros de mecanizado utilizados en las industrias están equipados para el cambio automático controlado numéricamente de las herramientas de corte, lo que es más rápido y confiable que el cambio manual de las mismas.

Si se sigue la misma lógica entre fresadora con CNC y centro de mecanizado, y se aplica al caso del torno con CNC, se puede decir entonces, que un centro de torneado es un torno con CNC, con cambio automático de herramientas y variación automática de velocidades de giro y avances. Debido a lo anterior se puede decir que actualmente a lo que se le llama comúnmente torno con CNC y fresadora con CNC, en realidad debe llamárseles centro de torneado y centro de mecanizado, respectivamente. Además el agregar más ejes a estas máquinas puede hacer que cambien de nombre, o no.

## **1.8. MECANIZADO EN TORNO CON CNC O CENTRO DE TORNEADO**

El torno con CNC y el centro de torneado son operados mediante control numérico por computadora. Se caracterizan por ser una máquina herramienta muy eficaz para mecanizar piezas de revolución. Ofrece una gran capacidad de producción y precisión en el mecanizado por su estructura funcional y porque la trayectoria de la herramienta de torneado es controlada a través del ordenador que lleva incorporado, el cual procesa las órdenes de ejecución contenidas en

un archivo de código que previamente ha confeccionado un programador conocedor de la tecnología de mecanizado en torno.

El control numérico se basa en un sistema de lenguaje que se comunica a través de la emisión de "códigos G", que no es más que un sistema de comunicación Alfanumérico en este tipo de máquinas.

El torno con CNC y el centro de torneado pueden hacer todos los trabajos que normalmente se realizan mediante diferentes tipos de torno como paralelos, copiadores, revólver, automáticos e incluso los verticales. Su rentabilidad depende del tipo de pieza que se mecanice y de la cantidad de piezas que se tengan que mecanizar en una serie. Es una máquina ideal para el trabajo en serie y mecanizado de piezas complejas.

Los ejes X y Z pueden desplazarse simultáneamente, realizando fácilmente mecanizados cónicos, esféricos y de perfiles complejos, según la geometría de las piezas (Fuentes, 2012).

La máquina opera a velocidades de corte y avance muy superiores a los tornos convencionales por lo que se utilizan portaherramientas con insertos, que se colocan en una torreta o revólver que puede alojar diferentes y varias herramientas, dependiendo de la marca y especificaciones de la máquina.

Algunos tornos incluyen la posibilidad de montar herramientas que giren como en una fresadora, se les llama herramienta motorizada o herramienta viva y permiten realizar infinidad de operaciones más que las establecidas para el torneado, convirtiendo así en un torno-fresa con tres o hasta siete ejes. Por ejemplo los llamados tornos suizos.

En el programa de mecanizado se pueden introducir como parámetros: la velocidad de giro del plato, las trayectorias de la herramienta y el avance de los carros longitudinal y transversal. Además puede programarse cambios automáticos de herramientas, adición de refrigerante, etc.

Para el mecanizado en el torno con CNC también se usan accesorios como para el torneado convencional: el contrapunto, luneta, chuck, entre otros.

## **1.9. MECANIZADO EN FRESADORA CON CNC O CENTRO DE MECANIZADO**

Tomando en consideración lo planteado en la sección 1.7.1 (centro de mecanizado y centros de procesado) y en la sección 1.8 acerca de las herramientas motorizadas, la definición entre un torno-fresa y centro de mecanizado se vuelve difusa para máquinas con más de cuatro ejes.

Los párrafos siguientes hacen referencia a procesos que pueden realizarse en una fresadora (convencional con sus accesorios o con CNC) o en un centro de mecanizado de tres ejes.

Los procesos que son posibles realizar en esta máquina son el taladrado, planeado (careado), fresado, mandrinado, perfilado, vaciados (cajeras), ranurado, entre otros. Básicamente son operaciones de fresado convencional, sin el auxilio de accesorios especiales como un plato vertical rotativo o plato divisor vertical, por ejemplo.

Si se usa el movimiento de dos ejes a la vez, mientras el otro permanece invariante, luego se varía el tercer eje y después se mecaniza con los dos ejes restantes, surge el llamado fresado 2.5D. Si en cambio se usa el movimiento simultáneo de los tres ejes, entonces se dice que es un fresado 3D. Muchas piezas de máquinas pueden mecanizarse utilizando la técnica de fresado 2.5D, requiriendo el fresado 3D para piezas con superficies imposibles de realizar con el fresado 2.5D y para superficies curvas.

El centro de mecanizado, es una máquina ideal para el trabajo en serie y mecanizado de piezas con perfiles complejos, que requieran alta precisión.

Al igual que el centro de torneado, el centro de mecanizado opera a velocidades de corte y avance muy superiores a las fresadoras convencionales por lo que se utilizan portaherramientas con insertos, que se cargan en el husillo mediante un cono normalizado ISO o DIN y una pinza o boquilla que se coloca dentro de éste para sujetar el vástago de la herramienta; y pueden ser guardadas en un almacén llamado magazing, que puede alojar diferentes y

varias herramientas. Dependiendo de la marca y especificaciones de la máquina, el magazing puede tener diferente configuración y contener diferente cantidad de herramientas.

En el programa de mecanizado se pueden introducir como parámetros: la velocidad de giro del husillo, las trayectorias de la herramienta y el avance de los ejes. Además se pueden programar los cambios de herramientas, activar o desactivar el refrigerante o aire comprimido para el enfriamiento y lubricación de las piezas, entre otros.

En el centro de mecanizado se pueden usar diferentes accesorios como para la fresadora convencional, por ejemplo el plato divisor.

#### **1.10. EL PROCESO DE PROGRAMACIÓN CAD/CAM**

El proceso general para ir desde el modelo CAD hasta una pieza terminada por medio de centro de torneado o centro de mecanizado, es:

- Crear el modelo CAD;
- Establecer los parámetros de trabajo, incluyendo los sistemas de coordenadas CNC, la forma y tamaño del material en bruto;
- Seleccionar el proceso CNC;
- Seleccionar las herramientas de corte y los parámetros del mecanizado;
- Seleccionar la geometría CAD de conducción de las operaciones;
- Verificar las trayectorias;
- Realizar el postprocesado (generación del código G y M específico para la máquina a usar);
- Transferir el archivo de códigos G y M a la máquina con CNC; y
- Configurar y operar la máquina con CNC para mecanizar la pieza.

Los montajes o sujeciones (o puesta a punto) juegan un papel importante en las estrategias del mecanizado, y pueden hacerse sobre la mesa, en una

prensa, en un montaje especial u otro tipo de soporte. El montaje de la pieza debe facilitar la definición del sistema de coordenadas de trabajo (cero pieza o WCS, por sus siglas en inglés de Work Coordinate System). El cero pieza es un punto seleccionado, por el programador CNC, sobre el stock, la pieza o sujeción. Si bien puede ubicarse en cualquier parte de la máquina, su selección requiere una consideración cuidadosa (Autodesk Inc, 2012).

Se define aquí como estrategia de mecanizado a todas aquellas operaciones y el orden en el que deben hacerse para lograr mecanizar una pieza, a modo de tomar en cuenta aspectos diversos como: el costo del mecanizado mediante el número de montajes realizados, la cantidad de herramientas usadas, el tiempo de mecanizado y tiempo muerto (cuando la máquina está encendida pero no mecanizando); la cantidad de procesos previos o intermedios al mecanizado CNC, la seguridad de los procesos, la precisión y acabados, entre otros. Los procesos previos o intermedios al mecanizado CNC deben considerarse debido a que recibir un stock con un lado mecanizado como referencia, por ejemplo, podría aportar a la disminución de costos mediante la optimización del tiempo de trabajo. Muchas veces es imprescindible que se hagan, pero otras no, todo depende de la geometría y naturaleza de la pieza a mecanizar.

### **1.11. DESCRIPCIÓN DE SOLIDWORKS Y HSMXPRESS**

Ya se ha descrito de manera general el software CAD 3D paramétrico SolidWorks en la sección 1.2 y a HSMXpress en la sección 1.3, por lo que ahora se procede a la descripción de las herramientas de modelado 3D del primero, y programación y simulación CAM del segundo.

### 1.11.1. GENERALIDADES DE SOLIDWORKS

SolidWorks es un software de automatización de diseño. En SolidWorks, se puede croquizar ideas y experimentar con diferentes diseños para crear modelos 3D. Es utilizado por estudiantes, diseñadores, ingenieros y otros profesionales para producir piezas, ensamblajes y dibujos simples y complejos.

El modelado en SolidWorks, consiste en:

- Piezas,
- Ensamblajes, y
- Dibujos.

Una pieza es un objeto 3D individual formado por operaciones. Una pieza puede transformarse en un componente de un ensamblaje y puede representarse en 2D en un dibujo. Entre los ejemplos de piezas se encuentran los pernos, las espigas, las chapas, etc. Las operaciones son las formas y funciones que construyen la pieza. La operación Base es la primera operación creada, constituye la infraestructura de la pieza, creada a partir de un croquis 2D. Forma la pieza de trabajo a la cual se le agregan otras operaciones (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, 2010).

Un ensamblaje es un documento en el que las piezas, las operaciones y otros ensamblajes (subensamblajes) se encuentran agrupados en una relación de posición. Las piezas y los subensamblajes existen en documentos independientes del ensamblaje. Por ejemplo, en un ensamblaje, un pistón puede agruparse con otras piezas, como una varilla o un cilindro de conexión. Este nuevo ensamblaje puede utilizarse entonces como un subensamblaje en el ensamblaje de un motor.

Un dibujo en SolidWorks es una representación 2D de una pieza o un ensamblaje 3D.

Cualquier cambio en una pieza se refleja en el ensamblaje del que es parte y en los correspondientes dibujos; es decir, hay una relación paramétrica

y dinámica entre las piezas, los ensamblajes de los que es parte y su representación por medio del dibujo.

Muchos objetos comunes se pueden modelar a partir de las mismas operaciones, solo variando los valores de las cotas para generarlos en distintos tamaños, SolidWorks cuenta con las tablas de diseño, que facilitan la creación de una familia de piezas. Una tabla de diseño ahorra tiempo de diseño. Con una sola pieza y una tabla de diseño se pueden crear numerosas versiones de ésta, sin tener que modelar cada una individualmente.

SolidWorks cuenta con muchas herramientas de visualización, de medición, de control de valores de cotas, definición de cotas por variables y funciones matemáticas, entre otras. Se pueden usar formas denominadas operaciones para crear piezas, crear modelos de superficie o sólidos a partir de una malla 3D o datos de barrido de nube de puntos. Además se pueden crear piezas soldadas, de chapa metálica, cálculo de volúmenes, entre otros (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, 2010)

### **1.11.2. HERRAMIENTAS PARA EL MODELADO EN SOLIDWORKS**

Las piezas se generan por medio de operaciones. Una operación requiere:

- Un plano de croquis (necesita un plano, una cara, etc. algo sobre lo que dibujar y que tenga significado físico);
- Un perfil de croquis (es una vista en 2D proyectada en un plano del sólido 3D, la forma aparente desde un punto específico del espacio); y
- Tipo de operación (agregar o quitar volumen/material).

Cuando las líneas de un croquis aparecen en color negro, la barra de estado de la esquina inferior derecha de la ventana indica que el croquis está completamente definido; es decir, cada línea, curva o entidad geométrica

cuenta con las referencias necesarias desde el punto de vista paramétrico y matemático.

Las operaciones de forma de SolidWorks son:

- Operación Saliente: agrega material a la pieza;
- Operación Cortar: elimina material de una pieza;
- Operación Taladrado: elimina material. Funciona como una operación cortar más inteligente;
- Operación Redondeo: se utiliza para redondear las aristas vivas. Puede eliminar o agregar material. La arista exterior (redondeo convexo) elimina material. La arista interior (redondeo cóncavo) agrega material; y
- Operación Chablán: similar a un redondeo. Crea un bisel en una arista en lugar de redondearla. Puede eliminar o agregar material.

Todas las operaciones croquizadas y algunas de forma tienen croquis, se construyen a partir de perfiles 2D.

Las operaciones de funciones no tienen croquis. Se aplican directamente a la pieza de trabajo seleccionando aristas o caras (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, 2010).

La geometría básica que maneja SolidWorks, se presenta a continuación:

- Eje: línea constructiva (línea que sirve de referencia, pero que no es parte del perfil de un croquis) que se extiende a través del centro de cada operación generada por revolución, por ejemplo;
- Plano: superficie 2D plana;
- Origen: punto donde se entrecruzan los tres planos de referencia predeterminados (alzado, superior y lateral). Las coordenadas del origen son  $X = 0$ ,  $Y = 0$ ,  $Z = 0$ ;
- Cara: superficie o carátula exterior de una pieza. Las caras pueden ser planas o curvas;
- Arista: límite de una cara. Las aristas pueden ser rectas o curvas; y
- Vértice: esquina donde se encuentran las aristas.

Las relaciones geométricas son las reglas que controlan el funcionamiento de la geometría de croquis. Las relaciones geométricas ayudan a capturar la intención del diseño. Las que usa SolidWorks, son:

- Tangente,
- Vertical,
- Horizontal,
- Punto medio,
- Concéntrica,
- Paralela,
- Intersección, y
- Perpendicular.

Las ventanas de SolidWorks muestran los datos gráficos y datos no gráficos del modelo.

### **1.11.3. LOS ENSAMBLAJES EN SOLIDWORKS**

Entre las principales consideraciones en relación a los ensamblajes, se tiene:

- Un ensamblaje contiene dos o más piezas en un único archivo;
- En un ensamblaje, las piezas se consideran componentes;
- Las relaciones de posición son relaciones que alinean y agrupan componentes en un ensamblaje;
- Los componentes y su ensamblaje se relacionan directamente mediante la vinculación de archivos;
- Los cambios en los componentes afectan el ensamblaje y viceversa (y al dibujo, en ambos casos);
- El primer componente ubicado en un ensamblaje es un componente fijo;

- Un componente fijo no se puede mover. Si desea mover un componente fijo, primero debe hacerlo flotante (deshacer la fijación);
- Los componentes insuficientemente definidos pueden moverse utilizando el movimiento de ensamblaje dinámico. Esto estimula el movimiento de los mecanismos (simula el movimiento relativo entre piezas);
- Una matriz de componentes es una matriz que posee componentes en un ensamblaje; y
- Pueden usarse relaciones de simetría, matrices, entre otras; para los componentes de un ensamblaje.

#### **1.11.4. LOS DIBUJOS EN SOLIDWORKS**

En la ingeniería, los dibujos comunican tres cosas acerca de los objetos que representan:

- La forma: se utilizan para comunicar la forma de un objeto;
- El tamaño: se utilizan para comunicar el tamaño de un objeto; y
- Otra clase de información: información no gráfica acerca de procesos de fabricación tales como perforación, fresado, refrentado, pintura, esmerilado, tratamiento térmico, eliminación de rebabas, etc.

En SolidWorks las vistas comunican la forma, las cotas el tamaño y las notas comunican la información no gráfica. También es posible utilizar vistas especializadas como las vistas auxiliares o las vistas de sección para describir el objeto de manera completa y exacta (Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation, 2010).

### 1.11.5. HERRAMIENTAS DE HSMXPRESS

HSMXpress es un plugin (por su nombre en inglés. Es una aplicación, que en un programa informático añade una funcionalidad adicional o una nueva característica al software) gratuito de CAM para SolidWorks. Se puede descargar gratis desde el sitio web del fabricante. Aparece como una pestaña llamada CAM en el entorno de SolidWorks como se puede ver en la Fig. 1.23.

Cuenta con herramientas para generar las trayectorias de la herramienta durante el mecanizado (toolpath, por su nombre en inglés), se pueden simular las operaciones, realizar el postprocesado para generar los códigos G y M e incluso generar la hoja de proceso donde se presentan datos útiles para el mecanizado.

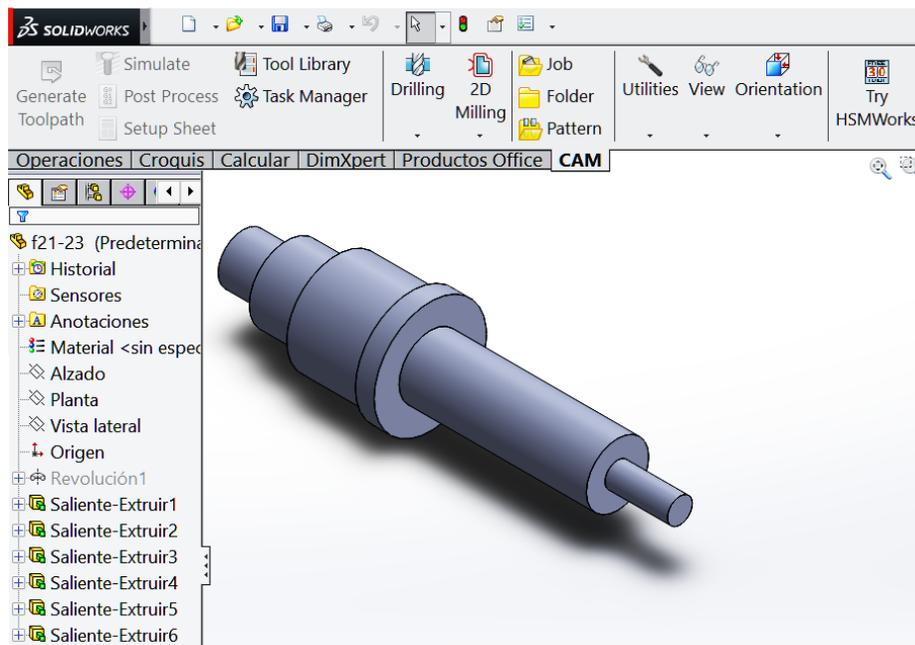


Fig. 1.23. Pestaña de HSMXpress dentro del entorno de SolidWorks.

En la Fig. 1.24 se presentan las características y herramientas para el mecanizado CNC de HSMXpress.



Fig. 1.24. Herramientas para el mecanizado CNC de HSMXpress.

Cuenta con librerías de herramientas que pueden personalizarse como se presenta en la Fig. 1.25.

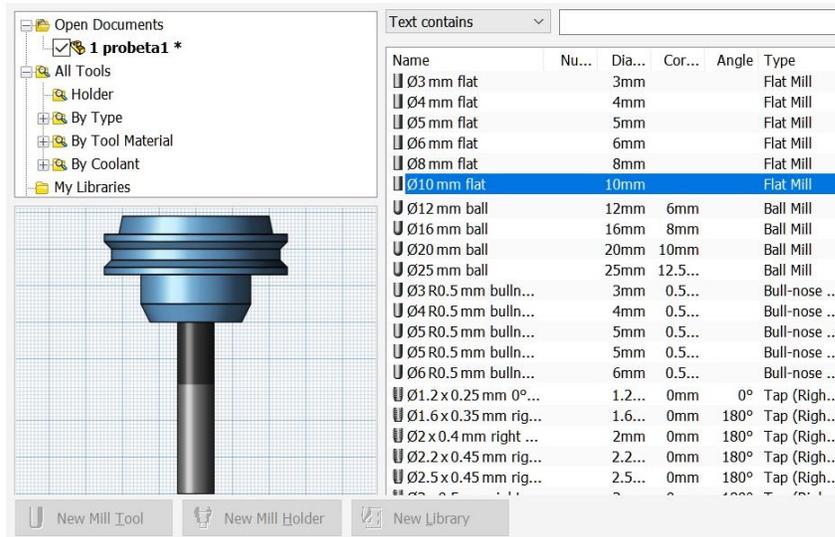


Fig. 1.25. Librerías de herramientas de HSMXpress.

Cuenta con herramientas de taladrado, introducción de acciones manuales (pausas, paros condicionados, etc.) y fresado 2D (careado, ranurado, vaciado, entre otros), tal como se presenta en las Figs. 1.26 y 1.27.

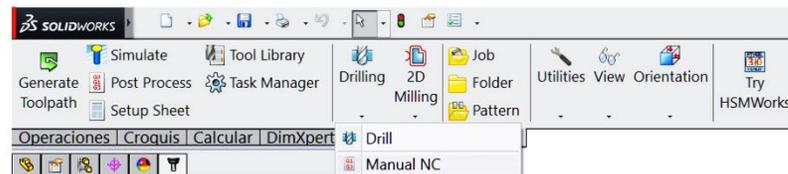


Fig. 1.26. Taladrado y comandos manuales de HSMXpress.

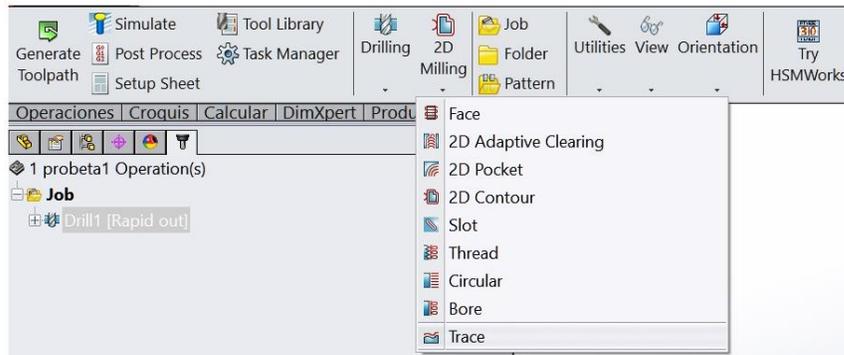


Fig. 1.27. Herramientas y opciones de fresado 2D de HSMXpress.

Además de lo ya citado, cuenta con herramientas útiles como la creación de croquis, planos, ejes, etc. y diferentes modos de visualización, tal como se presenta en las Figs. 1.28 y 1.29.

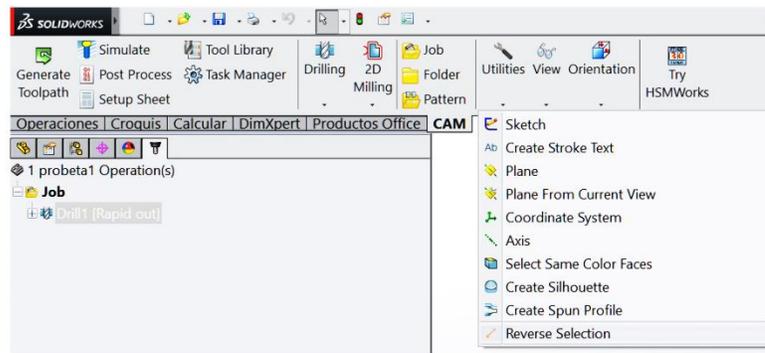


Fig. 1.28. Utilidades de HSMXpress.

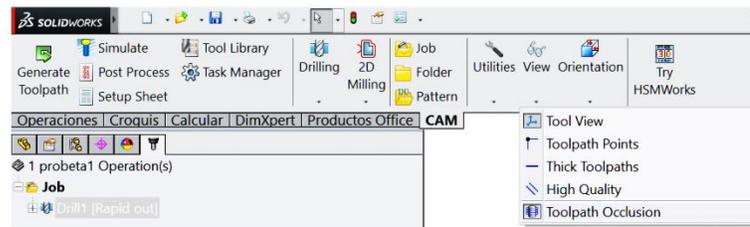


Fig. 1.29. Modos de vistas de HSMXpress.

## 1.12. DIAGNÓSTICO DEL DISEÑO CAD/CAM EN LA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA DE LA UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

Desde el año 2010 la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, cuenta con un centro

de mecanizado Milltronics VM16 para la enseñanza de la tecnología de mecanizado CNC a los estudiantes. El control es Fagor serie 16i/160il, al cual se le ha realizado una actualización para trabajar como versión 0i Mate-MC. La transferencia de archivos de códigos se puede realizar por medio de un puerto RS-232 y una tarjeta Compact Flash con su adaptador PCMCIA. Se cuenta además con algunas herramientas propias para el mecanizado CNC y otras que no lo son, pero pueden ser usadas para algunas operaciones de este tipo. Se encuentra completamente funcional.

En el 2011 se pone a disposición de los antes mencionados, el laboratorio de enseñanza CAD/CAM por medio de los software PowerSHAPE y PowerMILL. Actualmente la formación en estos campos se imparte en las asignaturas de "Procesos de fabricación I y II" de formación básica especializada y en la asignatura optativa "Maquinado CNC".

En el año 2017 se adquiere un torno con CNC didáctico Alecop modelo Expert, para la realización de probetas para ensayos mecánicos, por parte del Departamento de Materiales y Procesos de Fabricación.

Por otro lado, desde el año 2013 se imparte también en la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, un curso libre básico para el manejo del software SolidWorks, el cual está optimizado para el diseño mecánico CAD, posibilitando el diseño de piezas individuales, ensambles funcionales, simulaciones y la creación de planos mecánicos. SolidWorks permite la integración dentro de éste, de diversos paquetes CAM, con excelente compatibilidad.

### **1.13. CARACTERÍSTICAS DESEABLES EN EL MODELADO CAD Y LA PROGRAMACIÓN CAM PARA EL PROCESO DE DISEÑO CAD/CAM**

El diseño CAD/CAM, debe ir más allá de la simple representación de los componentes mecánicos, razón por la cual al dibujar en un software CAD, se debe hacer uso de técnicas adecuadas en el manejo de las funciones que éste presenta, de modo que faciliten la edición tanto desde el punto de vista CAD

como también del CAM; es decir, se deben integrar al diseño CAD estrategias y técnicas del mecanizado posterior para que esto sea posible. En función de lo anterior, se debe contar con un paquete de software que permita una óptima compatibilidad para el flujo de información implícita en la manera de dibujar entre el software CAD y el CAM, y viceversa.

Los programas PowerSHAPE y PowerMILL son modeladores de superficies y por consiguiente, están adaptados para trabajar de manera más eficiente en piezas como moldes. Cuando se desea trabajar en el diseño CAD de piezas individuales que luego se unen en ensamblajes para evaluar su funcionalidad mecánica, es preferible contar con un software CAD 3D tipo paramétrico, como SolidWorks.

Mediante el presente trabajo de graduación, se pretende crear una metodología de dibujo CAD, para modelar diversas piezas mecánicas en el software CAD 3D tipo paramétrico SolidWorks versión 2014, que integre (de manera implícita) estrategias de mecanizado de modo que se facilite el flujo de información entre éste y HSMXpress2016-R2.40513-x64, un software CAM, que ha sido desarrollado para instalarse dentro del entorno de SolidWorks, por lo que su compatibilidad es excelente. Sin embargo, cualquier otro software CAM que pueda ser instalado dentro del mismo entorno de SolidWorks y mantenga las mismas características, tendrá una validez similar.

Como pasos previos a la creación de la metodología, se establecen las estrategias de mecanizado más comunes en un torno Alecop modelo Expert y un centro de mecanizado Milltronics VM16, para su posterior integración al diseño CAD. Además se analizan las particularidades para modelar diferentes elementos mecánicos, atendiendo la facilidad de edición y reutilización de estos en el proceso de diseño CAD/CAM, dando de manera generalizada diferentes algoritmos de solución en función del tipo de pieza a dibujar, así como también de manera explícita por medio de ejemplos en Solidworks.

Las operaciones dadas para el torno con CNC, deben tener la misma validez para un centro de torneado, según lo mencionado en los últimos párrafos de la sección 1.7.1.

Después de establecer la metodología, ésta se va aplicar al diseño CAD/CAM de una máquina sencilla para evaluarla.

Para la metodología propuesta en éste trabajo, es necesario poseer conocimiento básico del modelado CAD en SolidWorks y también de mecanizado por medio de arranque de viruta. No se presenta aquí una guía para el aprendizaje de ninguno de los software, sino un cambio de paradigma en el uso de las herramientas de modelado, mediante el establecimiento de una secuencia específica a nivel físico del mecanizado, de modo que incluso pueda ser adaptada a cualquier otro software CAM, diferente al utilizado aquí como referencia.

## **2. ESTABLECIMIENTO DE LA METODOLOGÍA**

Aquí se presentan de manera general los fundamentos de la metodología de modelado CAD. Se ha pensado para que se adapte a la mayoría de las situaciones presentes durante los procesos de mecanizado por medio de arranque de viruta, principalmente.

### **2.1. GENERALIDADES Y DEFINICIONES**

Lo primero que se debe realizar, es establecer si es una máquina nueva o una ya existente, siendo solo un modelo diferente de la misma. A continuación se debe proceder de manera iterativa, realizando las adecuaciones más convenientes para definir los requerimientos, las partes de la máquina y los archivos necesarios para el diseño de piezas y generación de planos, crear la estructura de las carpetas y mantener las relaciones para que los archivos no pierdan sus referencias y se vean comprometidos los ensamblajes, dibujos y demás documentación de la máquina.

Una máquina, es la unión de sistemas que juntos cumplen el objetivo para el cual ha sido diseñada. Representa un ensamblaje a nivel de CAD. Para realizar una estructuración ordenada, el diseño debe incluir varios niveles perfectamente delimitados. A continuación se dan algunas definiciones que se usan para la metodología.

Un sistema es un mecanismo; es decir, un conjunto de piezas o elementos que ajustados entre sí y empleando energía mecánica hacen un trabajo o cumplen una función de la máquina. Cada sistema puede contener subsistemas, definiéndose como aquellas piezas que pueden tomarse como un conjunto y que realizan una única acción entre todas, pero no a nivel de un sistema, solamente aportan a la función de éste. Un sistema representa un ensamblaje a nivel de CAD, con subensamblajes y piezas, mientras que un subsistema solo representa un ensamblaje.

Las piezas que se unen para formar un sistema o subsistema pueden ser de varios tipos: pieza simple, pieza compuesta, pieza de adquisición externa (PAE, por sus siglas) y pieza adaptable de adquisición externa (PADAE, por su acrónimo).

Una pieza simple es aquella que se obtiene de un solo stock (ver sección 1.5) por medio de un proceso de mecanizado o cualquier otro proceso de fabricación. Representa un solo archivo a nivel de CAD.

Una pieza compuesta es aquella que se forma a partir de componentes. Los componentes son, por ejemplo, dos pedazos de metal de igual o diferente geometría que se unen para obtener una forma específica (de "L", de "T", entre otros) por cualquier método de unión (soldada, empernada, a presión, entre otros). Los componentes pueden conservar, o no, algún tipo de movimiento entre sí. Nótese que si la "L" (o la "T") se mecaniza a partir de un solo bloque, entonces se tiene una pieza simple y sale de esta categoría. A nivel CAD, representan un ensamblaje. Las piezas compuestas son de naturaleza diferente, pero a nivel del manejo de los archivos, son equivalentes a un sistema y/o subsistema.

Cuando se hace referencia a las piezas de adquisición externa (PAE), se entiende que son todas aquellas que no son mecanizadas en el departamento de producción, si no que se compran, son fabricadas en otro departamento, otra empresa, por otro método, o situación equivalente. Lo fundamental acerca de las PAE, es que no se puede decidir sobre su geometría para efectos del diseño, y si se hace, como en el caso de adquirir una pieza a la medida (Made to Order, por su nombre en inglés y con siglas MTO), difícilmente varía. En el caso de aquella PAE a la cual se le realiza algún tipo de mecanizado, modificando en parte su geometría, se convierte en PADAE (por ejemplo, una pieza fundida que sirve como soporte de otra). Las PAE y PADAE pueden generar o transmitir potencia (motores, cadenas, piñones, bandas en V, entre otros), unir (pernos), sellar (retenedores, o-ring, sellos, entre otros), además pueden también ser simples (o-ring) o compuestas (motor), deben tratarse similar a las piezas simples y compuestas para efectos de representación CAD.

Los componentes, piezas simples, PAE y PDAE simple requieren los planos mecánicos (dibujos) más específicos (todas las cotas de su geometría para los primeros y las segundas, y las relevantes para las terceras y cuartas).

Las piezas compuestas, subsistemas, sistemas y la máquina (o sus equivalentes: PAE y/o PDAE compuestas), deben mostrar solo aquellas cotas relativas a su geometría externa o su función; es decir, todas aquellas que no sea posible de representar a nivel de componentes o piezas simples. Por ejemplo, si se tiene un ensamblaje de un pistón, una cota en el plano del ensamblaje, es la carrera de este, la cual no puede ser representada en algún componente. Cuando no sea adecuado o posible, datos como el anterior, pueden presentarse de la forma más apropiada, por medio de tablas, por ejemplo.

En la Fig. 2.1 se presenta la estructuración de una máquina en sistemas, subsistemas, piezas y componentes. Como se puede observar, las piezas y los componentes pueden ser de cualquier tipo y tener diferente nivel en relación a la máquina:

- Piezas de nivel 1: son piezas, que están al mismo nivel de los sistemas de la máquina y generalmente se usan para la unión de éstos (pernos, pines, entre otros);
- Piezas de nivel 2: son piezas que forman los sistemas de la máquina;
- Piezas de nivel 3: son piezas que forman los subsistemas;
- Componentes de nivel 2: son los componentes de las piezas compuestas de nivel 1;
- Componentes de nivel 3: son los componentes de las piezas compuestas que forman los sistemas de la máquina; y
- Componentes de nivel 4: son los componentes de las piezas compuestas que forman los subsistemas

Todos los sistemas deben ser de nivel 1 y todos los subsistemas deben ser de nivel 2, en relación a la estructuración de la máquina.

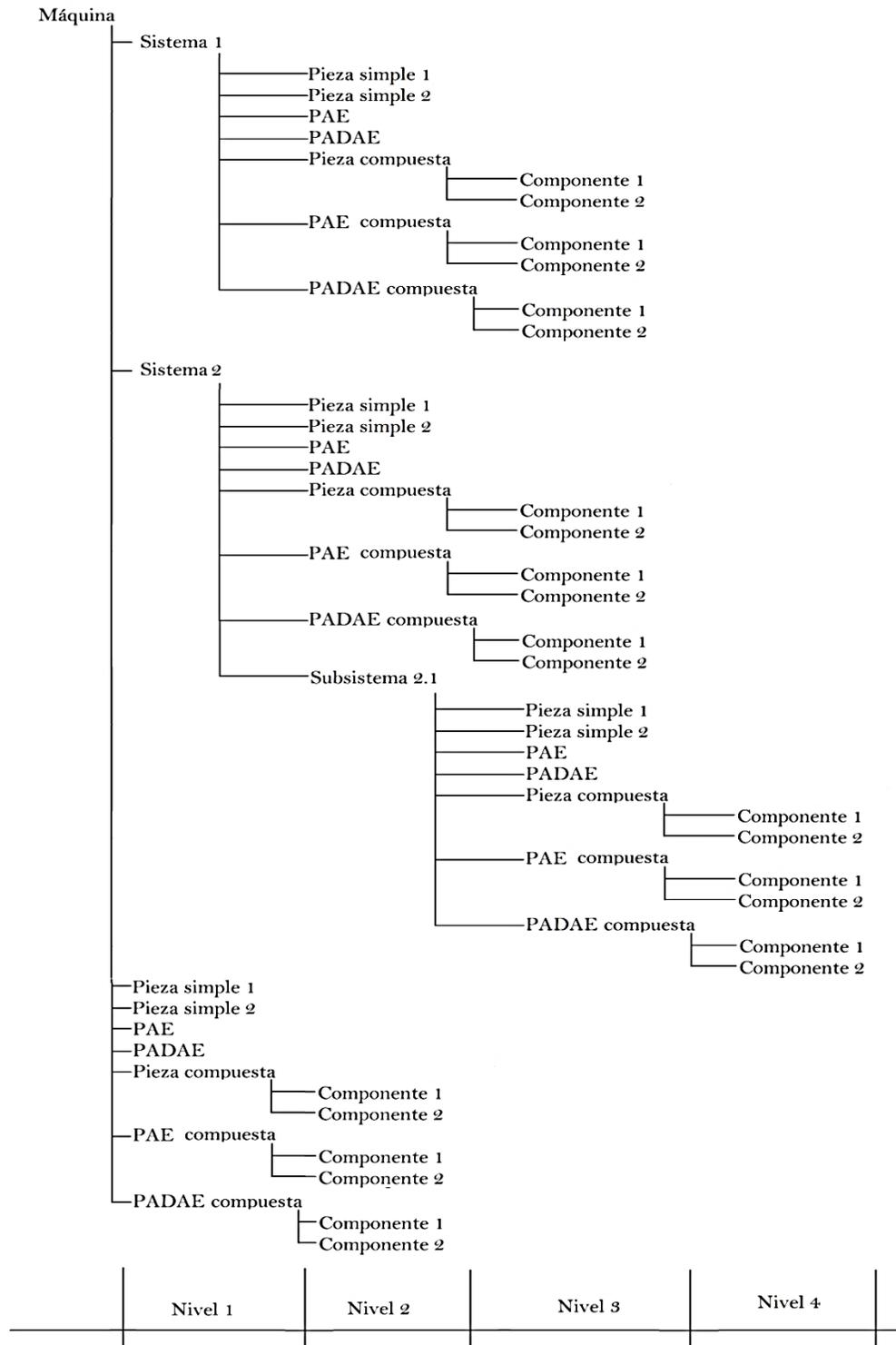


Fig. 2.1. Estructuración de una máquina en sistemas, subsistemas, piezas y componentes. Se presentan todos los casos posibles y los diferentes niveles de la estructura.

## 2.2. CODIFICACIÓN DE LAS PIEZAS Y SUS COMPONENTES

Cada archivo CAD de una pieza, componente o ensamblaje (de cualquier naturaleza y nivel) debe tener un código, de modo que al tomar individualmente un plano o archivo CAD, sea capaz de indicar su lugar en la estructura de la máquina, su naturaleza o tipo y un correlativo.

En su mayoría, los modelos de las máquinas contienen varios caracteres que indican a la familia o tipo que pertenecen (tostadora, triturado, empacadora, entre otros), de modo que es más adecuado que cada pieza o componente de cualquier naturaleza y nivel de éstos modelos, tenga un código corto de referencia, para que éste no sea demasiado largo y poco práctico, y que tampoco sea demasiado corto, ya que no aportaría la suficiente información.

Como ejemplo, en la Tabla 2.1, se tiene un caso hipotético de varios tipos de máquinas para una empresa.

Tabla 2.1. Ejemplificación de códigos de referencia para diferentes modelos de máquinas.

Tipo de máquina	Modelo	Código de referencia
Trituradora	DCV-1000	A1
	DCV-2X	A2
Empacadora	DTSF i	B1
	DTSF 215	B2

El archivo CAD del ensamblaje de la máquina debe ser nombrado de la siguiente manera: A1-Trituradora DCV-1000.

Además del código corto de referencia, se debe incluir el sistema al que pertenece o el nivel (para las piezas de nivel 1). Un sistema se debe identificar con la letra S y un número correlativo dentro del nivel, además de un nombre corto, lo suficiente representativo. En la Tabla 2.2, se presenta un ejemplo para una máquina trituradora.

El archivo CAD del ensamblaje del sistema debe ser nombrado de la siguiente manera: A1-S1-Sistema dosificador.

Tabla 2.2. Codificación de los sistemas de una máquina.

Sistema	Código de referencia
Sistema dosificador	S1
Sistema de triturado	S2
Sistema clasificador	S3

Los subsistemas se deben codificar usando la misma lógica, como se presenta en la Tabla 2.3.

Tabla 2.3. Códigos de los subsistemas del sistema dosificador de una máquina trituradora.

Sistema	Subsistema	Código de referencia
Sistema dosificador	Tensor de banda	SB1
	Compuerta	SB2

El archivo CAD del ensamblaje del subsistema se debe nombrar de la siguiente manera: A1-S1-SB1-Tensor de banda.

También, se debe agregar una letra que indique la naturaleza de la pieza y el número correlativo dentro del sistema, subsistema o nivel (pieza de nivel 1) al que pertenece. En la Tabla 2.4 se presentan las abreviaciones para el código de las piezas, de acuerdo a su naturaleza o tipo.

Tabla 2.4. Codificación de las piezas de una máquina de acuerdo a su naturaleza o tipo.

Tipo de pieza	Letra de referencia
Pieza simple	P
PAE simple	PA
PADAE simple	PD
Pieza compuesta	PC
PAE compuesta	PAC
PADAE compuesta	PDC

Si es un componente se debe agregar la letra C y su correlativo después de la letra del tipo de pieza.

Para efectos de mayor claridad y como ayuda en el momento de la planificación de la producción, se debe agregar una letra que indique en que máquina herramienta se puede llevar a cabo el mecanizado de la pieza o

componente. Las posibles opciones se presentan en la Tabla 2.5. Para TF y TFO, se debe indicar la selección de la máquina herramienta, pudiendo ser una de ellas o todas, resultando las combinaciones siguientes: T, F, TF y TFO.

Tabla 2.5. Código para el tipo de máquina herramienta usada en el mecanizado.

Máquina herramienta donde se puede y/o debe mecanizar la pieza	Letra de referencia
Torno	T
Fresadora	F
Torno y/o fresadora	TF
Torno, fresadora y/o otra máquina herramienta	TFO

Después de todos estos identificadores y letras, se debe poner un nombre, lo más corto y representativo que se pueda de la pieza o componente. En la Tabla 2.6 se presentan ejemplos de la codificación y su descripción.

Tabla 2.6. Ejemplos diversos de la codificación de piezas y componentes para una máquina.

Código	Descripción
A1-S1-P1-T-Soporte L	Soporte L, a fabricarse en un torno, pieza simple número 1 del sistema S1 dosificador, perteneciente a la máquina trituradora modelo DCV-1000.
B1-S4-P8-TF-F-Acople plato-eje	Acople plato-eje, se puede fabricar en un torno o en una fresadora, se ha elegido la fresadora, pieza simple número 8 del sistema S4 dosificador, perteneciente a la máquina empacadora modelo DTSF i.
A2-S3-PC3-C12-TF-TF-Pin punta hexagonal	Pin punta hexagonal, se debe usar para su fabricación un torno y una fresadora, componente número 12 de la pieza compuesta número 3 del sistema S3 clasificador, perteneciente a la máquina trituradora, modelo DCV-2X
A1-S9-PD1-F-Housing del motor	Housing del motor, a mecanizarse en la fresadora, pieza de adquisición externa adaptable número 1 del sistema S9 elevador de grano, perteneciente a la máquina trituradora, modelo DCV-1000
A1-S1-SB1-PA3- Eslabón	Eslabón, pieza de adquisición externa número 3 del subsistema SB1 Tensor de banda, perteneciente al sistema S1 Dosificador de la máquina trituradora, modelo DCV-1000
A1-N1-P4- Perno Allen 6 mm x 50 mm	Pieza simple número 4, de nivel 1, de la máquina trituradora modelo DCV-1000 llamada Perno Allen 6 mm x 50 mm.

Este código es el nombre del archivo CAD para las piezas simples y los componentes. El archivo CAD del ensamblaje de las piezas compuestas se debe tratar como un sistema o subsistema, dependiendo del nivel, y ser nombrado de la siguiente manera: A2-S3-SB2-PC3-Mecanismo Grashof.

### **2.3. MODELADO CAD USUAL O COMÚN**

En general, el software SolidWorks es usado para realizar el modelado de piezas mecánicas, que resulta ser una representación no funcional, ni fácilmente editable y que tampoco indica nada de su proceso de mecanizado. A continuación se mencionan varios aspectos en relación a esto, en donde se ejemplifica la manera usual de realizar varios procesos, que por lo que se menciona, no son el mejor método para la representación de operaciones de mecanizado en los modelos CAD, sobre todo en relación al significado físico que tiene cada proceso.

Considerando lo descrito en la sección 1.11.1, se puede agregar que SolidWorks cuenta con una opción, que al dar clic sobre el croquis que controla una operación, o sobre esta, se presentan los valores de las cotas (del croquis y/o de la operación), los cuales pueden editarse fácilmente, luego aceptar el cambio y automáticamente se actualiza la geometría de ambos. Esto permite editar la pieza sin acceder al croquis, ni a la operación. Implica un ahorro de tiempo al editar, tal como se presenta en la Fig. 2.2.

Editar un croquis es más difícil entre más cotas, líneas y relaciones geométricas tenga (tangencias, puntos en común y otros).

Para ejemplificar, una manera muy común de dibujar un eje con varios escalones (un escalón se forma en aquellos puntos donde el eje cambia su sección transversal y se prolonga hasta otro cambio de sección a lo largo de su eje. En el caso más simple, el cambio de sección se realiza en un solo punto a lo largo de su eje), es hacer un croquis con la forma final y revolucionarlo. Se representa a cabalidad la pieza, pero no dice nada de su proceso de

mecanizado y debido a la cantidad de elementos presentes en el croquis, su edición se vuelve lenta, tal como se presenta en la Fig. 2.3.

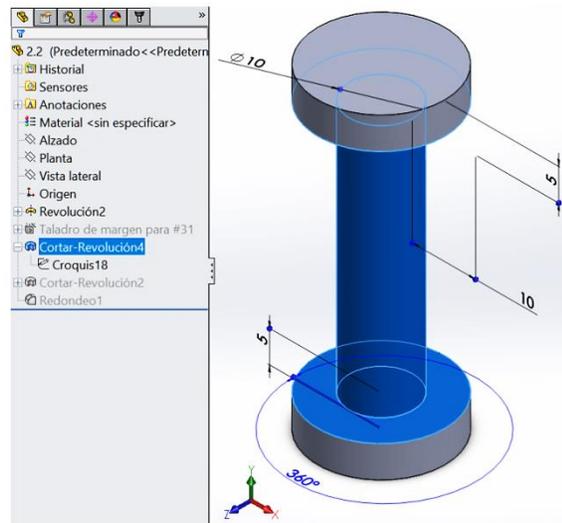


Fig. 2.2. Acotado de un croquis y de una operación. Las cotas negras son las del croquis y las azules las de la operación.

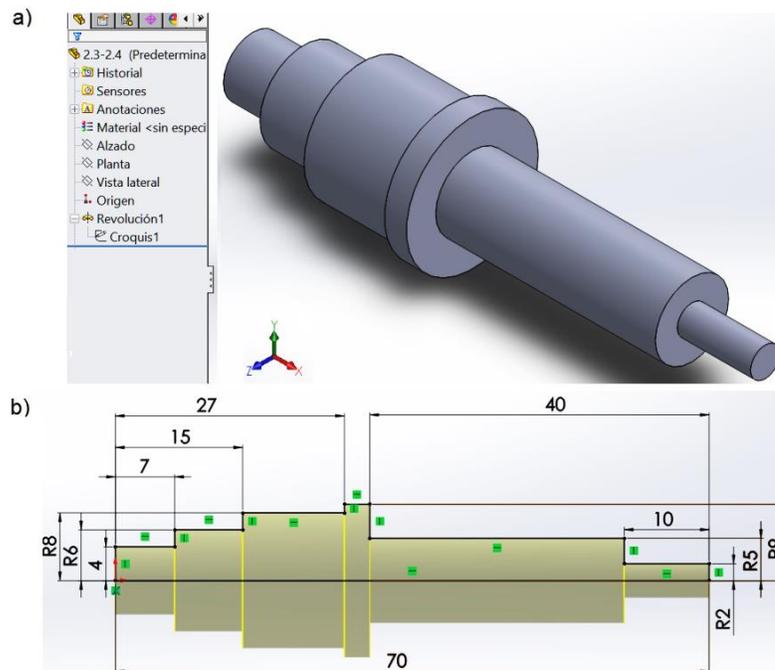


Fig. 2.3. Eje escalonado modelado por una sola operación de revolución del perfil final completo, usando como eje la línea horizontal inferior: a) isométrico y b) croquis.

Otra forma es haciendo extrusiones para crear cada escalón (ver Fig. 2.4). En este caso la edición se facilita, respecto del caso anterior, ya que cada operación controla el largo y el diámetro de un escalón a la vez, pero de manera global la edición se complica, sobre todo cuando se desea eliminar un escalón, por ejemplo, para reutilizar esta pieza como punto de partida para modelar otra parecida.

En el caso de la revolución del perfil completo, al querer eliminar un escalón, deben eliminarse algunas líneas y construir las relaciones geométricas necesarias para que el croquis quede bien definido. En el caso de las extrusiones para cada escalón, si se elimina un escalón que sirve como operación padre de otro, ambos se eliminan (a menos que se usen planos diferentes u operaciones controladas por alguna de las diferentes opciones que ofrece el software para hacer que las operaciones sean independientes. En este caso la longitud de cada escalón queda controlado por la posición relativa del plano, o la opción usada, lo cual también dificulta la edición de manera global).

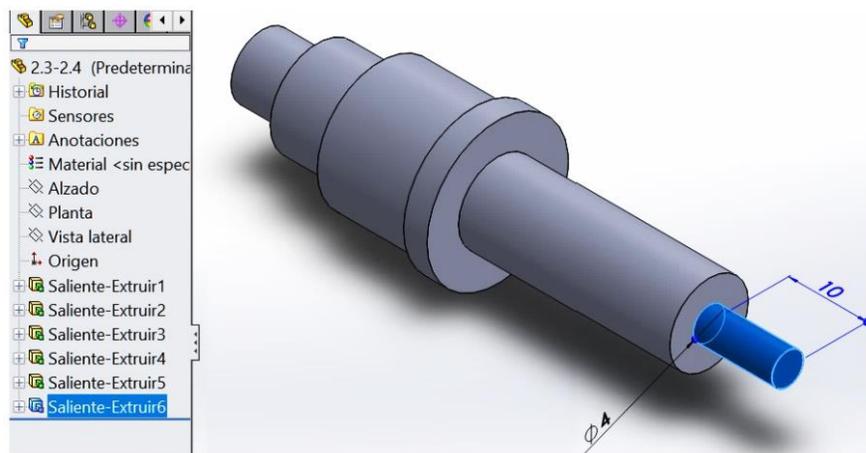


Fig. 2.4. Eje escalonado creado por la extrusión de cada diámetro.

En todos los casos considerados anteriormente, solo se busca representar de alguna manera la pieza, pero no brindar ninguna información en relación a su mecanizado. Evidentemente tampoco tienen significado físico en función del mecanizado. A menos que se tenga una herramienta de forma para torneear un perfil completo de un eje (mecanizado ineficiente, no económico,

imposible, entre otros), dicho perfil nunca puede ser mecanizado en un solo proceso (un cilindrado de forma, una sola revolución). Del mismo modo, para el segundo caso y sus variantes en relación al mecanizado, simplemente no tienen significado físico.

En la Fig. 2.5 se presenta una pieza que se va a modelar de la manera acostumbrada (aunque se use otro método similar, la conclusión que se da al final es casi seguro que mantiene su validez). En las Figs. 2.6 - 2.9 se presentan las operaciones empleadas.

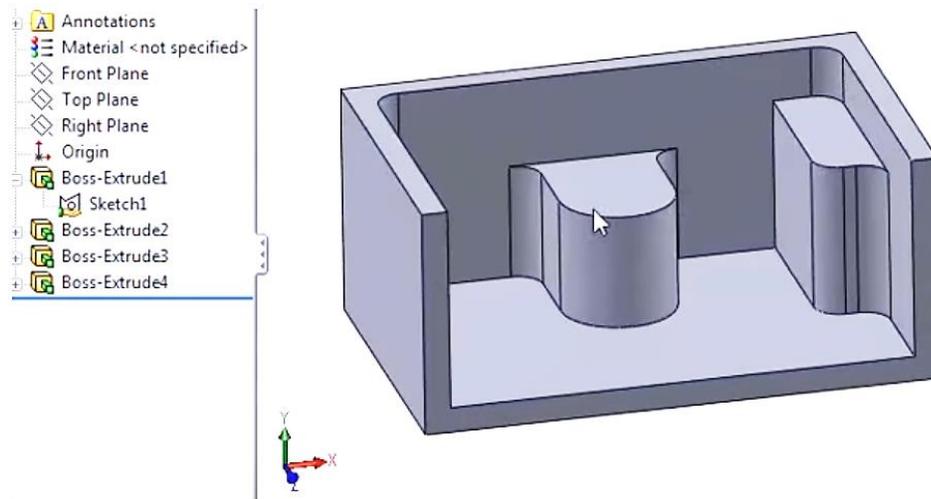


Fig. 2.5. Geometría final de una pieza dibujada mediante un método usual (Callinan, 2014).

En función de la representación de la pieza, es un método válido, pero no aporta nada de información sobre el mecanizado o fabricación de la misma. A menos que sean componentes individuales que se unen por algún método (soldadura, por ejemplo) para formar la pieza, el hecho de agregar volúmenes por medio de la extrusión, no tiene sentido físico.

En la Fig. 2.10 se presenta otro método de dibujar. Se crea el croquis de toda la forma final de la pieza y luego se usa la operación de extrusión para obtener el sólido. A menos que sea una pieza obtenida por fundición, no tiene sentido físico.

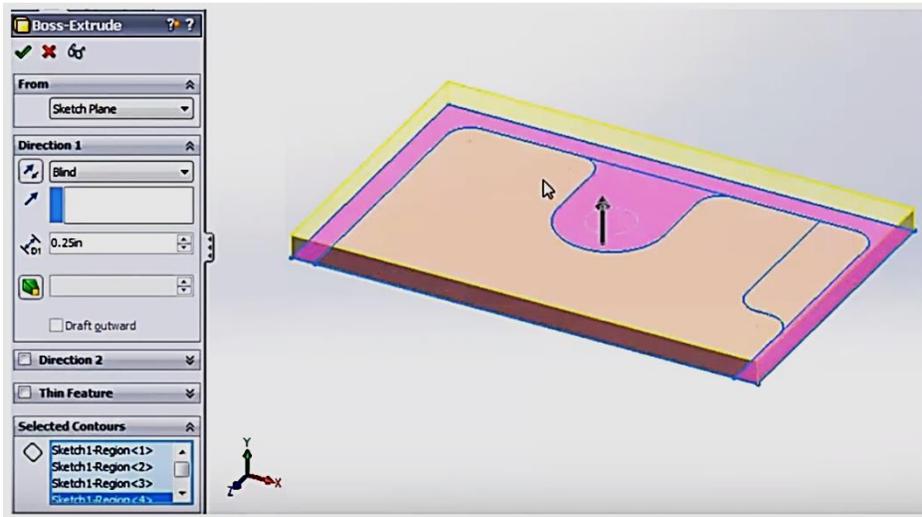


Fig. 2.6. Extrusión de varios contornos para formar una placa (Callinan, 2014).

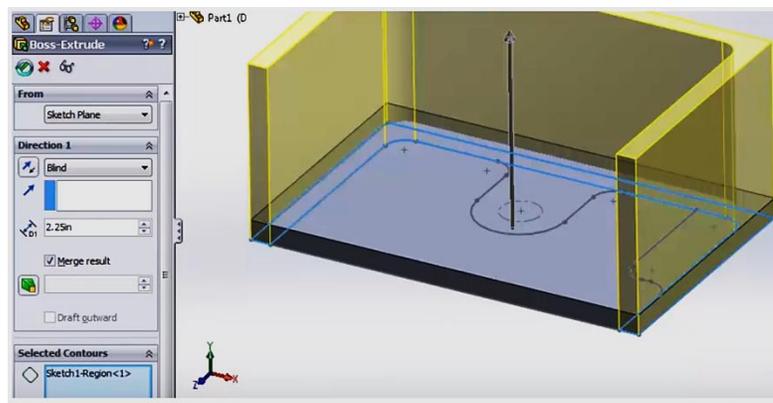


Fig. 2.7. Extrusión de las paredes de la pieza, a partir de un contorno de un croquis (Callinan, 2014).

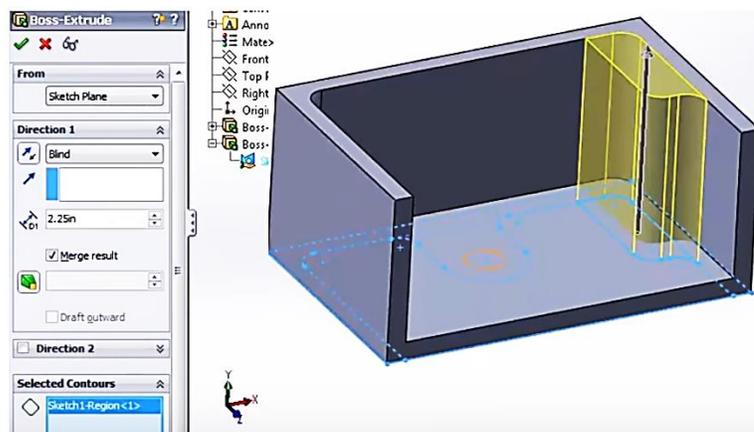


Fig. 2.8. Extrusión de saliente derecha por medio de un contorno tomado de un croquis (Callinan, 2014).

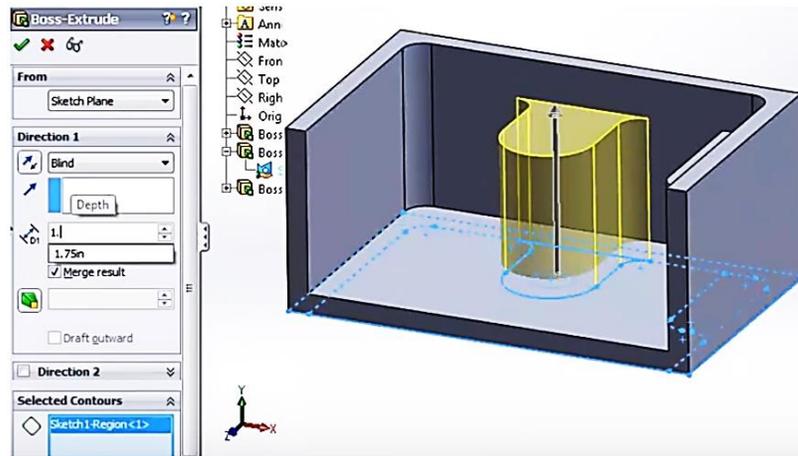


Fig. 2.9. Extrusión de saliente central por medio de un contorno tomado de un croquis (Callinan, 2014).

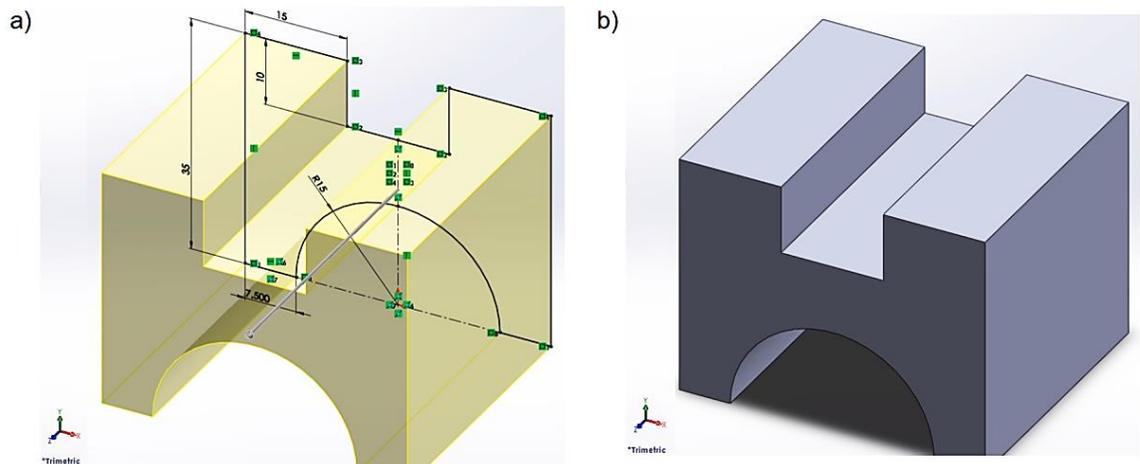


Fig. 2.10. Modelado usual de un sólido: a) Croquis y operación de extrusión y b) Sólido final (Kiley, 2012).

Como se ha ejemplificado hasta aquí, los métodos más comunes, generalizados o usuales de modelado de piezas CAD, solo se centran en representar la pieza, dejando de lado el proceso que se sigue para su fabricación, o mecanizado. Para efectos de representación están bien, pero entorpecen, vuelven lento o imposible un proceso de rediseño eficiente o una reutilización de estos sólidos, como base para otros con características geométricas similares.

## 2.4. FILOSOFÍA Y FUNDAMENTOS DE LA METODOLOGÍA

Con esta metodología se pretende que se representen los procesos de fabricación en los modelos CAD, con énfasis en el mecanizado con arranque de viruta (torneado y fresado, principalmente), que se espera se lleven a cabo para cada una de las piezas. Debe hacerse un uso eficiente de las diferentes características y operaciones que el software brinda, de modo que cada acción realizada (hasta donde sea posible, conveniente o eficiente) represente un proceso de mecanizado (cada acción realizada debe tener un significado físico para poder representar las operaciones de mecanizado). Los croquis y las operaciones deben realizarse de modo que sean fácilmente editables, simples y que solo controlen una operación a la vez, como se hace durante el mecanizado: una operación a la vez.

Es un hecho que es más fácil editar operaciones (matrices, simetrías, entre otros) que croquis en SolidWorks, en especial cuando los croquis que controlan las operaciones son independientes unos de otros o las interrelaciones o dependencias son sencillas y fácilmente se pueden editar.

La operación base de un modelo CAD de una pieza debe ser la que forme el stock o material en bruto de la cual la pieza se mecaniza individualmente. Al stock se le deben realizar las operaciones que representen el proceso de mecanizado con arranque de viruta hasta formar la pieza (ver sección 1.5). A continuación se debe redibujar el stock para efectos de la programación CAM del mecanizado. A partir del proceso iterativo del diseño CAD/CAM, surgirán los requerimientos para el stock que se redibuja, pudiendo ser el mismo, uno diferente o incluso dos (el original más uno diferente).

El uso de planos, matrices o simetrías de operación, entre otros, ayudan a representar a cabalidad los procesos de mecanizado. Por ejemplo, nunca se obtiene una geometría final de una sola vez (considérese el mecanizado de engranes con fresas modulares), algunas piezas son simétricas, para el torneado excéntrico los planos de revolución no incluyen al eje de la pieza, entre otros

Siempre se debe dibujar sobre un plano o cara, de modo que tenga significado físico. Por ejemplo, un plano puede resultar de los movimientos relativos de la pieza y la herramienta: el plano tiene significado físico. Deben usarse planos con significado físico para modelar piezas y representar sus procesos de mecanizado (lo mismo debe aplicarse para los ejes de las revoluciones).

Uniformizar el uso de piezas iguales en diferentes modelos o tipos de máquinas, a la larga sale más barato que estar rediseñando, reprogramando las máquinas con CNC, cortando stock y mecanizando piezas diferentes y en pocas cantidades. En otras palabras, es preferible usar una misma pieza en diferentes máquinas (a lo mejor sobredimensionada para alguna de ellas), que modificar o crear un nuevo proceso productivo, ya que lo único que se debe hacer, es solo aumentar el número de piezas mecanizadas a un proceso existente.

Al diseñar las piezas, se deben tomar en cuenta las características de las máquinas herramientas y del proceso productivo, para aportar eficiencia al mismo. Debe buscarse incluir la ingeniería del proceso, la fabricación y montaje. Además debe establecerse una manera fácil y eficiente entre las funciones de un sistema CAD (ver sección 1.4 y 1.5).

Antes de comenzar a dibujar un modelo CAD, debe tenerse muy clara la estrategia de mecanizado a usar, para poder representarla adecuadamente.

Siempre se debe buscar la manera de realizar croquis independientes para diferentes operaciones, aun cuando todas aporten al modelado CAD de la misma pieza.

Cuando se desee realizar a una pieza una edición o reutilización, se debe pensar en función de las operaciones del modelado CAD (que representan los procesos de mecanizado). Si una operación es innecesaria para una pieza, que solo por eso se diferencia de la que se usa como punto de partida o borrador a nivel CAD, entonces solo se elimina en el modelo (no se hace la operación de mecanizado: no se hace ese cilindrado, no se hace ese tronzado, entre otros). Si el croquis que controla dicha operación es

independiente de los otros, no se genera ningún problema, eliminándose fácilmente y creando una nueva pieza en pocos segundos.

La máquina, sus sistemas, subsistemas y piezas compuestas, deben ensamblarse en el modelo CAD como se haría en la realidad. De acuerdo a esto, el orden para exportar los modelos de las piezas a un ensamblaje, es muy importante, sin embargo pueden realizarse adecuaciones menores para facilitar la manipulación de los archivos. Si el último caso se da y se considera que es necesario, debe aclararse la razón en la documentación de la máquina, en una sección llamada notas generales al diseño.

Hasta donde sea posible, práctico o eficiente, deben usarse relaciones paramétricas y funciones para la descripción y modelado de la geometría interna de una pieza, geometría entre piezas, sistemas, piezas compuestas y la máquina en general.

## **2.5. METODOLOGÍA PARA LA REPRESENTACIÓN DE LOS PROCESOS DE MECANIZADO EN EL MODELADO CAD**

En esta sección se da una introducción a la implementación de la metodología. Se profundiza en el análisis hasta donde el caso general lo requiera. En un primer ejemplo, se presenta la manera de dibujar el modelo CAD de una pieza cilíndrica, con la geometría final presentada en la Fig. 2.11.

Existen diferentes estrategias para el mecanizado en el torno, de las cuales se presentan dos y luego se analizan. En las Figs. 2.12 - 2.23 se presenta la estrategia uno y en las Figs. 2.24 – 2.28 las estrategia dos.

La estrategia número uno para el mecanizado es:

- Como trabajar cerca del plato del torno se vuelve incómodo y peligroso, se decide que se va a cortar el material (stock) de 111 mm de largo y de diámetro 24 mm, el cual alcanza para mecanizar dos piezas. El stock se monta en el plato, dejando fuera de éste 76 mm lo cual cumple con la regla que se usa normalmente que dice que para

evitar que la pieza vibre y por seguridad, no debe quedar salida más de tres veces el diámetro de la pieza (Fig. 2.12).

- A continuación se procede a realizar el refrentado de la pieza. Se considera que se ha realizado un buen corte, de modo que el largo total a refrentar no excede 2 mm, ver Fig. 2.13.
- Para mecanizar los agujeros, primero se hace una guía con una broca de centro #3. Luego se realiza el taladrado con la broca de 6 mm de diámetro hasta una profundidad mayor que 50 mm. Por último, se perfora con la broca de 10 mm de diámetro hasta una profundidad de 25 mm, tal como se presenta en las Figs. 2.14 - 2.16.
- Se realiza el cilindrado para dejar un diámetro final de 22 mm, la longitud total de éste se lleva hasta 63 mm desde la cara refrentada (ver Fig. 2.17). Se mecaniza el escalón de 19 mm de diámetro y longitud total de 25 mm (ver Fig. 2.18). Se realiza el cilindrado para formar el escalón de 14 mm de diámetro y longitud total de 14 mm, ver Fig. 2.19.
- Se desmonta la pieza, se gira y luego se realiza el mismo proceso para la segunda (ver Fig. 2.20).
- Se realiza un tronzado, dejando exceso para refrentar en ambas piezas (ver Fig. 2.21).
- Por último se les realiza un refrentado para dejar la longitud final a cada pieza y emparejar la cara tronzada (ver Fig. 2.22).

En la Fig. 2.13, nótese que por dibujar un rectángulo, se debe usar el radio del stock. Además, la línea inferior tiene una relación de posición punto medio con el origen (centro de la pieza) y es el eje de la operación. La medida de importancia para la representación de este proceso son los 2 mm, el largo del refrentado. El radio 25 mm y el largo 13 mm solo sirven para dejar el croquis completamente definido, basta que permitan darle sentido físico a la operación; es decir, que se corte el material en todo su diámetro y con el largo exacto de refrentado. Además, en el torno la pieza es la que gira, pero en el software CAD eso es imposible de representar, sin embargo girar la herramienta y mantener la

pieza fija, físicamente provoca el mismo resultado, y esto si puede representarse en el modelado CAD.

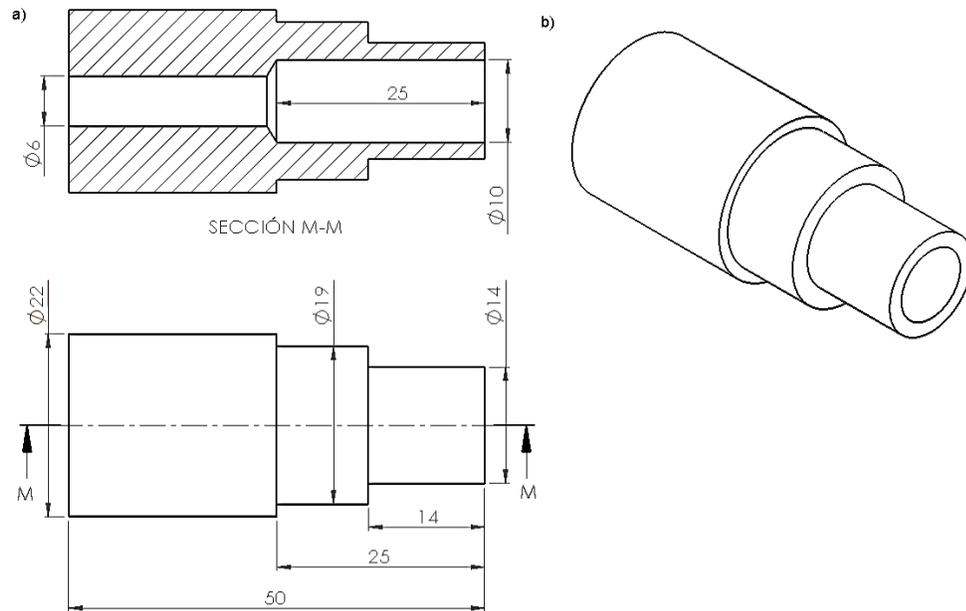


Fig. 2.11. Primer ejemplo: a) vistas de la pieza y b) isométrico de la pieza. Cotas en mm.

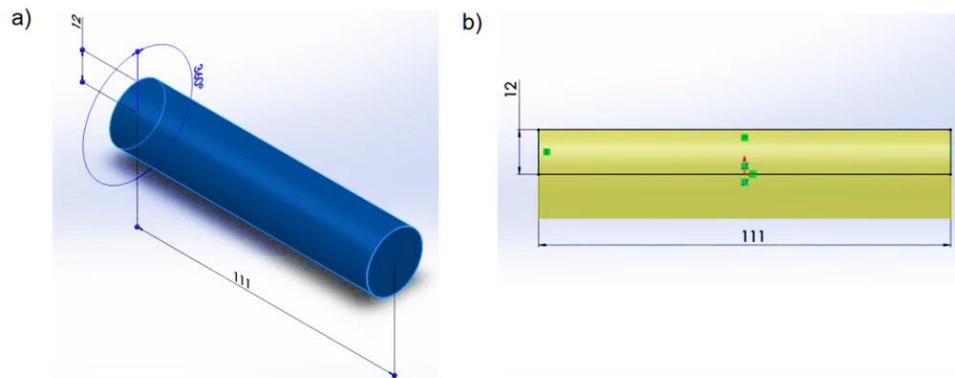


Fig. 2.12. Primer ejemplo: a) revolución para stock y b) detalle del croquis.

En las Figs. 2.14 – 2.16, debe observarse que se usa la operación de taladro, y no una extrusión o revolución (que para efectos de representación sería válida), esto es, debido al sentido físico que representa hacerlo de esta manera y no de otra.

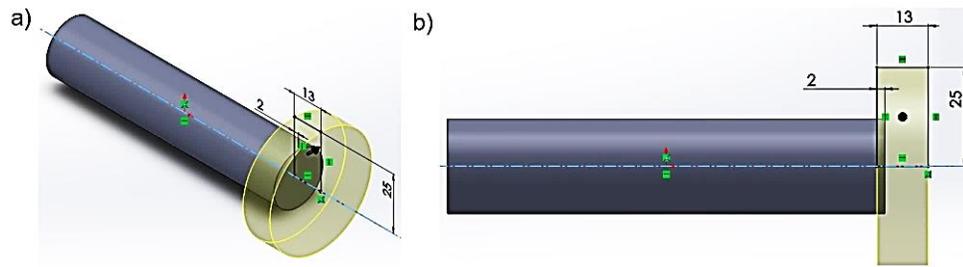


Fig. 2.13. Primer ejemplo: a) refrentado y b) cotas de medidas del croquis.

También, se debe observar que el largo del primer cilindrado, es mayor que el de la pieza (ver Fig. 2.17), y exacto para cada escalón, incluso el diámetro respectivo. Las medidas 6, 10 y 7 mm solo sirven para dejar el croquis completamente definido (ver Figs. 2.17 - 2.19, respectivamente), y existe una coincidencia de todos los croquis con el extremo refrentado que se hace evidente en el literal b. Cada operación de refrentado y cilindrado ha sido croquizada en el plano alzado, de modo que sea independiente de las otras. El taladrado esta sobre la cara refrentada.

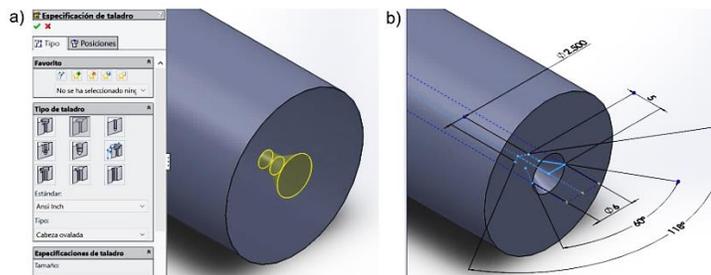


Fig. 2.14. Primer ejemplo: a) taladrado con broca centro #3 y b) cotas.

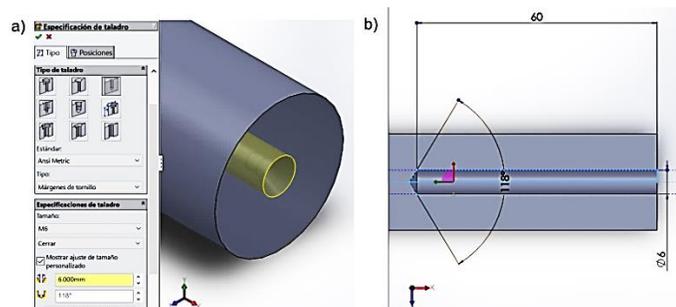


Fig. 2.15. Primer ejemplo: a) taladrado de diámetro 6 mm y b) medidas.

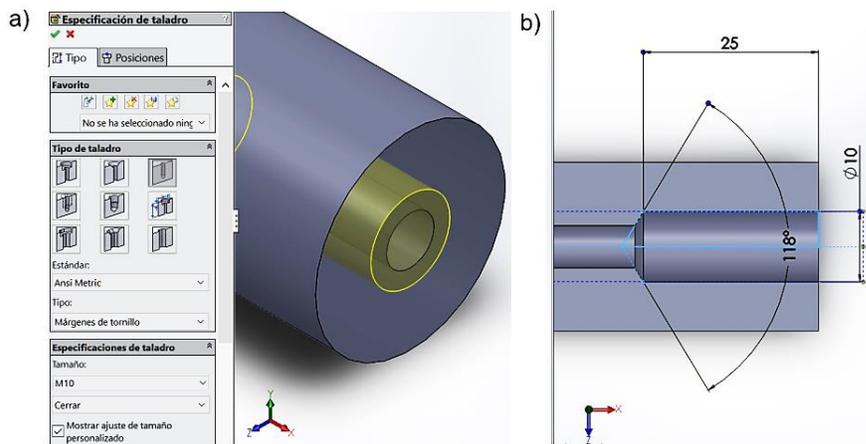


Fig. 2.16. Primer ejemplo: a) taladrado de diámetro 10 mm y b) detalle de cotas.

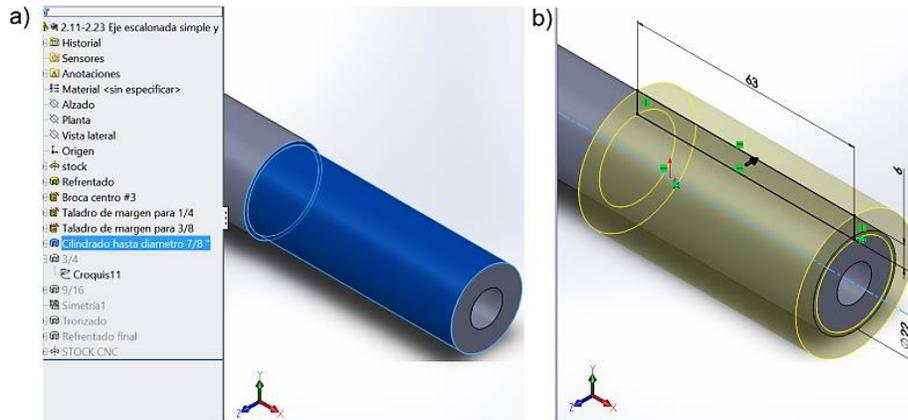


Fig. 2.17. Primer ejemplo: a) revolución para escalón de diámetro 22 mm y b) detalle del croquis.

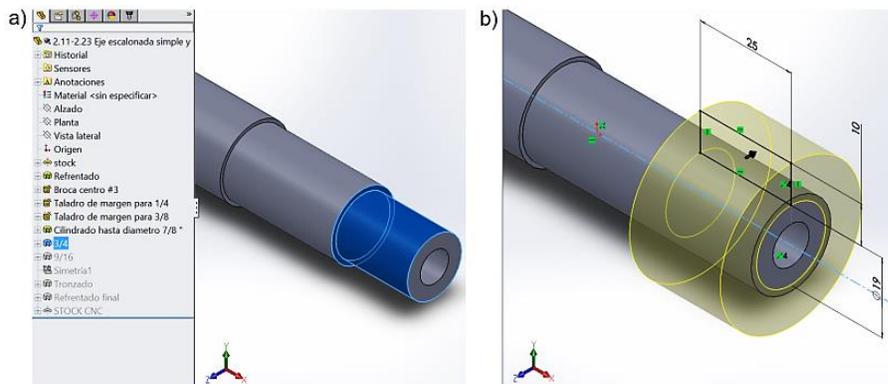


Fig. 2.18. Primer ejemplo: a) escalón de diámetro 19 mm y b) cotas del croquis.

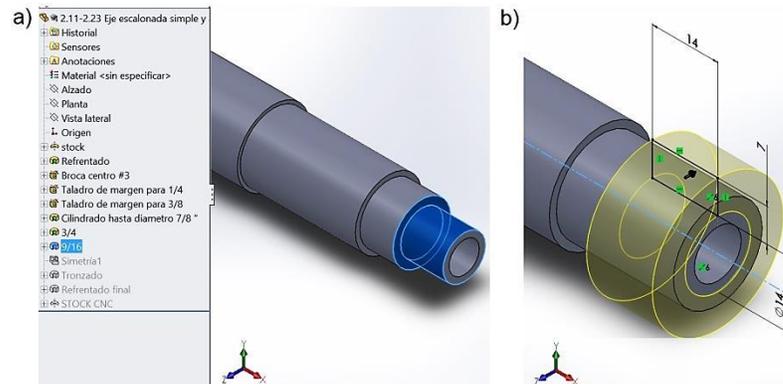


Fig. 2.19. Primer ejemplo a) escalón de diámetro 14 mm y b) detalle de croquis.

La operación de la Fig. 2.20 es consecuencia de la estrategia de mecanizado, se realiza respecto del plano lateral, tomando en cuenta lo establecido para la Fig. 2.12.

En la Fig. 2.21 se observan las medidas del largo de ambas piezas, antes del refrentado final. Además, para efecto de representación de solo una pieza, se elige únicamente el sólido 2, que se genera como consecuencia de la operación de tronzado. También se debe notar como el software indica la existencia de más de un sólido en el archivo CAD, por medio del color diferente del modelo.

En la Fig. 2.22 se observan las medidas finales de la pieza mecanizada, después del refrentado final.

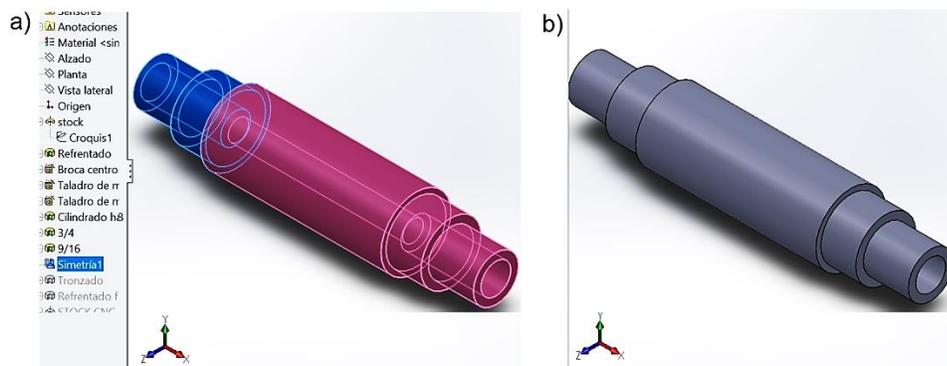
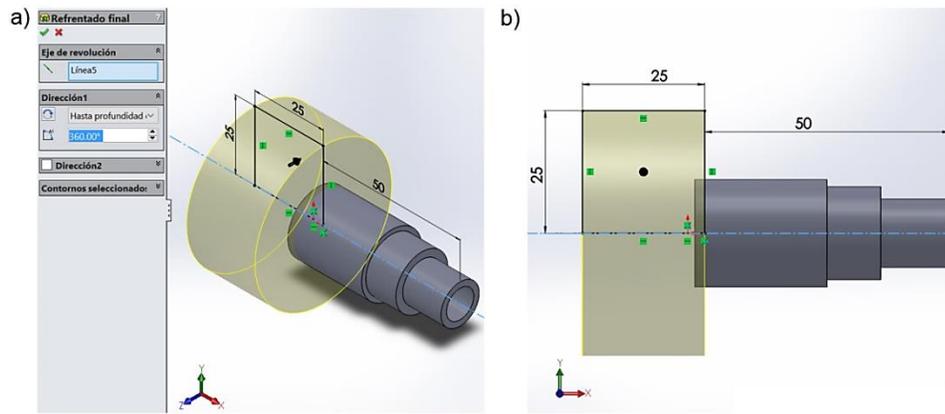
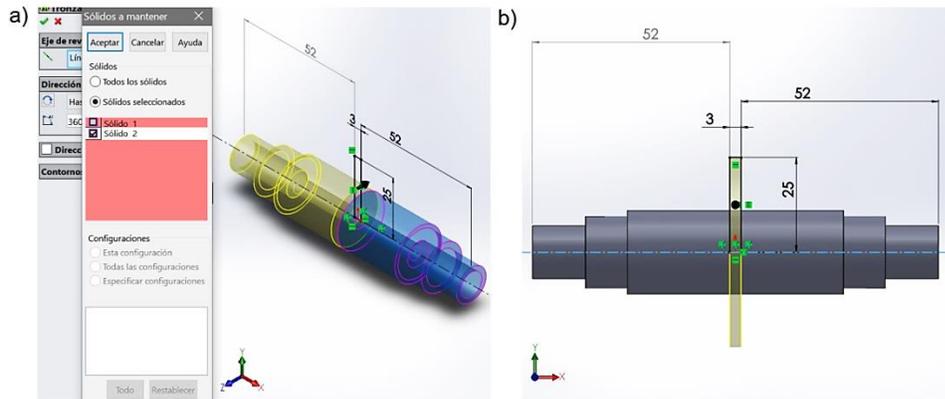
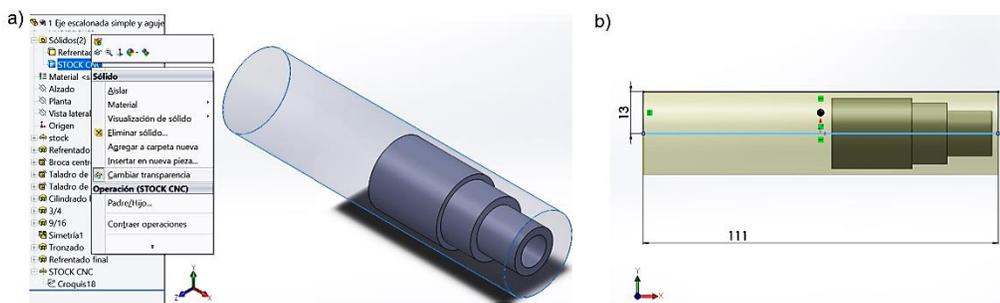


Fig. 2.20. Primer ejemplo: a) simetría para representar dos piezas en un stock y b) isométrico de las piezas.



Después de haber terminado todas las operaciones para representar el mecanizado de la pieza, se debe redibujar el stock, en función de la estrategia de mecanizado (ver Fig. 2.23), siendo en este caso igual al del inicio.



En la operación del stock final se ha desmarcado la casilla fusionar resultado de modo que este sea un segundo sólido. Además, se ha seleccionado la opción cambiar transparencia para lograr la representación mostrada.

Esta estrategia uno toma sentido cuando se tienen ciertas nociones de mecanizado en el torno (como puede inferirse, de uno en específico, sin embargo el análisis es válido para otro torno que permita las mismas operaciones). En este proceso, se piensa en función de dos piezas y la ejecución del proceso finaliza cuando se han completado ambas. En la Fig. 2.20 se observa como se ha representado en el modelo CAD la estrategia. Es interesante notar que solo con la elección de punto medio de la Fig. 2.12 la simetría no agrega dificultad al modelado, y fácilmente se logra lo que este trabajo pretende. Como resultado final se ha modelado una sola pieza, pero para efectos del mecanizado, se ha dejado implícita la estrategia.

El proceso para la estrategia número dos de mecanizado es:

- Se decide que se va a montar en el plato, una barra larga de modo que alcance para mecanizar varias piezas (diez, por ejemplo). Se dejan fuera de este 76 mm. Se usan los mismos razonamientos ya descritos para la estrategia uno (ver Fig. 2.24), incluso varios procesos se consideran similares, como se hace notorio luego.
- Se realiza el refrentado de la pieza. El largo total a refrentar no excede 2 mm, ver Fig. 2.25.
- Se hace una guía para agujero con una broca de centro #3. Luego se realiza el taladrado con la broca de diámetro 6 mm hasta una profundidad mayor de 50 mm. Después se perfora con la broca de diámetro 10 mm hasta una profundidad de 25 mm. Estas operaciones no se muestran, son iguales que para la estrategia uno.
- Se realiza el cilindrado con diámetro de 22 mm, la longitud total de éste se lleva hasta 56 mm desde la cara refrentada (ver Fig. 2.26). Se mecaniza el escalón de diámetro 19 mm y longitud total 25 mm. Se realiza el cilindrado para formar el escalón de diámetro 14 mm y

longitud de 14 mm. Estos dos últimos procesos son iguales que para la primera estrategia, no se muestran.

- Se realiza un tronzado, dejando exceso para refrentar en ambas piezas (ver Fig. 2.27).
- Por último, se monta la pieza nuevamente y se realiza un refrentado para dejar la longitud final a la pieza y emparejar la cara tronzada (ver Fig. 2.28).

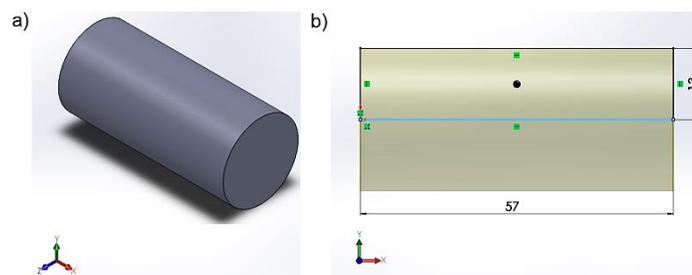


Fig. 2.24. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) stock inicial y b) detalle del croquis.

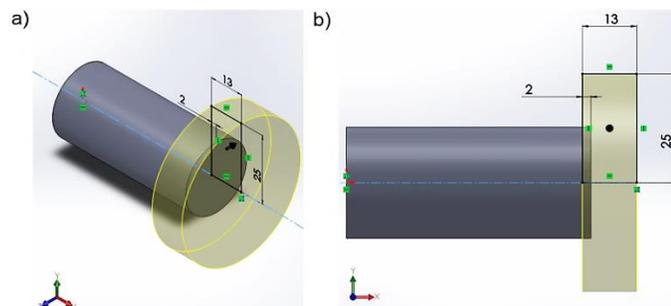


Fig. 2.25. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) refrentado y b) cotas del croquis.

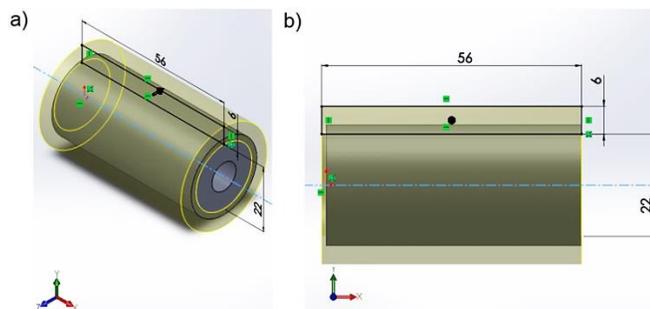


Fig. 2.26. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) operación de cilindrado y b) cotas del croquis de la operación.

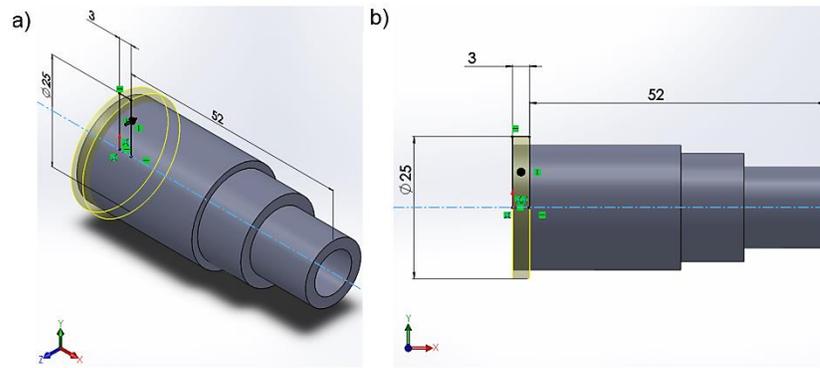


Fig. 2.27. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) tronzado y b) cotas.

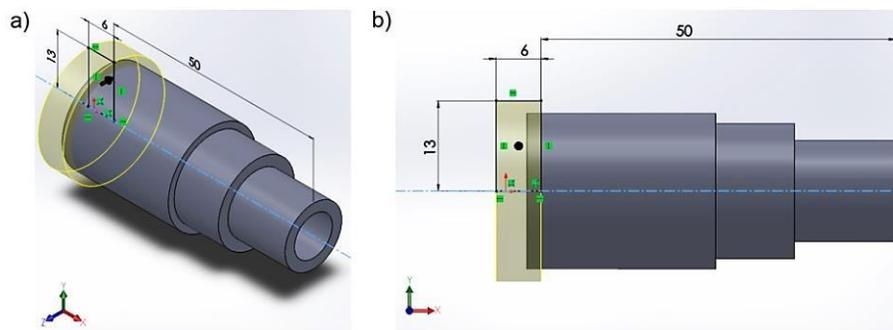


Fig. 2.28. Primer ejemplo. Estrategia 2: a) refrentado final y b) cotas.

Se puede observar que el largo del stock, toma en cuenta el largo total de la pieza, un ancho de cuchilla de tronzado de 3 mm y refrentado a ambos lado de 2 mm (ver procedimiento de la estrategia de mecanizado número dos). La operación de simetría ya no se realiza, en su lugar se hace el tronzado de la pieza como se presenta en la Fig. 2.27, en otras palabras, ya no se le da vuelta al stock y se mecaniza la otra pieza antes de tronzarlas, si no que se corta, se le da vuelta y se monta para refrentar.

La segunda estrategia de mecanizado en el torno se puede describir como la más flexible, en el sentido que no se limita a pensar en términos de dos piezas para cerrar un bucle antes que otro se repita (fabricación en serie), si no que se puede pensar en función de la repetición indefinida de un mecanizado, o limitarlo a un lote con número finito de piezas.

En relación al tamaño del stock, existe un pequeño ahorro de longitud de material con respecto a la primera estrategia de mecanizado. Si se piensa en

función de miles de piezas, representa un ahorro significativo. Dependiendo de cada situación particular, este ahorro puede ser engañoso en relación al trabajo total para mecanizar las piezas. Por ejemplo, el hecho de realizar cortes para el stock de la estrategia uno involucra trabajo y un ancho de la herramienta con que se corta (disco, sierra, entre otros).

En las dos estrategias de mecanizado, se han tomado en consideración todos los procesos, pero es de notar algo: como los croquis de los cilindrados tienen coincidencia con el extremo refrentado, éste último, para efectos del modelado CAD, se vuelve una operación padre (y no hay manera de evitar esto, aun considerando otras opciones). Esto no es conveniente para efectos de edición CAD, e incluso puede volverse innecesario debido a que el refrentado en un proceso de torneado siempre debe realizarse, por obvias razones.

Se establece aquí lo siguiente: "El proceso de refrentado no se debe representar en el modelo CAD, a menos que sea estrictamente necesario, debido a que es una operación que siempre se realiza en el torneado y para evitar generar una operación padre".

Aun cuando el refrentado no se tome en consideración en la representación de la estrategia de mecanizado, si debe considerarse siempre en el redibujado del stock.

Representar el stock en el modelo CAD tiene doble propósito: dejarlo listo para ser señalado durante una posible programación del mecanizado con un software CAM y permitir una estimación real de los costos de material para una pieza, en función de la estrategia. Se establece que: "El cálculo de los costos de material para el mecanizado de una pieza siempre debe hacerse en función del stock y no de la geometría final de esta".

Adicionalmente a las consideraciones ya hechas para ambas estrategias, pueden surgir muchas más, por ejemplo, en función de optimizar el proceso. A continuación se presentan algunos ejemplos:

- En un torno convencional, uno con CNC o un centro de torneado básico, siempre existe la necesidad del refrentado final debido a que la pieza cede por flexión antes que la cuchilla de tronzado logre llegar al

centro (o eje de revolución) y queda una protuberancia en la cara. Esta necesidad puede eliminarse mediante el uso de un centro de torneado con doble husillo, de modo que la pieza pueda ser sostenida durante el tronzado y evite la generación de la protuberancia, o alguna técnica que genere el mismo efecto.

- Usar un doble husillo implica también un ahorro en la longitud de refrentado final, por lo que en términos de costos de material se logra una optimización del proceso.
- La primera estrategia de mecanizado parece más razonable para aplicarse en el torno convencional. La número dos puede ser más adecuada para un torno CNC o centro de torneado, porque debido a los movimientos precisos de la herramienta cerca del plato, el peligro de choque disminuye, pudiendo incluso disminuirse la longitud en voladizo fuera del plato del material.
- Se logra una gran optimización de la estrategia dos, en un centro de torneado con sistema Feed bar (por su nombre en inglés, o alimentador de barra). El plato abre las mordazas lo suficiente para que este mecanismo alimentador empuje el material hacia adelante, automáticamente se cierran las mordazas y el mecanizado de la nueva pieza comienza.
- La optimización máxima de la segunda estrategia se logra en un centro de torneado con doble husillo y sistema Feed bar.

Se presenta un segundo ejemplo, donde se consideran situaciones adicionales en relación a la estrategia de mecanizado, los procesos y el modelado CAD. La estrategia de mecanizado se deja implícita en la información que las Figs. 2.29 - 2.39 presentan.

En este ejemplo se representa una pieza de un perfil relativamente complejo. Si se decidiera realizar una sola revolución, la cantidad de líneas, relaciones geométricas y cotas en el croquis sería bastante grande. Además, tanto modelarlo como también editarlo representaría un reto considerable.

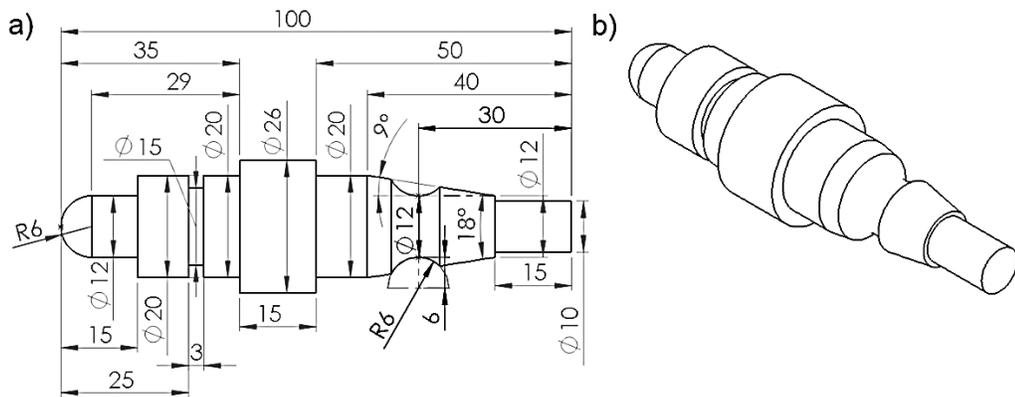


Fig. 2.29. Segundo ejemplo: a) cotas en mm y b) modelo final.

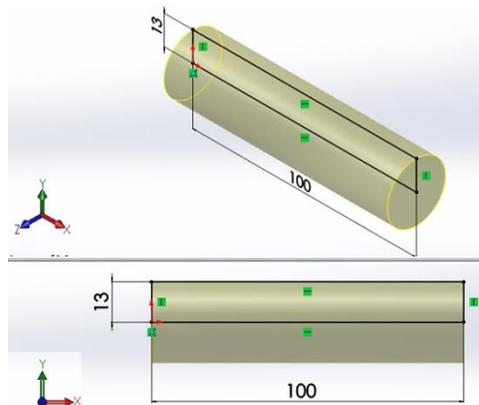


Fig. 2.30. Segundo ejemplo. Operación padre: stock inicial.

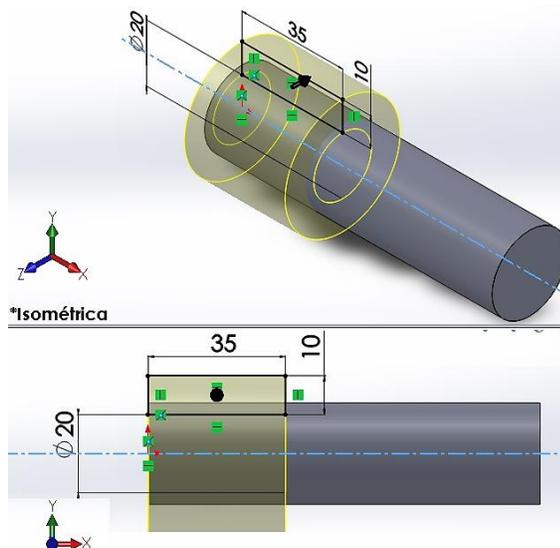


Fig. 2.31. Segundo ejemplo. Cilindrado izquierdo.

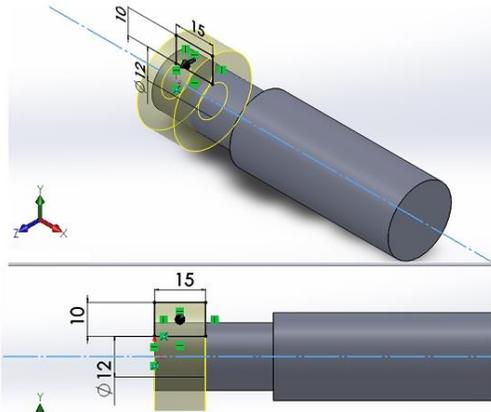


Fig. 2.32. Segundo ejemplo. Escalón izquierdo.

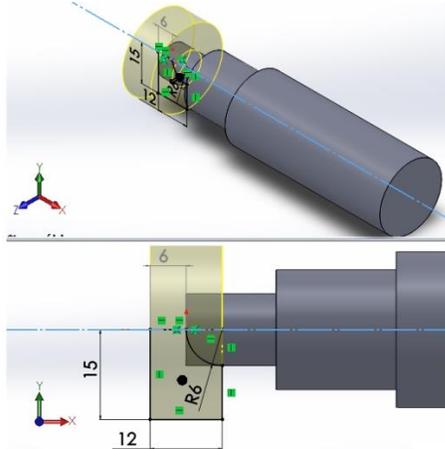


Fig. 2.33. Segundo ejemplo. Cilindrado de forma positiva.

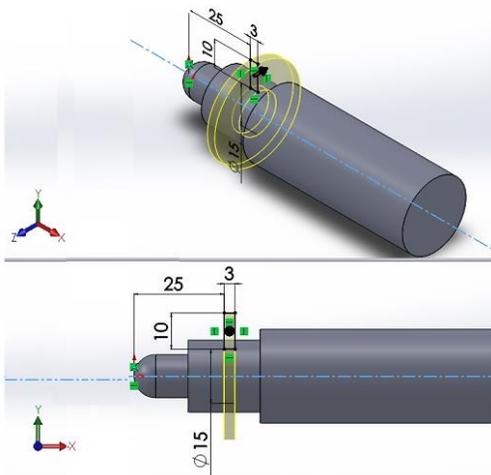


Fig. 2.34. Segundo ejemplo. Ranurado.

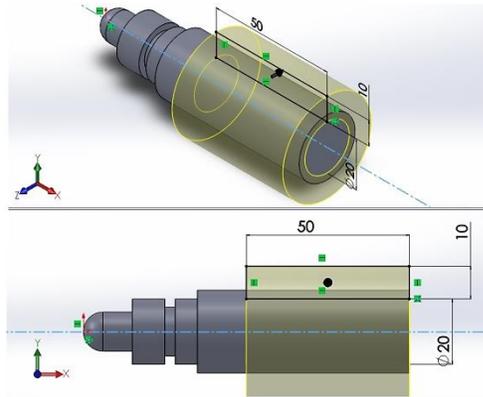


Fig. 2.35. Segundo ejemplo. Cilindrado lado derecho.

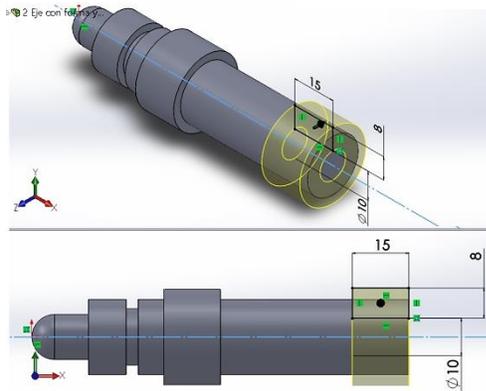


Fig. 2.36. Segundo ejemplo. Escalón derecho.

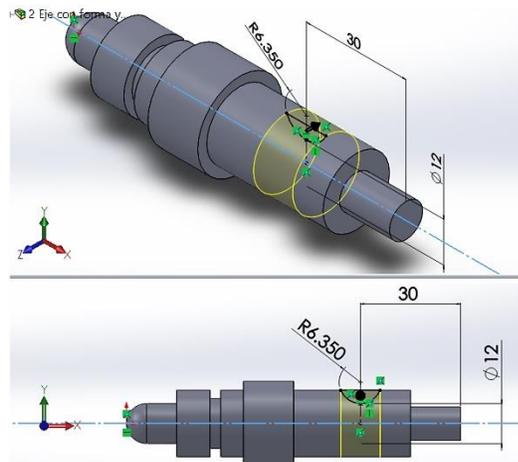


Fig. 2.37. Segundo ejemplo. Cilindrado de forma negativa.

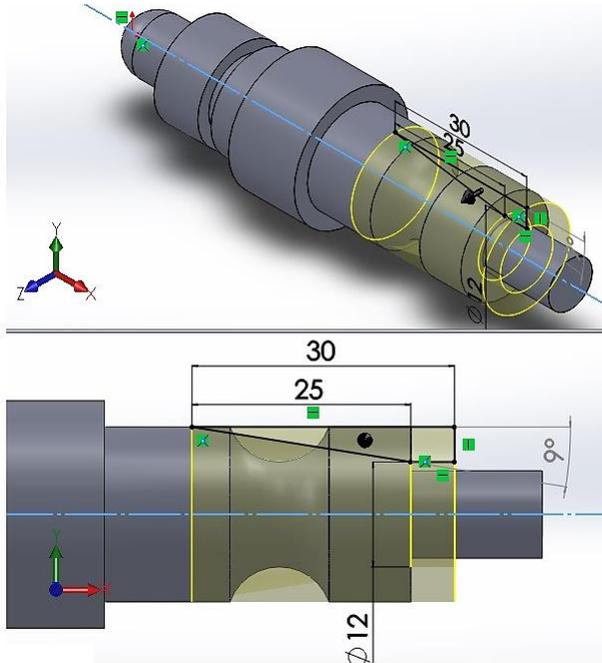


Fig. 2.38. Segundo ejemplo. Cono externo.

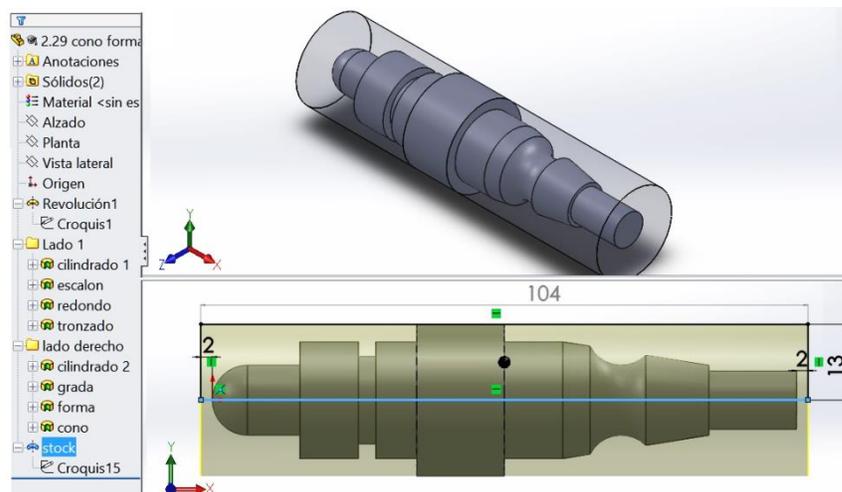


Fig. 2.39. Segundo ejemplo. Stock final.

Así como se ha procedido, representando una operación a la vez, se facilita el modelado. Además se entiende, por ejemplo que la forma redondeada que contiene la parte cónica es producto de un cilindrado de forma negativa, que luego ha sido modificada en parte por el cilindrado cónico, ver Figs. 2.37 y

2.38. Del mismo modo, en la Fig. 2.33 se presenta como la forma redonda se ha mecanizado con una herramienta que contiene el perfil requerido.

Se debe observar como para operaciones de ranurado (recto, de forma negativa, entre otros) el diámetro final es el relevante, debido a la facilidad de medirlo durante el mecanizado y verificación, así como la ubicación de la pared o el centro de la forma.

En este ejemplo ya no se ha representado el refrentado, pero se han considerado en el stock final, dejando 2 mm a cada lado. Esta estrategia solo es una de varias que pueden aplicarse, puede cambiarse el orden de las operaciones, por ejemplo. En lo que respecta al stock, éste debe ajustarse, de preferencia, al material que se encuentra en el mercado y si es necesario se debe aplicar un cilindrado para llevarlo hasta el diámetro mayor de la pieza y obtener un acabado superficial aceptable (si es requerido). En el modelo CAD esto es posible de representarse, pero considerando lo descrito para el refrentado, solo se lograría hacer una operación padre en algunos casos, en otros no. En el modelo CAD, entonces, queda a libertad de representarse o no, considerando lo anterior. Al igual que para el refrentado, en el modelo del stock final debe quedar representado. Como consecuencia de esto, entre el modelo inicial y final del stock, puede haber diferencias. Debe recordarse que el modelo final del stock es el que representa la geometría del material en bruto para el mecanizado de las piezas.

En un tercer ejemplo se considera el torneado excéntrico y el taladrado de más de un agujero. La estrategia queda implícita en las Figs. 2.40 - 2.70.

Antes de iniciar, se establece lo siguiente: "aun cuando físicamente los taladrados se realizan uno a la vez, para efectos del modelado CAD conviene agruparlos de acuerdo al mismo diámetro o tipo de taladrado".

Para las operaciones de la Fig. 2.41, se procede como ya se ha indicado para cada una de ellas.

Las Figs. 2.42 - 2.44 presentan la creación de un plano que contiene al eje de revolución de la pieza para el ranurado excéntrico (ver Fig. 1.13). El croquis para la revolución excéntrica, ha sido dibujado sobre el plano creado, ya

no sobre el plano alzado. Nótese como esto da sentido físico a la operación (ver Figs. 2.43 - 2.45).

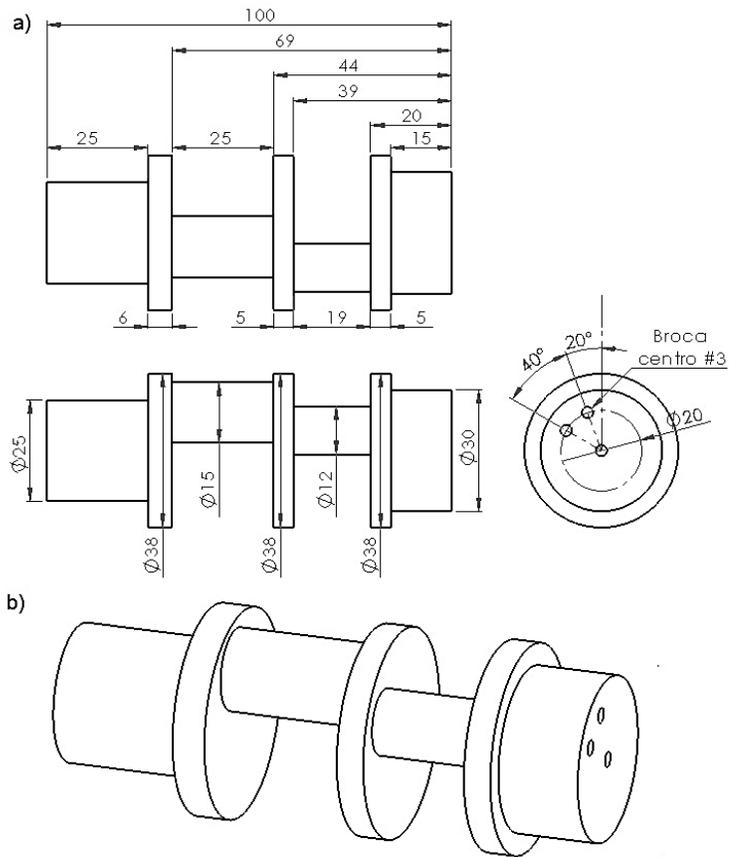


Fig. 2.40. Tercer ejemplo: a) cotas de la geometría en mm y b) modelo.

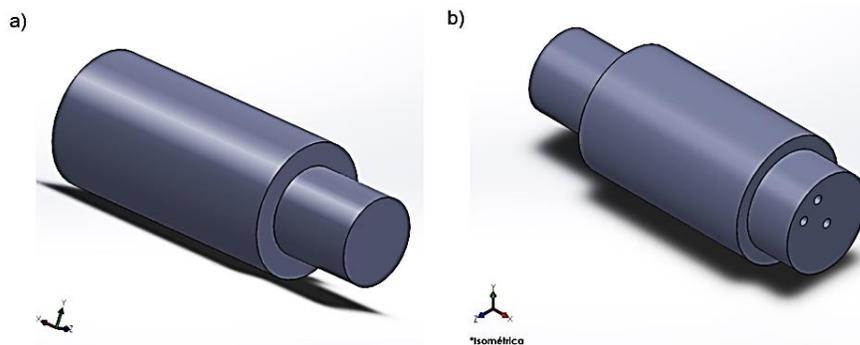


Fig. 2.41. Tercer ejemplo a) Escalón izquierdo y b) Escalón derecho y taladrado de grupo de agujeros de igual diámetro.

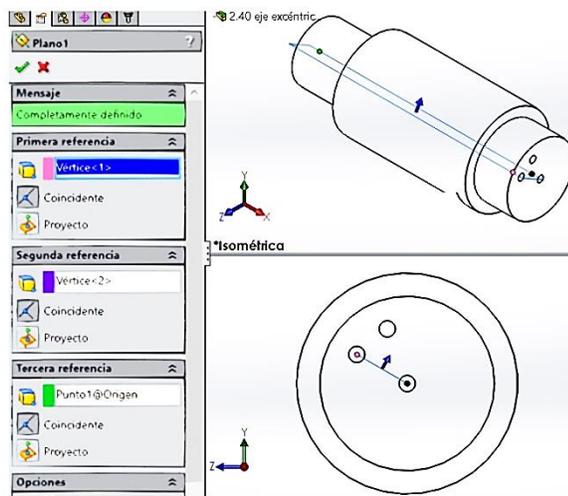


Fig. 2.42. Tercer ejemplo. Plano para la operación excéntrica.

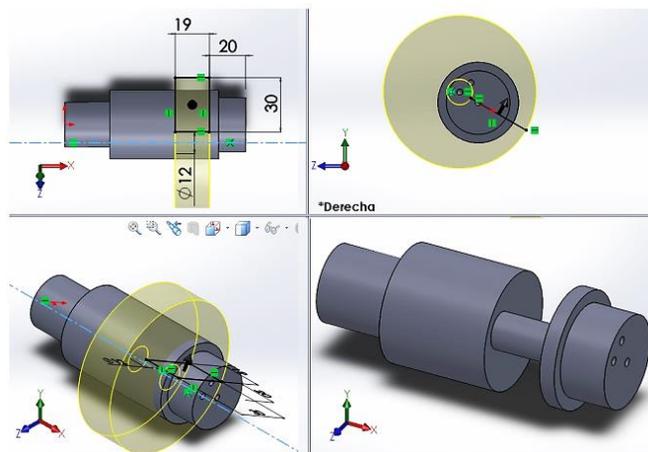


Fig. 2.43. Tercer ejemplo. Revolución excéntrica.

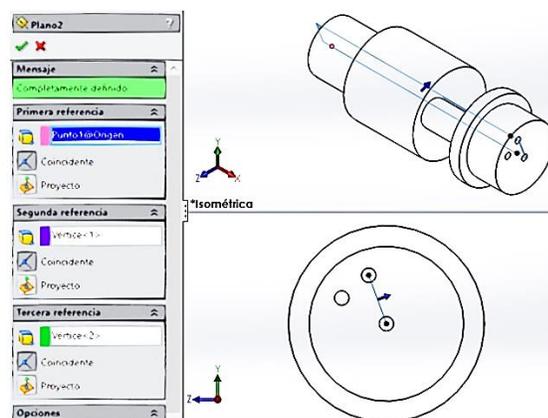


Fig. 2.44. Tercer ejemplo. Plano para segunda operación excéntrica.

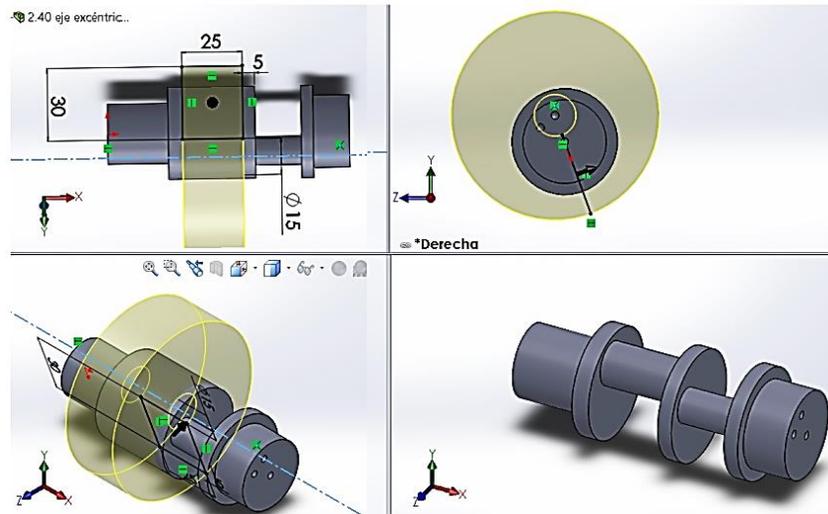


Fig. 2.45. Tercer ejemplo. Revolución de segunda excéntrica.

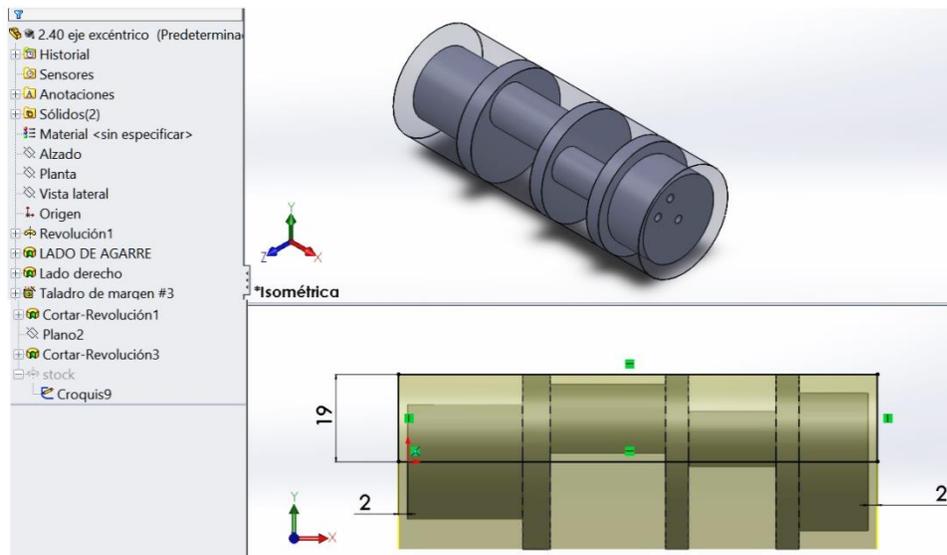


Fig. 2.46. Tercer ejemplo. Modelo final y stock.

El cuarto ejemplo describe el caso de una pieza que debe mecanizarse en el torno y en la fresadora. El roscado externo de la pieza se puede realizar con terraja o en el torno. El hecho de modelar una ranura de 5 mm de ancho indica que se hace en el torno, ya que ésta sirve de desahogo para evitar que la herramienta choque contra la pared. La necesidad de la broca de centrar se manifiesta en el momento de realizar el fresado.

En las Figs. 2.47 - 2.55 se presenta el proceso de modelado CAD.

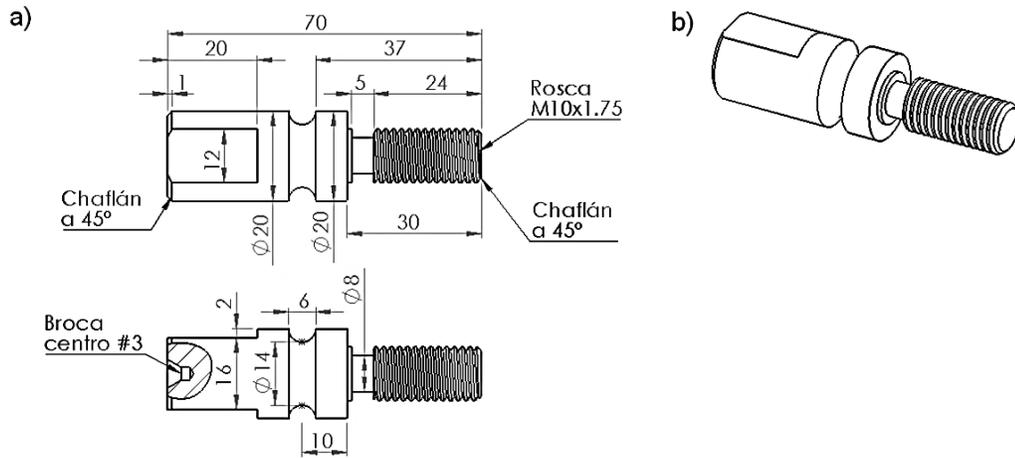


Fig. 2.47. Cuarto ejemplo: a) Medidas en mm y b) Modelo de la pieza.

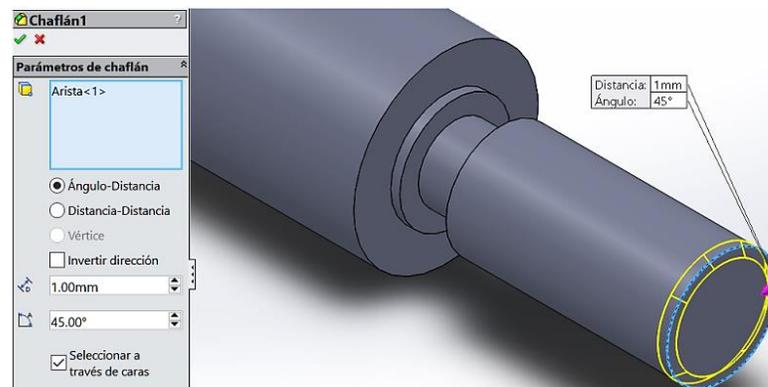


Fig. 2.48. Cuarto ejemplo. Cilindrado, ranurado y chaffán.

La creación de un plano separado 2 mm de la cara, es para darle sentido físico al hecho de que la herramienta para el roscado inicia el recorrido helicoidal desde afuera de la pieza. Se debe incluir el paso real de la rosca en la operación de la hélice. Además, se debe verificar que la hélice inicie en los grados necesarios para que el perfil triangular del diente se pueda croquizar en el plano de alzado, lateral o planta, según el caso, tal como se presenta en las Figs. 2.49 - 2.51.

En la Fig. 2.52 se representa la operación de fresado, se ha dibujado el perfil en el plano de alzado y se ha extruido un corte con plano medio de tal forma que corte toda la pieza, como la haría la operación de fresado.

En la Fig. 2.53 se presenta una operación de matriz circular para el fresado de la otra cara. El mismo efecto se genera si se usa la operación de simetría respecto del plano de planta, pero se prefiere la matriz por el sentido físico que resulta (implica que la operación se realiza utilizando el cabezal divisor, que luego es girado para el espaciado igual de la operación y la obtención de caras paralelas).

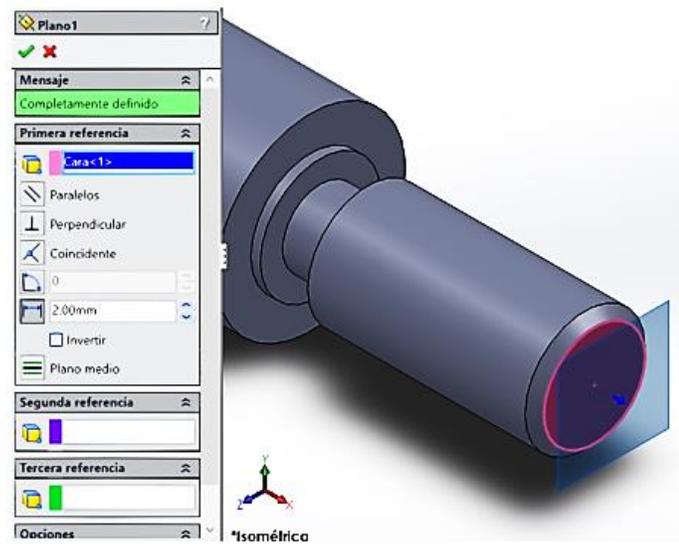


Fig. 2.49. Cuarto ejemplo. Plano para hélice de rosca.

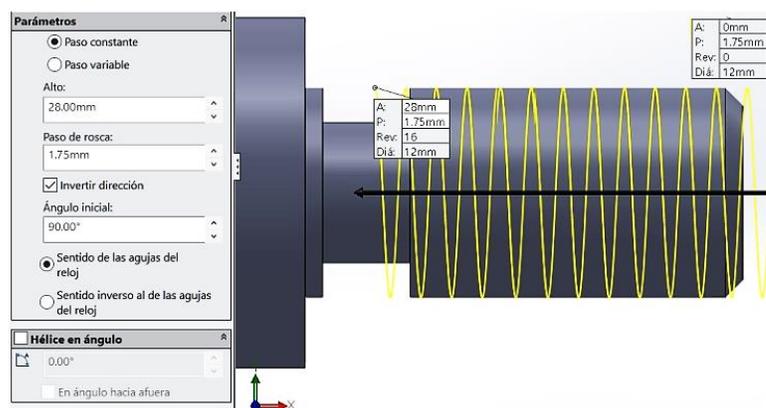


Fig. 2.50. Cuarto ejemplo. Hélice para la rosca.

En la Fig. 2.54 se observa el modelo final de la pieza. A la izquierda se presenta la estructura y orden de las operaciones que se realizan, separándolas

por máquina herramienta y lado (carpetas llamadas torno lado 1, torno lado 2 y fresa). Las operaciones del torno lado 2 no se presentan en las figuras, pero quedan claras al observar la secuencia.

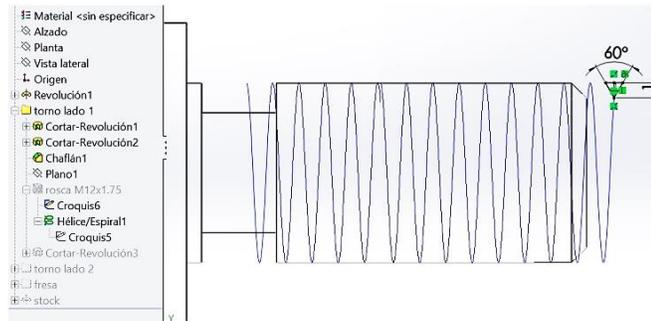


Fig. 2.51. Cuarto ejemplo. Perfil para roscado.

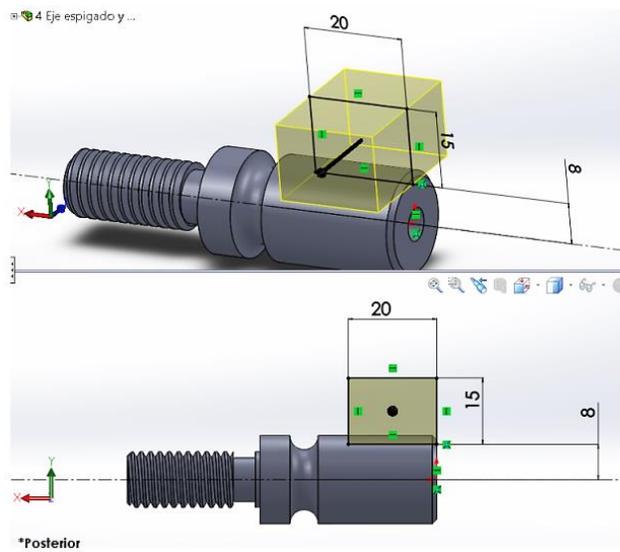


Fig. 2.52. Cuarto ejemplo. Fresado plano.

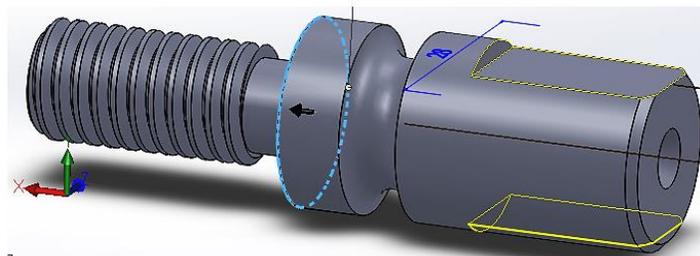


Fig. 2.53. Cuarto ejemplo. Matriz para fresado plano.

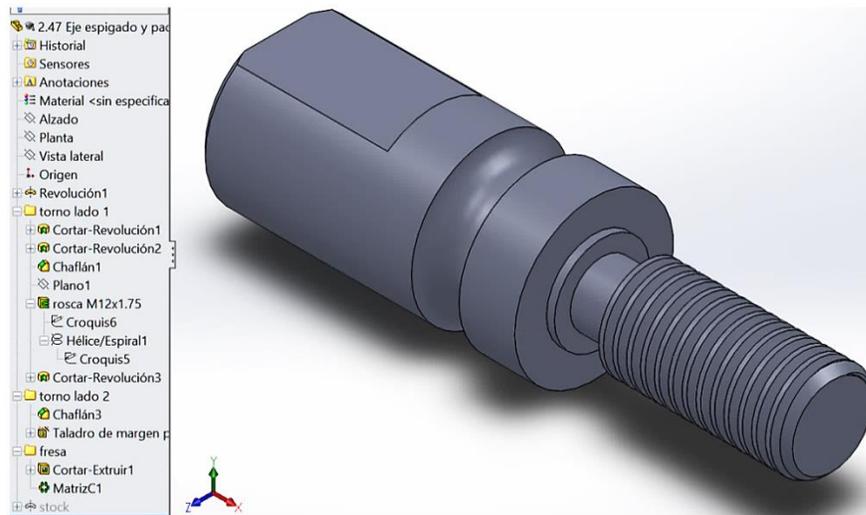


Fig. 2.54. Cuarto ejemplo. Modelo final y distribución de las operaciones.

Para ejemplificar, se realiza el siguiente análisis a partir de la geometría, las operaciones y el orden del modelado: El stock final presenta al lado derecho un exceso de 2 mm, lo cual se considera aceptable para un proceso de refrentado. Al lado izquierdo tiene un exceso de 5.5 mm que puede decirse que es demasiado para solo refrentar, analizando la forma de la pieza, se observa que se puede realizar en un solo montaje y luego tronzarse. Si se considera que se usa una cuchilla de tronzado de espesor 3 mm la información que se transmite en el modelo CAD se hace evidente. Además de éstas consideraciones, también se observa que el radio del stock es de 11 mm es decir, un diámetro de 22 mm (tal vez es la única medida disponible), por lo que se debe realizar un cilindrado externo para lograr el diámetro mayor de la pieza, operación que no se presenta en el modelado, considerando lo establecido en el ejemplo dos, ver la Fig. 2.55.

Si bien el análisis anterior conlleva cierto grado de suposiciones, el margen para el error es mínimo. En otras palabras, se ha logrado transmitir de manera implícita, por medio del modelo CAD, información respecto del proceso de mecanizado.

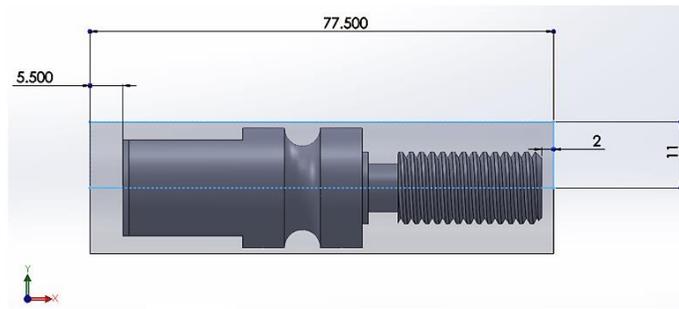


Fig. 2.55. Cuarto ejemplo. Stock para el modelo.

El quinto ejemplo, es para el modelado de una pieza que debe mecanizarse en la fresadora y finalizarse mediante un proceso manual. En las Figs. 2.56 - 2.67 se presenta la estrategia uno.

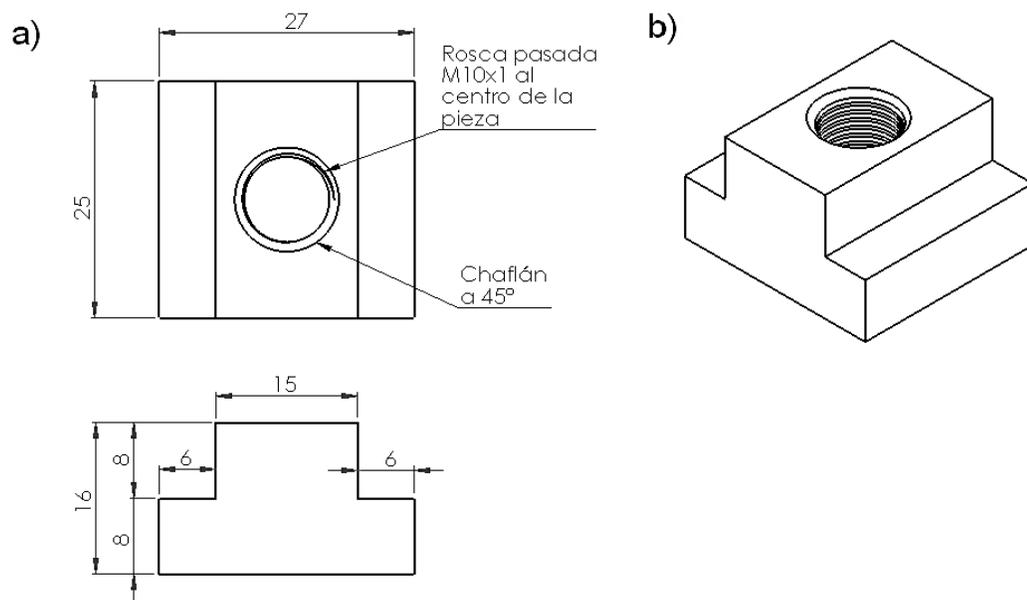


Fig. 2.56. Quinto ejemplo: a) medidas en mm y b) modelo final.

Hasta la Fig. 5.59 se ha realizado lo siguiente: croquis del bloque inicial en el plano de planta, se ha extruido hasta 17 mm y tiene un exceso de 2 mm a los lados (ver Fig. 2.57). Planeado de la pieza para eliminar 1 mm y dejar la cara plana. Croquis en plano alzado y corte extruido con plano medio. La medida de importancia es la profundidad del planeado (ver Fig. 2.58).

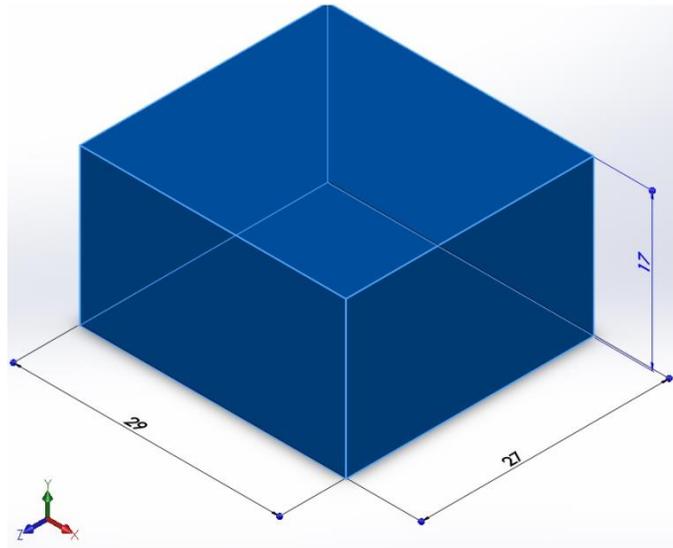


Fig. 2.57. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Bloque inicial.

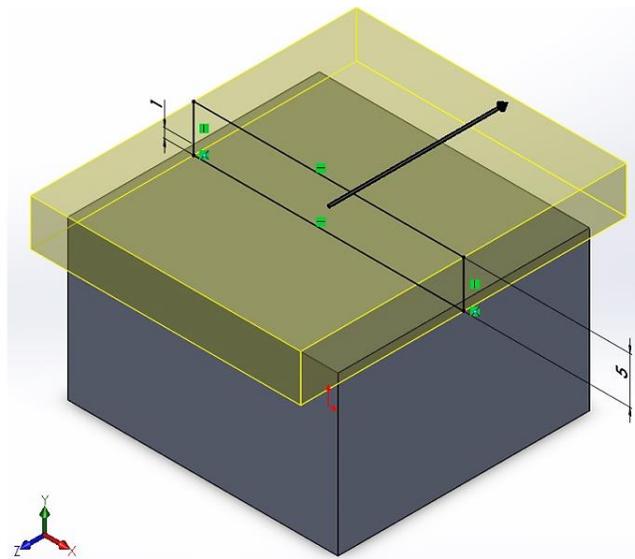


Fig. 2.58. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Planeado.

Se ha realizado un contorneado de la pieza para eliminar el material en exceso y dejar las caras con buen acabado, tal como se presenta en la Fig. 2.59. Nótese que se ha realizado hasta una profundidad mayor que la altura de la pieza (esto debe considerarse en el stock final).

Para el fresado en escuadra, nótese que la medida de importancia es la profundidad del corte desde la cara planeada y el ancho de 15 mm final, ver Figs. 2.62 y 2.63.

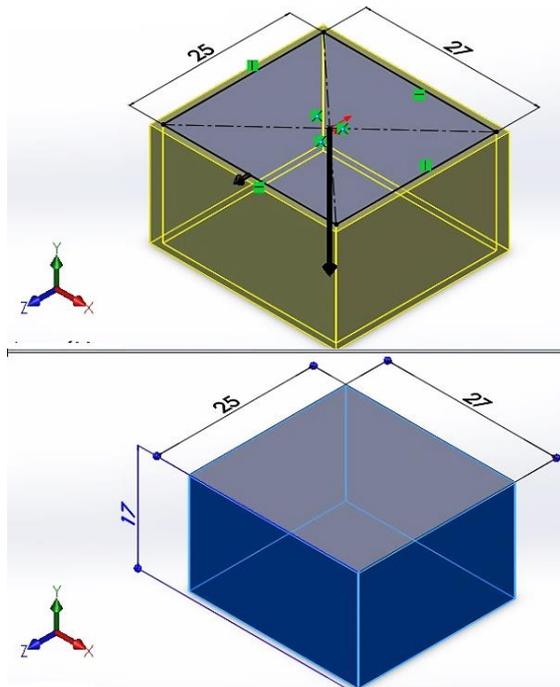


Fig. 2.59. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Contorneado de la pieza.

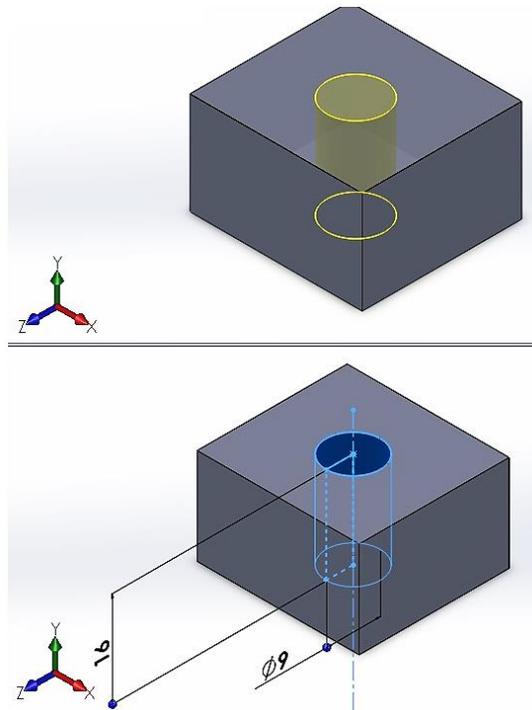


Fig. 2.60. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Taladrado.

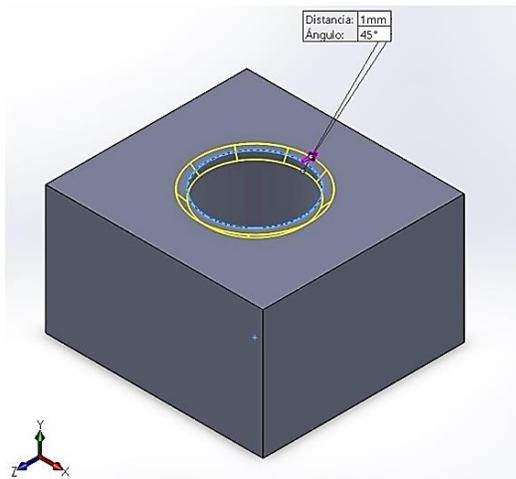


Fig. 2.61. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Chaflán.

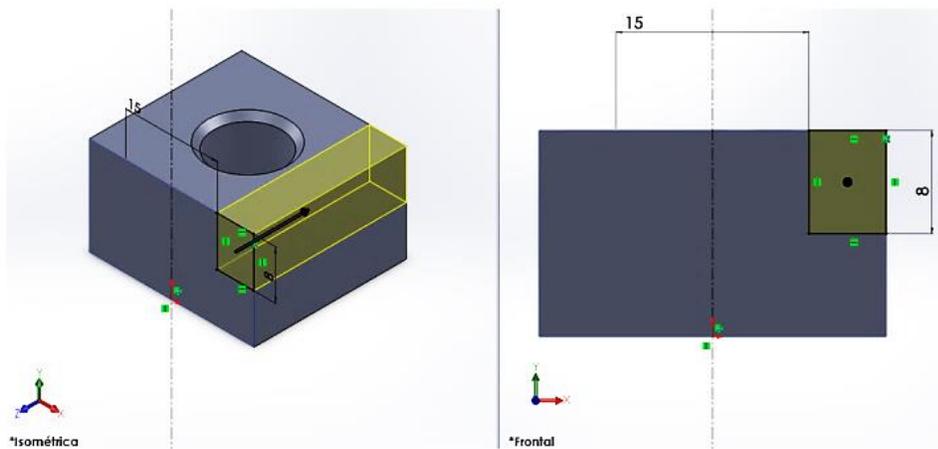


Fig. 2.62. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Fresado en escuadra de escalón.

Al igual que para el cuarto ejemplo, se ha insertado un plano para que la hélice comience desde afuera de la cara. Se han tomado en cuenta las mismas consideraciones, ver Figs. 2.64 - 2.66.

En la Fig. 2.67 se presenta que el stock es de 20 mm, por lo tanto se ha considerado que la pieza debe montarse en una prensa, de modo que permita la operación de contorneado. Aunque en el modelo no se presenta, se debe montar la pieza hacia abajo y planearse para eliminar el exceso que se ha usado para el agarre en la prensa, como operación final.

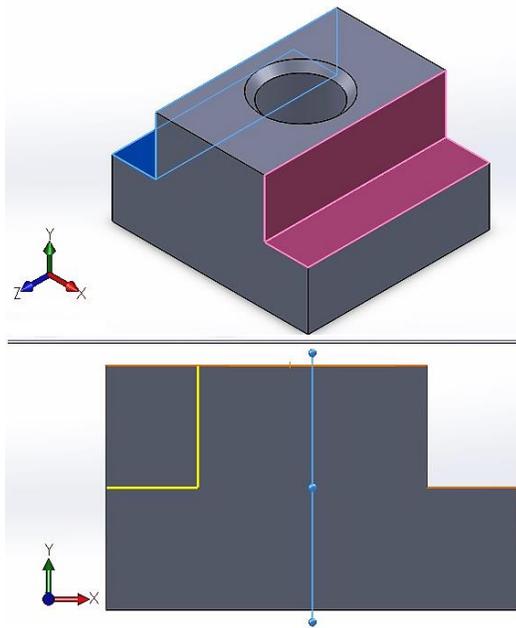


Fig. 2.63. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Simetría del escalón.

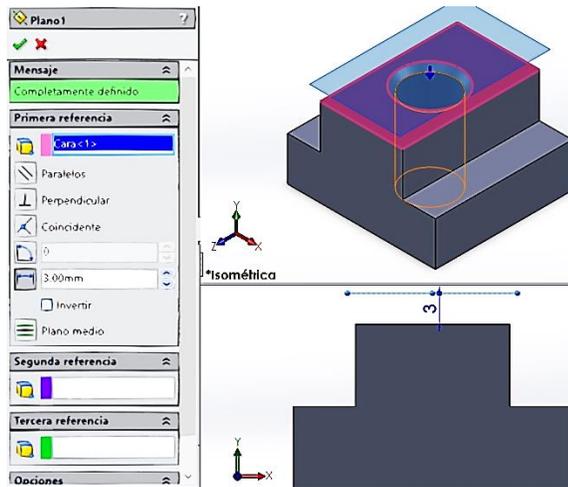


Fig. 2.64. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Plano para hélice de rosca.

El proceso manual a realizarse en la pieza es el roscado, que se realiza con machuelo. Se ha considerado así debido a que, en general, no se puede realizar el roscado en la fresadora, incluso en un centro de mecanizado relativamente básico, no es común hacerlo, por diferentes razones, entre ellas el alto costo de las herramientas necesarias. Si se quiere representar que se

realiza en un centro de mecanizado, por ejemplo, simplemente se traslada la operación de roscado a la carpeta que contiene las operaciones de fresado.

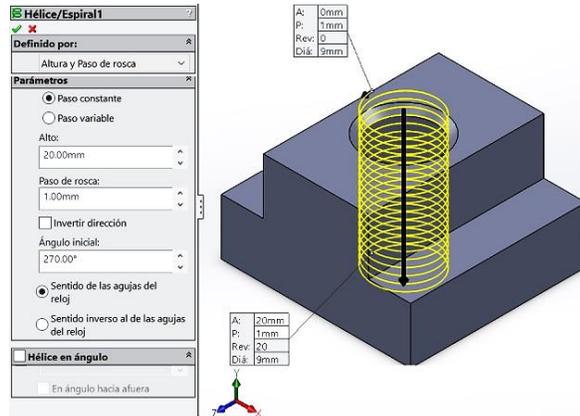


Fig. 2.65. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Hélice de rosca interna.

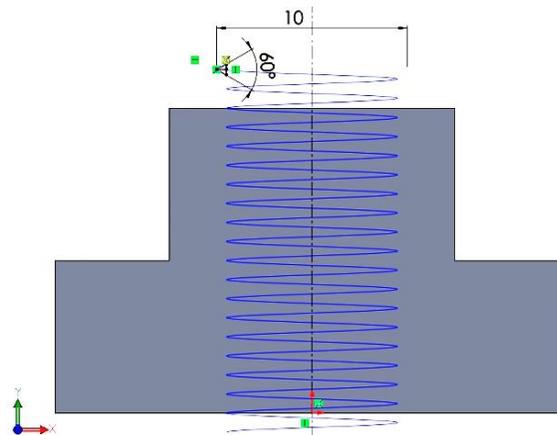


Fig. 2.66. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Perfil de rosca interna.

Se han representado todas las operaciones de fresado, pero al igual que para el refrentado; el planeado y el contorneado se han convertido en operaciones padre. Para evitar esto y facilitar los procesos de edición de las operaciones y los croquis, de aquí en adelante se considera lo siguiente: "no se debe representar el planeado ni el contorneado externo en el modelado de piezas mecanizadas en la fresadora, a menos que sea estrictamente necesario".

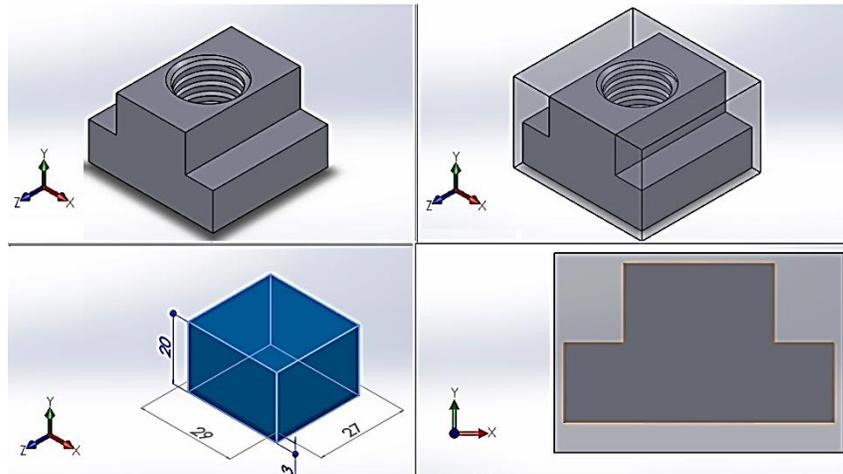


Fig. 2.67. Quinto ejemplo. Estrategia 1. Modelo final y stock.

Un caso donde representar el contorneado es necesario, se produce cuando el stock es un cubo, pero la forma final de la pieza (desde la vista superior), es un hexágono, por ejemplo. En la medida de lo posible se debe buscar la independencia de esta operación respecto de las demás y ubicarse en un lugar de la secuencia de operaciones, de modo que no se convierta en una relación padre.

En la representación de la rosca queda a discreción el uso del plano separado de la cara (tanto para roscado interno como externo). Puede realizarse sobre la cara planeada, por ejemplo. Realizar la rosca es casi exclusivamente para efectos de representación, por lo que el sentido físico del mecanizado no se aplica de manera estricta.

En las Figs. 2.68 - 2.75 se presenta la estrategia dos, donde se realiza el mecanizado de lotes de cinco piezas. Las consideraciones anteriores se tienen en cuenta aquí. Hasta la Fig. 2.70 se ha procedido de la misma manera que para la estrategia uno, con la diferencia que el bloque inicial tiene dimensiones diferentes y según se aprecia en la Fig. 2.68, el origen está desplazado 12.5 mm, esto con la intención de que el primer agujero mostrado en la Fig. 2.69 quede en el origen, facilitando la representación de la rosca. Después de realizar el primer agujero y chafán, se realiza una matriz lineal de estas

operaciones, espaciadas de tal forma que pueda realizarse una ranura con una fresa de vástago vertical de 3 mm (ver Figs. 2.71 y 2.72) y se genere cada una de las piezas con la medida final. La profundidad de la ranura es medio milímetro más que la altura final de la pieza para que éstas puedan separarse fácilmente.

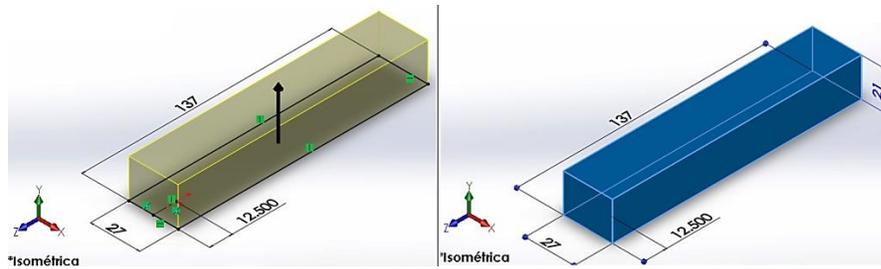


Fig. 2.68. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Bloque de inicio.

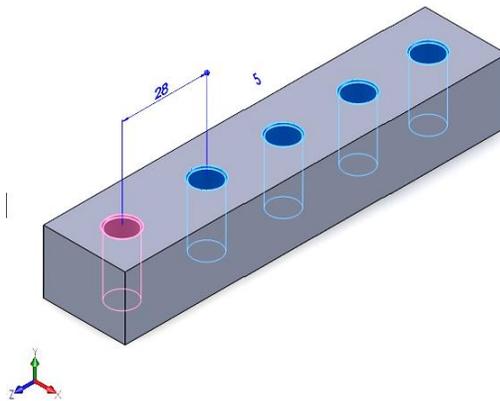


Fig. 2.69. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Matriz lineal de taladrado y chaflán.

En la Fig. 2.73 se presenta la operación de planeado en el lado inferior, lo que genera la separación de las piezas y proporciona la medida final del alto de estas (evidentemente la pieza se ha montado del lado contrario). Esta operación genera varios sólidos que representan cada una de las piezas mecanizadas, pero solo se mantiene el sólido 2, que coincide con la pieza que tiene el agujero en el origen.

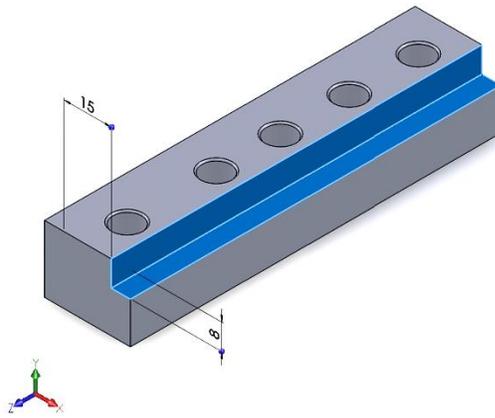


Fig. 2.70. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Fresado en escuadra para escalón.

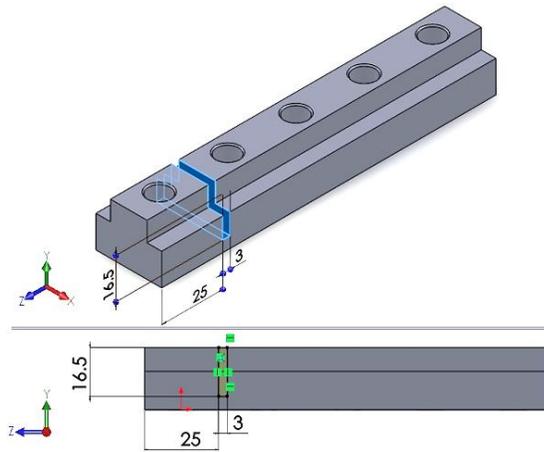


Fig. 2.71. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Fresado de ranura.

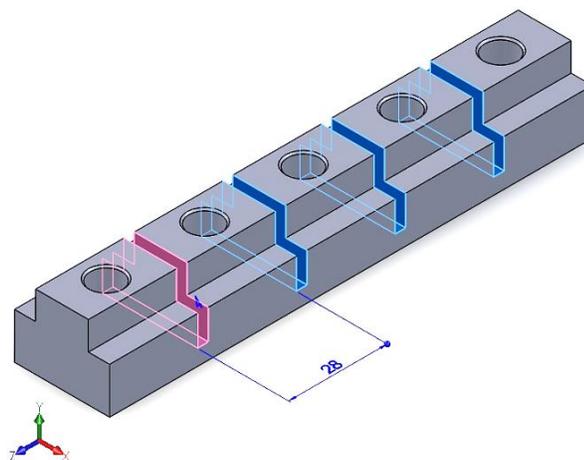


Fig. 2.72. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Matriz para ranurado.

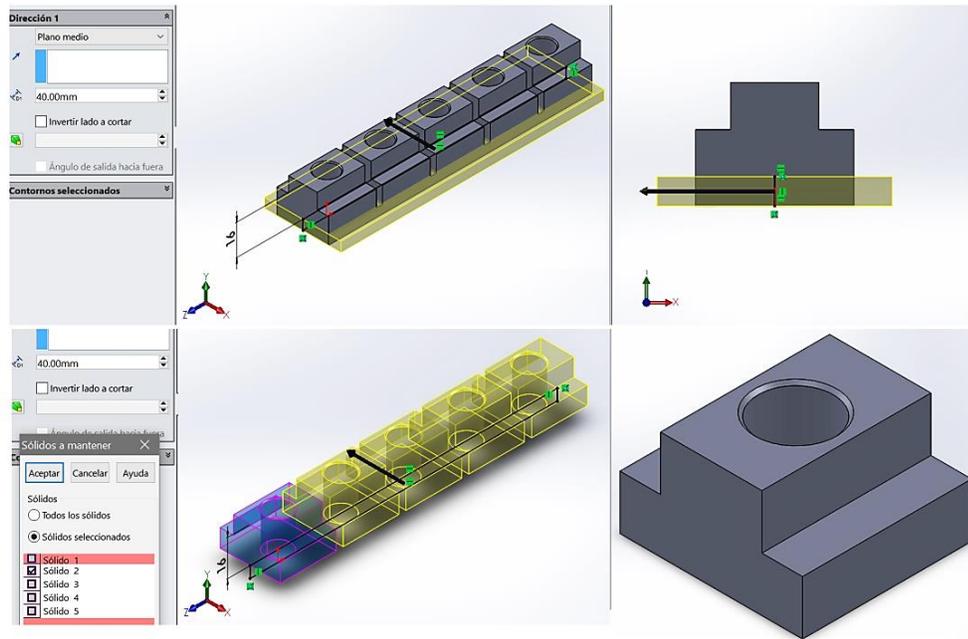


Fig. 2.73. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Planeado para separación de piezas.

Después de separar cada una de las piezas, se realiza el roscado de forma individual a cada una y se redibuja el stock. Se toma en cuenta que el largo total es el suficiente para mecanizar cinco piezas, realizar cuatro ranuras y realizar un contorneado de 2mm alrededor del stock (éste último no se muestra). Además la altura de 23 mm brinda un agarre adecuado para el montaje, Fig. 2.74.

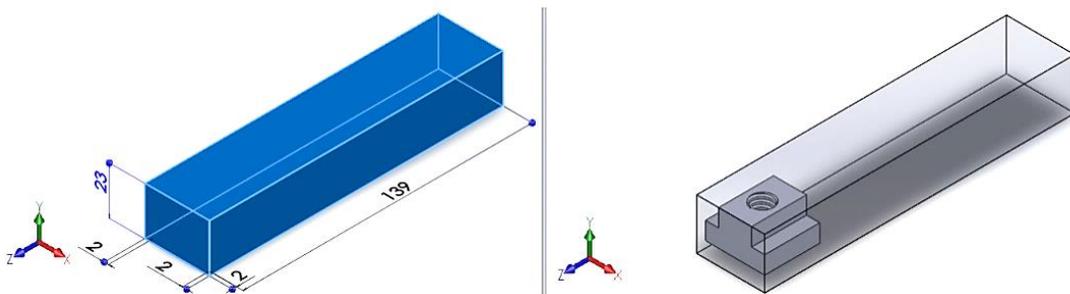


Fig. 2.74. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Modelo y stock final.

El resultado final se muestra en la Fig. 2.75. Además se puede observar el orden y la estructura de las operaciones, que básicamente son las mismas que para la estrategia uno.

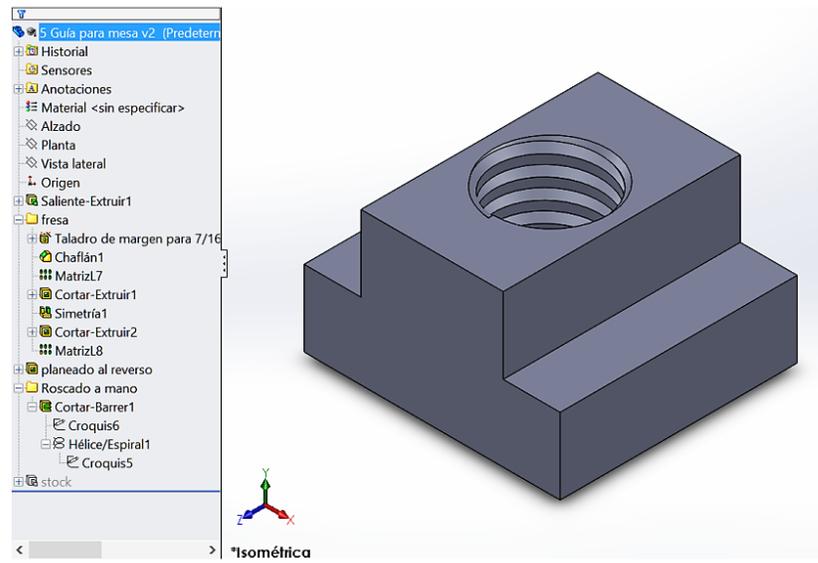


Fig. 2.75. Quinto ejemplo. Estrategia 2. Modelo y orden de operaciones.

Se presenta un sexto ejemplo donde se considera una cajera en forma de corredera y taladrados. El proceso se realiza como se presenta en las Figs. 2.76 - 2.81. No todas las fresas de vástago vertical (la adecuada para ranuras o cajeras) pueden cortar por medio de zambullida o inmersión (plunge, por su nombre en inglés); es decir, avanzando a lo largo de su eje como si fuera una broca. Por esta razón casi siempre se realiza un taladrado en el punto donde ésta entra cortando. Esto se representa en las Figs. 2.78 y 2.79.

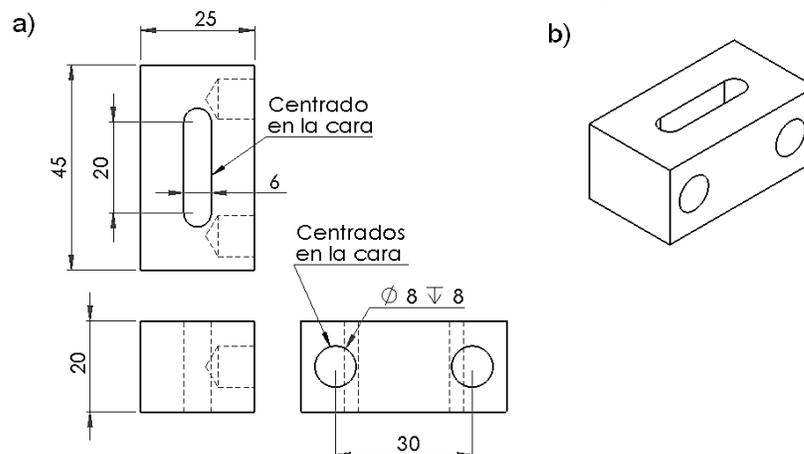


Fig. 2.76. Sexto ejemplo: a) medidas en mm y b) modelo.

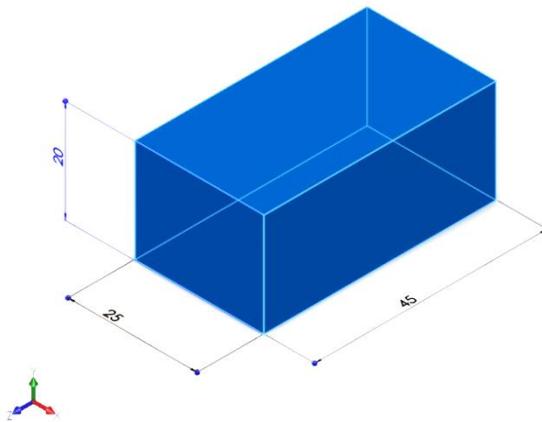


Fig. 2.77. Sexto ejemplo. Operación inicial.

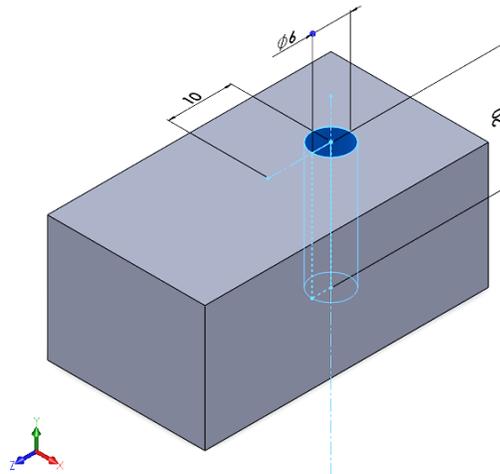


Fig. 2.78. Sexto ejemplo. Taladrado para corredera.

Las operaciones para el taladrado de los agujeros se agrupan en una sola como ya se describió al inicio del tercer ejemplo (ver Fig. 2.80). Se observa que se han usado líneas constructivas desde los centros de los vértices de la cara, las cuales además son verticales y horizontales dependiendo el caso. Con esto se logra centrar los taladrados sin necesidad de más cotas, la única cota es la distancia entre centros. Esta técnica puede usarse para cualquier geometría que lo permita en el croquizado, así de cierta manera se vuelve independiente de las dimensiones de la cara, porque siempre se centra.

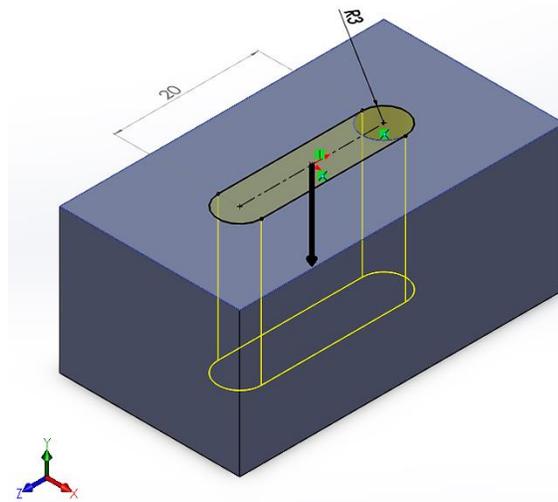


Fig. 2.79. Sexto ejemplo. Fresado de corredera.

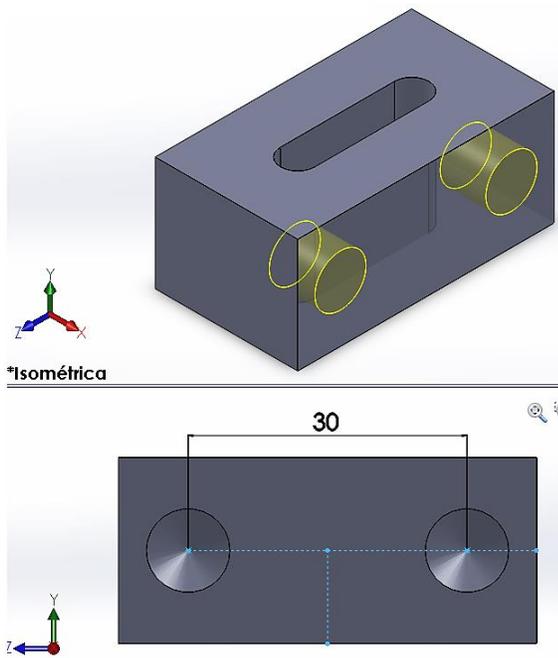


Fig. 2.80. Sexto ejemplo. Taladrado de agujeros.

Se presenta el stock final en la Fig. 2.81, donde se ha considerado exceso de material, respecto de la geometría final, para el planeado, contorneado y el agarre para el montaje.

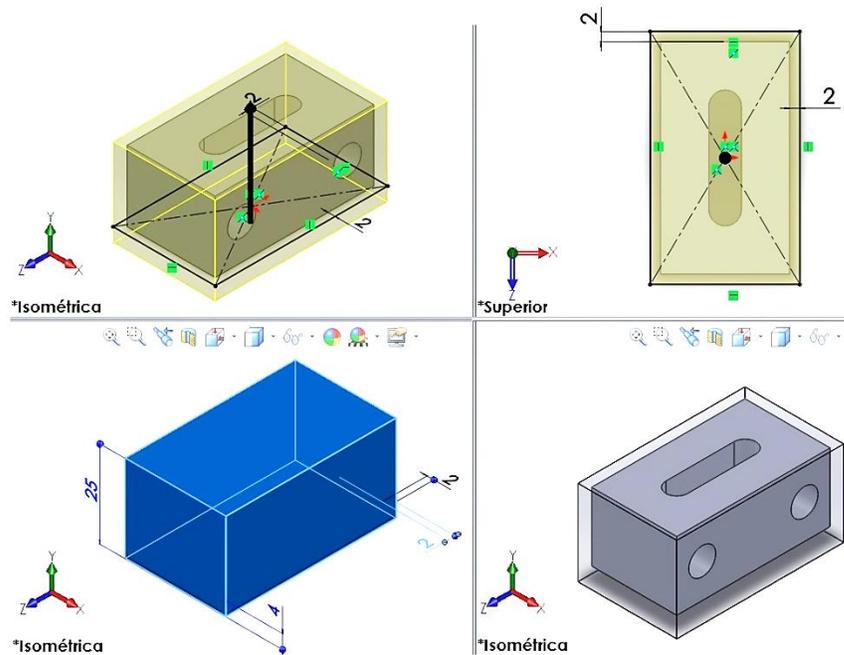


Fig. 2.81. Sexto ejemplo. Stock y modelo final.

Para tomar en cuenta algunos criterios que no se han expuesto, se presenta un séptimo ejemplo. Esta es una pieza donde se representan varias operaciones y que dependiendo de la manera que se dibujan representan diferentes situaciones del mecanizado. En la Fig. 2.82 se representa el sólido de inicio generado por extrusión. Luego en la Fig. 2.83 se representa un perfilado de forma o contorneado, aquí se ha invertido el lado a cortar para formar el saliente con perfil de corredera. Esto presenta un sentido físico que indica cortar todo el material, menos esta forma.

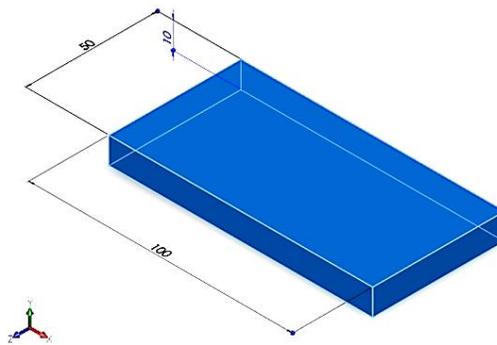


Fig. 2.82. Séptimo ejemplo. Stock inicial.

Un vaciado o cajera se representa en la Fig. 2.84, el cual tiene forma triangular. La operación se puede realizar con una fresa de vástago vertical de diámetro lo suficientemente pequeño. Otra manera es usar una fresa con diámetro más grande que realice una trayectoria a lo largo de la hipotenusa, el resultado a nivel físico es el mismo.

La cajera cuadrada es fácil de representar, es una geometría simple. Debe considerarse para efectos de diseño que en las esquinas de esta queda un radio igual al de la fresa con que se mecaniza. Entre más pequeña sea la fresa, mejor, sobre todo para el proceso de acabado (ver Fig. 2.85).

Al igual que para el ejemplo anterior con la corredera, el hecho de representar el agujero por medio de un corte extruido, indica que este se realiza con una fresa y no con broca, tal como se presenta en la Fig. 2.86 y para lo cual es necesario una fresa con filos que corten como broca.

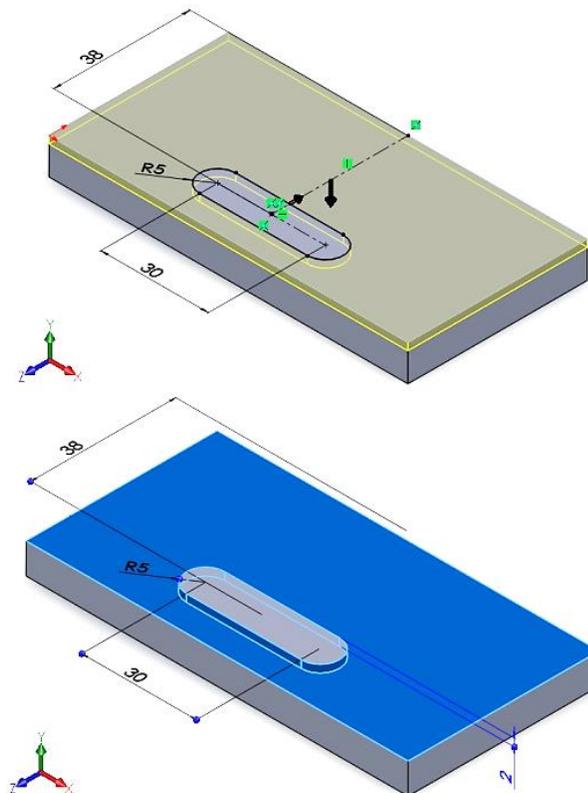


Fig. 2.83. Séptimo ejemplo. Perfilado de forma.

La caja de la Fig. 2.87 también se hace como la corredera, la fresa debe entrar en el centro del agujero que ya está mecanizado. La corredera de la Fig. 2.88 es abierta de un lado, por lo que la fresa debe comenzar su recorrido desde afuera hacia adentro de la pieza.

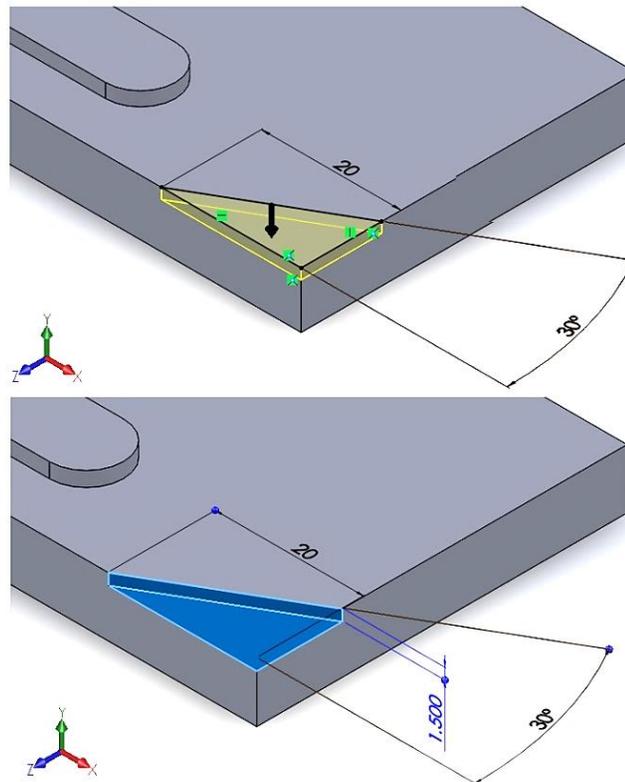


Fig. 2.84. Séptimo ejemplo. Vaciado en esquina.

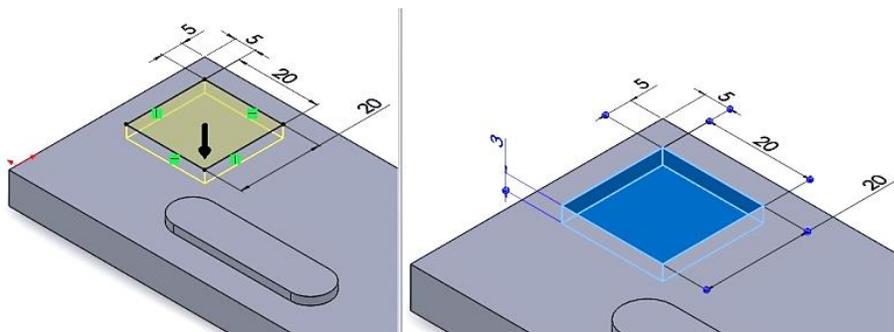


Fig. 2.85. Séptimo ejemplo. Caja cuadrada.

En la Fig. 2.89 se presenta un taladrado, con las consideraciones ya indicadas, al igual que en la Fig. 2.90 se presenta el stock final tomando en cuenta lo ya desarrollado anteriormente.

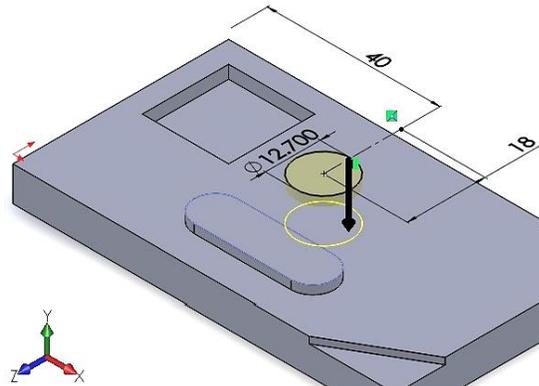


Fig. 2.86. Séptimo ejemplo. Fresado de caja pasada.

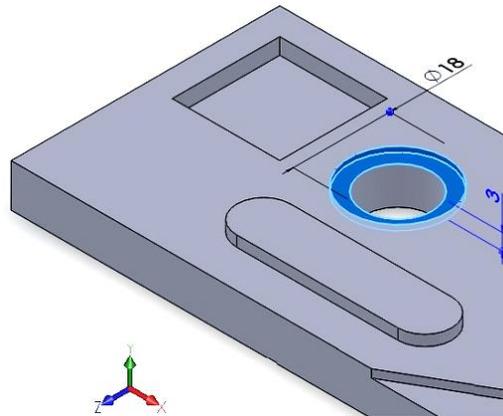


Fig. 2.87. Séptimo ejemplo. Fresado de caja circular con fondo.

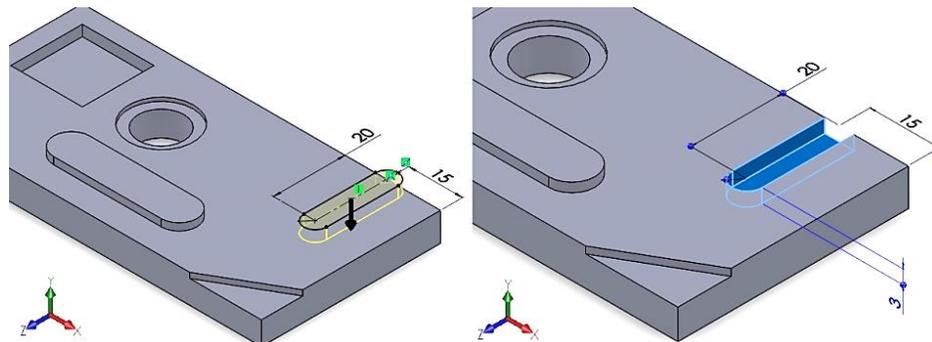


Fig. 2.88. Séptimo ejemplo. Fresado de ranura abierta.

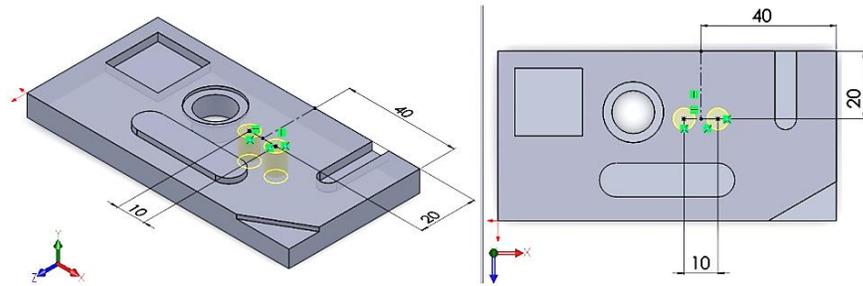


Fig. 2.89. Séptimo ejemplo. Taladrado de agujeros.

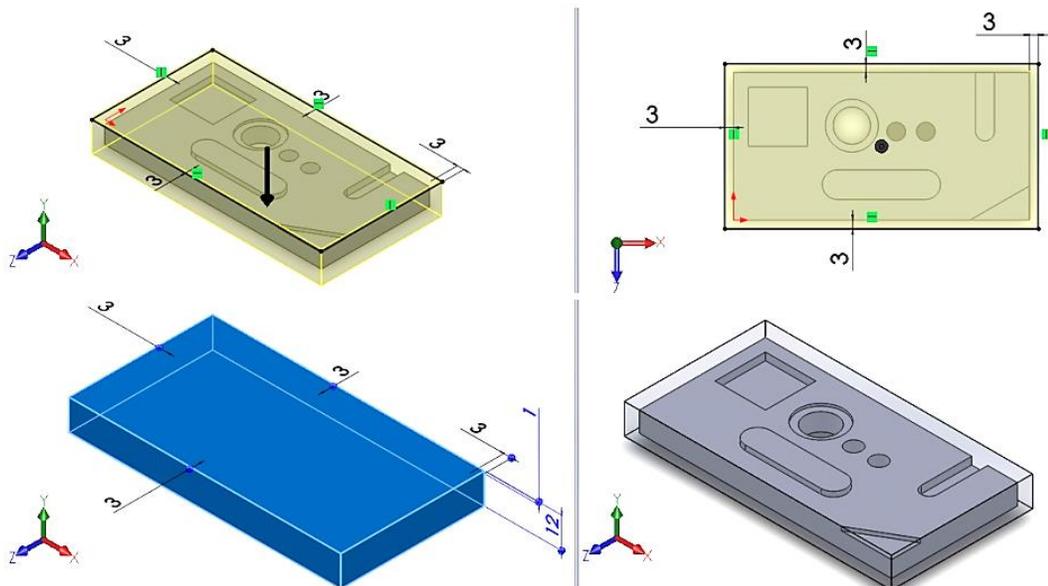


Fig. 2.90. Séptimo ejemplo. Redibujado de stock y pieza final.

Como ejemplo final se presenta una pieza cilíndrica con la cual se analiza un caso particular de mecanizado. En la Fig. 2.91 se presenta una pieza TF (ver Tabla 2.5). Independientemente de sus medidas finales, como primera estrategia se puede elegir el torno para mecanizar del perfil de revolución, y luego mediante los accesorios para las operaciones excéntricas realizar los cuatro agujeros.

No solo en el torno se puede mecanizar ésta pieza, también es posible en la fresadora usando por ejemplo un plato divisor vertical.

Si se realiza en un centro de mecanizado, se logra una alta precisión en la posición relativa del agujero central, con los cuatro restantes.

En un centro de torneado, a menos que cuente con herramientas motorizadas o accesorio que lo permitan, sería la mejor opción, de lo contrario no porque entonces no es posible mecanizarla de un solo montaje, como en los otros casos.

Además de lo ya descrito, como se presenta en la Fig. 2.92, existe más de una forma posible para el stock. De este modo se ejemplifica, también, lo descrito en la sección 2.4 respecto del stock redibujado o final.

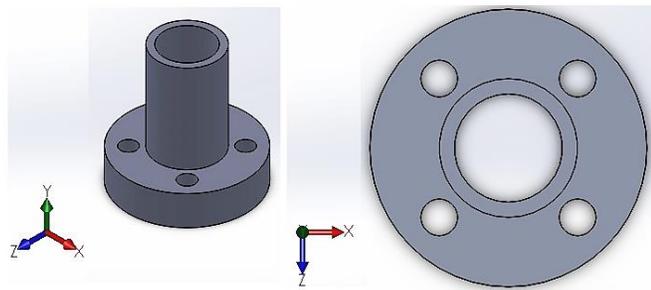


Fig. 2.91. Soporte cilíndrico. Pieza tipo TF.

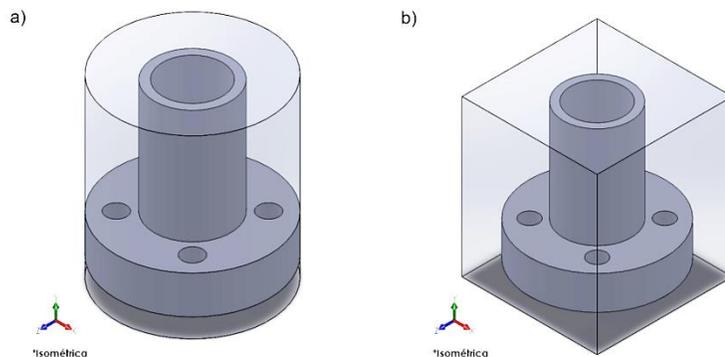


Fig. 2.92. Opciones para el stock de una pieza: a) stock cilíndrico y b) stock cúbico.

## 2.6. DESCRIPCIÓN Y ESTABLECIMIENTO ALGORÍTMICO DEL PROCESO METODOLÓGICO

Proceso para aplicar la metodología a una nueva máquina:

- a) Establecer los requerimientos de la máquina;

- b) Realizar un bosquejo de la máquina de acuerdo a las funciones que debe realizar;
- c) Clasificar los mecanismos requeridos y de acuerdo a eso, separar la máquina en sistemas y subsistemas;
- d) Establecer los tipos de piezas;
- e) Estructurar las carpetas para los modelos CAD y la documentación;
- f) Definir todas las piezas para cada sistema;
- g) Codificar, tomando en cuenta los procesos de mecanizado;
- h) Parametrizar los elementos que se puedan;
- i) Modelar las PAE;
- j) Modelar las piezas que serán torneadas, para facilitar el proceso hacer la pieza más compleja primero, guardarla como, y luego usarla como base para las demás, se quitan de esta manera las operaciones que no se requieran y se agregan otras, si es necesario;
- k) Modelar las piezas a fresar, tomando en cuenta lo del punto anterior;
- l) Modelar las piezas restantes;
- m) Crear los subensamblajes y ensamblajes;
- n) Crear el estudio del mecanismo y de la máquina, si se requiere;
- o) Definir y/o programar el mecanizado; y
- p) Crear los planos y la documentación restante.

Proceso para la edición o reutilización de un diseño previo:

- a) Copiar la carpeta padre con todo su contenido;
- b) Definir todas las piezas para cada sistema, borrando las innecesarias y agregando las que falten;
- c) Codificar, tomando en cuenta los procesos de mecanizado y realizar las adecuaciones en los ensamblajes;
- d) Parametrizar;
- e) Editar los modelos CAD de las piezas;
- f) Modelar las piezas restantes, primero las de torno y luego las de fresa, de la más compleja a la más simple;

- g) Verificar los ensamblajes;
- h) Realizar el estudio del mecanismo y de la máquina, si se requiere;
- i) Editar la definición o programación de los procesos de mecanizado; y
- j) Editar los planos y la documentación.

Si mediante la aplicación de la metodología se respeta el sentido físico de las operaciones para el modelado, pueden realizarse adecuaciones menores, de acuerdo a cada caso, adaptándola incluso a otras metodologías o técnicas. La estructuración y codificación de la máquina presentada al inicio del capítulo, siempre deben realizarse, ya que brindan orden y clasificación lógica e inteligente, que permite un mejor manejo y control de los archivos CAD, la documentación y; además, facilita los procesos de diseño, reutilización y edición.

### **3. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

En este capítulo se aplica la metodología establecida en el capítulo II a un modelo sencillo, ya diseñado, construido y en operación.

Se diseña una máquina para pruebas de tracción de materiales metálicos donde se incluyen diversidad de consideraciones en relación al diseño, armado, operación, del mecanizado de las piezas y otras consideraciones pertinentes. Por medio de tablas de diseño se incluyen técnicas de parametrización, posibilitando varias configuraciones a nivel CAD que permiten ejemplificar los diversos casos que pueden presentarse durante la operación, en función del tipo de probeta usada. La documentación respectiva de la máquina se presenta como anexos al final de este documento.

#### **3.1. GENERALIDADES**

El diseño se centra en los aspectos geométricos y de funcionamiento, más que en el análisis de diseño a la resistencia mecánica de las piezas y componentes, principalmente porque para ello se utilizan gráficos, tablas, razones, proporciones y datos empíricos, discretos o a intervalos cerrados y/o abiertos en diversos intervalos de valores, lo que conlleva una elevada dificultad para la parametrización del modelo por métodos convencionales de diseño.

Tomando como referencia los aspectos principales en los que se centra este trabajo, el análisis de diseño a la resistencia de los materiales, queda fuera de los alcances del mismo. Si se desea incluirlo, debe hacerse por métodos modernos como el de elementos finitos, con algún software CAD y CAE, debido a la complejidad geométrica de algunas piezas.

Si bien es cierto que la parametrización del modelo también puede realizarse incluyendo el diseño a la resistencia por el método convencional, además de difícil (principalmente por lo exhaustivo del proceso para identificar,

establecer y relacionar los parámetros), sería un nuevo método de abordaje y hasta donde se ha investigado, no existe información al respecto. Como ya se ha dicho anteriormente, este trabajo representa un cambio de paradigma en los aspectos de modelado CAD.

El punto de partida es una máquina existente, a la cual se le hacen algunas modificaciones, principalmente en función de buscar un modelo CAD simplificado que muestre de manera adecuada la implementación de la metodología y a la vez brinde versatilidad a los ensayos de tracción.

En la Fig. 3.1 se muestra una representación de la máquina de referencia. Ésta tiene la particularidad de haber sido diseñada y construida de manera que puedan realizarse tanto ensayos de tracción como ensayos de compresión (Campos Ramos, Chávez Fuentes, & Muñoz Najarro, 2000).

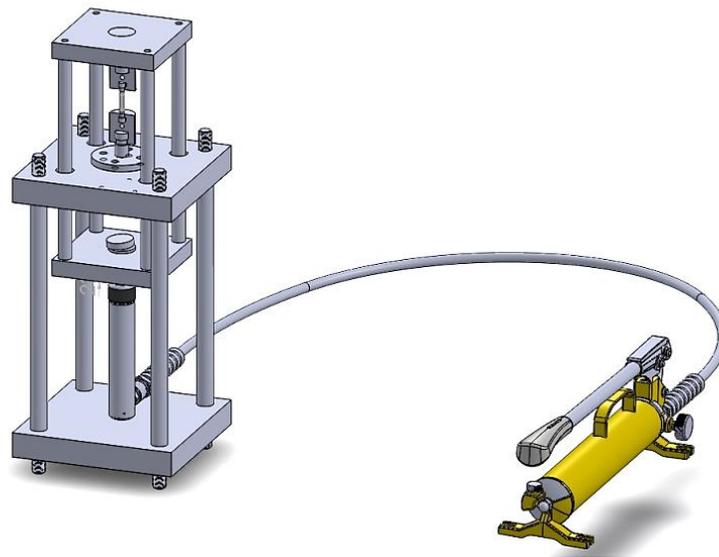


Fig. 3.1. Representación de la máquina de referencia para ensayos de tracción y compresión.

En ésta máquina solo se pueden realizar pruebas de tracción en probetas proporcionales a las normalizadas, específicamente probetas con diámetro en la sección reducida de 6 mm y con hombro en el extremo.

## **3.2. ANÁLISIS DE LA MÁQUINA DE REFERENCIA EN RELACION A LA MÁQUINA NUEVA**

Aquí se analiza lo referente a la configuración, los componentes y el funcionamiento de la máquina de ensayos de tracción, así como algunos de los requerimientos observados.

### **3.2.1. CONFIGURACIÓN Y COMPONENTES**

En función del volumen de la máquina de referencia, su estructura se compone de dos paralelepípedos, uno fijo y anclado a una mesa o base y otro móvil, que desliza a través de la cara superior del primero. Un cilindro hidráulico de simple efecto transmite la fuerza y el movimiento y éste a su vez recibe la potencia de una bomba hidráulica manual por medio de una manguera flexible de alta presión.

Se tiene un portaprobeta inferior fijo y otro superior móvil, en las cuales se coloca la probeta. El portaprobeta superior móvil está montado en un soporte con un extremo semiesférico, que asienta sobre una cavidad del mismo tipo, permitiendo una óptima alineación con la inferior durante el ensayo de tracción.

El ensayo de tracción se realiza entre la cara superior del paralelepípedo fijo y la cara superior del móvil (por lo tanto, también en este espacio se coloca la probeta).

### **3.2.2. FUNCIONAMIENTO**

A continuación, se describen las operaciones necesarias para realizar el ensayo de tracción:

- Ajustar la altura del cilindro hidráulico (por ende, de las portaprobetas) para colocar apropiadamente la probeta a ensayar, mediante el accionamiento de la bomba hidráulica;

- Realizar las mediciones pertinentes en la probeta antes del ensayo;
- Montar el adaptador del deformímetro en la probeta y colocarla en las portaprobetas;
- Ubicar el deformímetro y verificar que se encuentre instalado adecuadamente y que el manómetro esté en su posición inicial;
- Para realizar el ensayo, se acciona la bomba para que el cilindro transmita el movimiento. La rapidez con la cual se acciona la bomba, depende de la facilidad con la cual se pueden tomar las lecturas de presión en el cilindro y de la deformación de la probeta. Cuando el material ya ha fluido, retirar el deformímetro;
- Liberar la presión en el cilindro por medio de la válvula de alivio ubicada en la bomba; y
- Retirar la probeta ensayada y determinar las dimensiones de interés después del ensayo (Campos Ramos, Chávez Fuentes, & Muñoz Najarro, 2000).

### **3.2.3. REQUERIMIENTOS**

Algunos requerimientos observados en la máquina de referencia, son:

- Los requerimientos para las portaprobetas vienen dados a partir del tipo de probeta de los ensayos, su geometría (especialmente de la forma de sus extremos), de la presión en el cilindro hidráulico y de la carrera del mismo;
- Se requiere una estructura lo suficiente robusta para no influir en la prueba de tracción;
- La capacidad del cilindro hidráulico depende del material al que se realicen las pruebas de tracción; y

- La máxima longitud de la probeta y el largo que puede ser estirada corresponde casi de manera directa con la carrera del cilindro hidráulico.

### **3.3. CARACTERÍSTICAS DESEABLES DE LA MÁQUINA NUEVA**

En esta sección se establece lo relacionado a la forma, características y elementos que debe poseer la máquina nueva, para adaptarse a la norma ASTM E8/E8M – 09, que indica los aspectos a tomar en cuenta durante los ensayos de tracción. Como variación a la máquina de referencia, se hacen adaptaciones para que puedan usarse probetas redondas con extremos roscados y de hombro, además de probetas planas, todas ellas con dimensiones normalizadas. La configuración de la máquina debe permitir incluso adaptar componentes adicionales para poder realizar pruebas de tracción a probetas proporcionales a las normalizadas.

#### **3.3.1. GENERALIDADES**

Debe entenderse que, aunque no se mencionen, los aspectos relacionados al centro de mecanizado y al torno con CNC (Milltronics VM16 y Alecop modelo Expert, respectivamente), estos han sido tomados en cuenta para la máquina a modelar. Lo anterior queda plasmado, de manera implícita, en:

- Las dimensiones y geometría de las piezas y componentes en relación al volumen de trabajo que estos permiten;
- La secuencia y el tipo de operaciones de modelado CAD; y
- Las estrategias y técnicas del mecanizado CAM.

A partir de lo anterior, existen claramente dos grandes limitaciones a considerar:

- El volumen de trabajo para el torno con CNC es inferior en relación a varias piezas y componentes del modelo de referencia; y
- El software CAM no cuenta con herramientas para el fresado en 3D ni con herramientas de torneado.

Estas limitaciones se usan para demostrar como con la metodología propuesta se resuelven muchas situaciones parecidas durante los procesos de mecanizado.

### **3.3.2. REQUERIMIENTOS PRINCIPALES**

La norma ASTM E8/E8M – 09 establece las diferentes probetas para los ensayos de tracción de materiales metálicos. En la Fig. 3.2 se muestran las dimensiones de las probetas estandarizadas para ensayos de tracción con perfil rectangular. Estas se utilizan para realizar ensayos a materiales metálicos en forma de placa y formas planas como chapa, alambre plano, tira, banda, rectángulos y otras formas estructurales con un espesor nominal desde 5 hasta 19 mm. Para alambres, varillas y barras generalmente se usan cuando su diámetro se encuentra entre 4 y 19 mm. Además pueden usarse para los ensayos de barras rectangulares (ASTM international, 2009).

Para espesores mayores de 19 mm se preparan probetas de ancho 12.5 o 40 mm, y espesor para ambas de 10 mm. Si no se puede preparar una probeta plana, puede usarse cualquiera de las probetas redondas especificadas a continuación. En la Fig. 3.3 se muestran las dimensiones de la sección reducida de las probetas redondas estandarizadas para ensayos de tracción. También se muestran probetas de menor tamaño, proporcionales a las primeras. Estos tipos

se usan cuando no es posible preparar las rectangulares y para los ensayos de alambre, varilla y barra, sobre todo de aquellos con diámetros mayores a 4 mm (ASTM international, 2009).

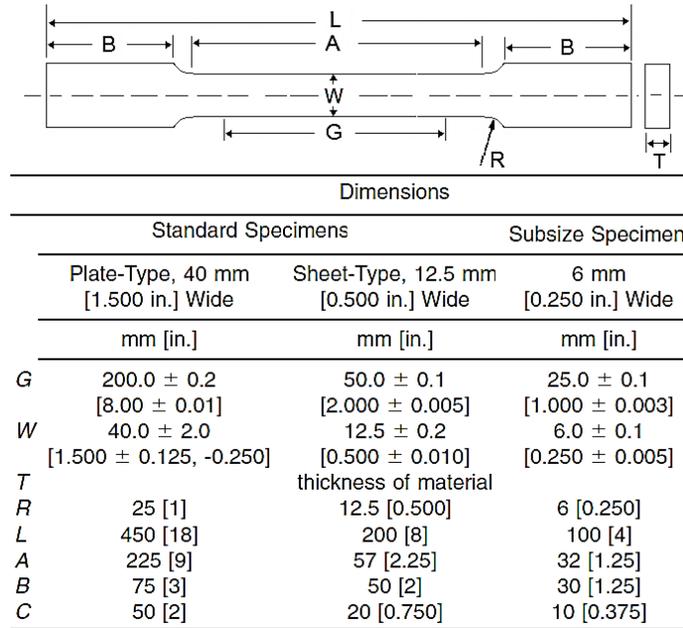


Fig. 3.2. Probetas rectangulares para ensayos de tracción (ASTM international, 2009).

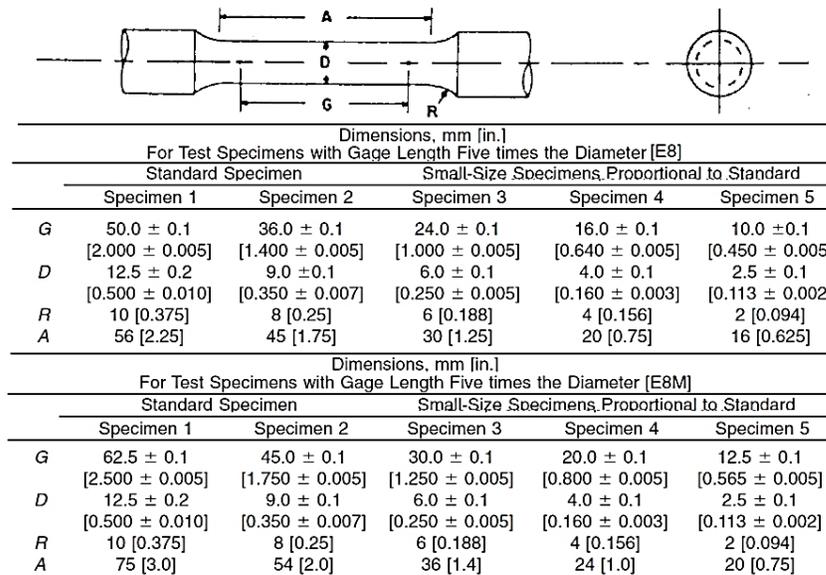
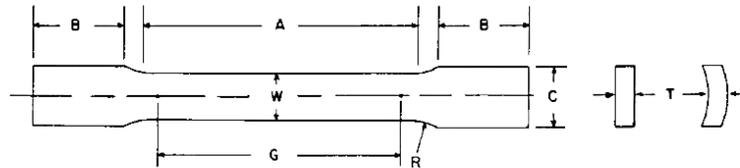


Fig. 3.3. Geometría de la sección reducida de las probetas redondas para ensayos de tracción (ASTM international, 2009).

Las probetas mostradas en las Figs. 3.2 y 3.3 pueden usarse para diversidad de casos como lo indica la norma, incluyendo pruebas de tracción longitudinales para caños y tuberías grandes de espesor considerable. Si el espesor de la pared es mayor o igual 20 mm puede usarse cualquier probeta redonda, si es menor a 20 mm, se usan las mostradas en la Fig. 3.4. Las muestras se cortan como indica la Fig. 3.5.



Dimensions							
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5	Specimen 6	Specimen 7
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
G	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	200.0 ± 0.2 [8.00 ± 0.01]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]	50.0 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	100.0 ± 0.1 [4.000 ± 0.005]
W	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	40.0 ± 2.0 [1.5 ± 0.125-0.25]	40.0 ± 0.2 [1.5 ± 0.125,-0.25]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	20.0 ± 0.7 [0.750 ± 0.031]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]	25.0 ± 1.5 [1.000 ± 0.062]
T	measured thickness of specimen						
R	12.5 [0.5]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]	25 [1]
A	60 [2.25]	60 [2.25]	230 [9]	60 [2.25]	120 [4.5]	60 [2.25]	120 [4.5]
B	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]	75 [3]
C	20 [0.75]	50 [2]	50 [2]	25 [1]	25 [1]	40 [1.5]	40 [1.5]

Fig. 3.4. Probetas para ensayos de tracción longitudinal de tubos de grandes diámetros y espesores menores a 20 mm (ASTM international, 2009).

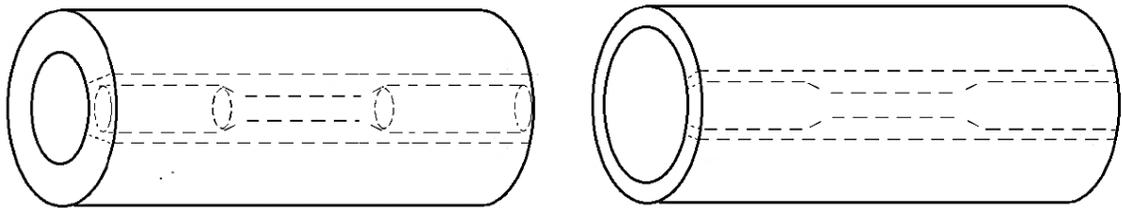


Fig. 3.5. Forma indicativa para el corte de las probetas para ensayos de tracción longitudinal de tubos de grandes espesores y diámetros (ASTM international, 2009).

En el caso de caños y tuberías (independientemente del tamaño) que puedan ser montadas en la máquina de pruebas, se usan las secciones tubulares completas de las mismas.

Generalmente se insertan en los extremos del tubo unos pines metálicos ajustados para lograr que las mordazas de la máquina de ensayos sujeten adecuadamente la muestra. En la Fig. 3.6 se especifican los detalles.

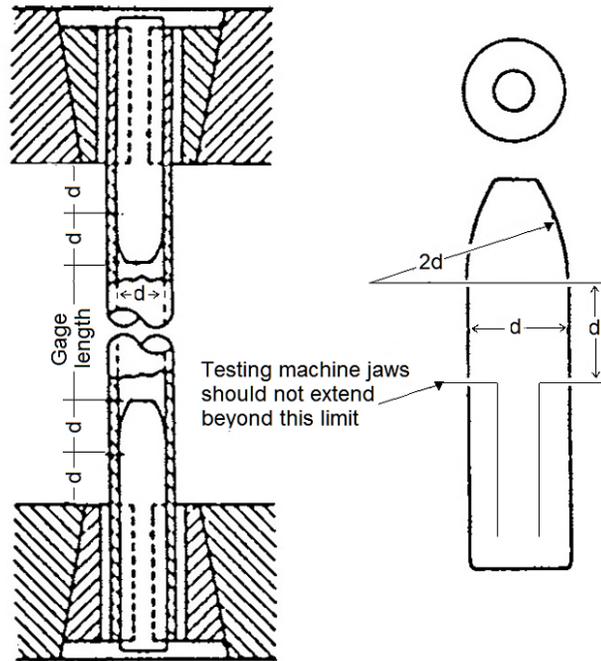


Fig. 3.6. Dimensiones y detalle de montaje de los pines para pruebas de sección completa en tubos (ASTM international, 2009).

Los elementos de sujeción en la máquina de ensayos deben ir acorde con la forma del extremo de la probeta (para cualquier tipo y geometría). Por ejemplo, para la curvatura evidente en la Fig. 3.4, debe existir un soporte adecuado. Como técnicamente no es viable preparar un soporte adecuado para cada caso, la norma permite aplanar los extremos siempre que no se aplique calentamiento y de modo que la sección reducida no se someta a trabajo en frío o deformaciones.

La forma de sujeción en la máquina de ensayos para las probetas de sección rectangular (Fig. 3.2) suele ser por medio de mordazas, garras y cuñas. Para las probetas de ancho 12.5 mm, se permite una variación en la forma de

los extremos de ésta para poder ser sujetadas por pines. Los detalles se muestran en la Fig. 3.7.

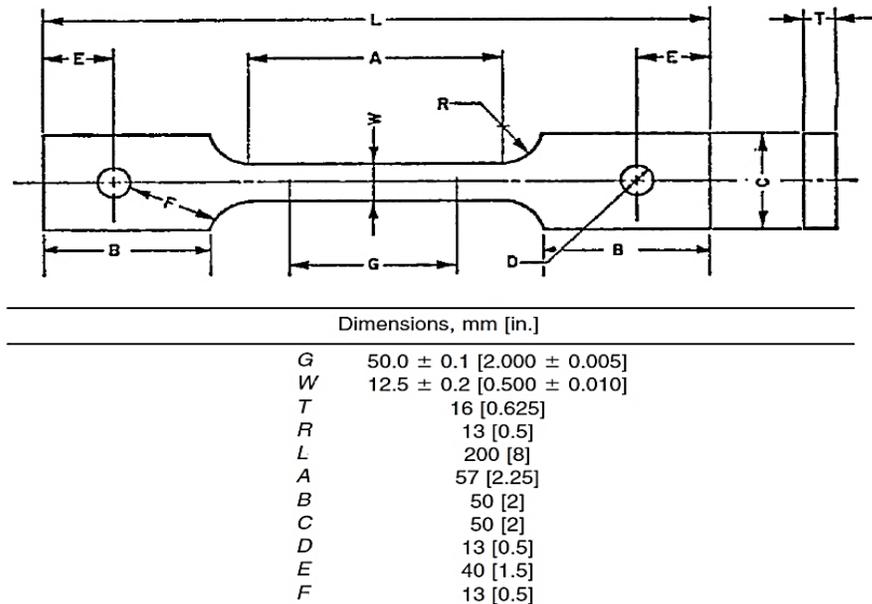


Fig. 3.7. Dimensiones y detalles para probetas con agujeros en los extremos (ASTM international, 2009).

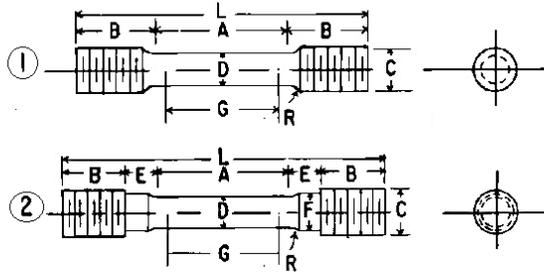
Para los extremos de las probetas redondas normalizadas, se tienen las opciones y tipos mostradas en la Fig. 3.8 y en la Fig. 3.9 donde también se muestran las dimensiones.

En la Fig. 3.10a se muestra la forma usual para sujetar las probetas planas. Para probetas redondas se suele usar la sujeción mostrada en la Fig. 3.10b, cuando los extremos son roscados y las mostradas en la Fig. 3.10c para cuando tienen hombros (asiento, grada o cambio de sección).

Para sujetar probetas de materiales en forma de hojas y alambres se usan mordazas autoajustables como la de la Fig. 3.11. Diferentes variaciones de estas pueden ser usadas también para sujetar las probetas planas, incluyendo aquellas con agujeros en los extremos para sujeción con pines.

Para el caso del hierro maleable, del hierro fundido y las fundiciones, se tienen las probetas normalizadas mostradas en las Figs. 3.12 - 3.14. Nótese

como estas geometrías son iguales a casos anteriores citados, variando únicamente en sus dimensiones.



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

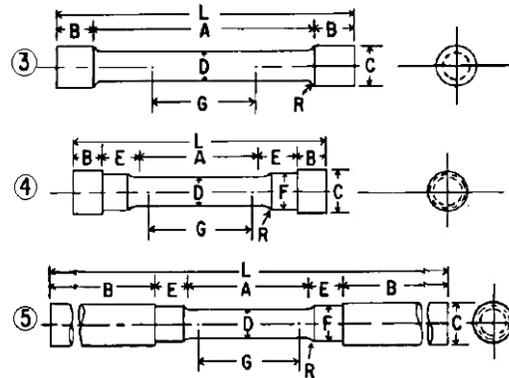
	Specimen 1	Specimen 2
<i>G</i>	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
<i>D</i>	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
<i>R</i>	10 [0.375]	10 [0.375]
<i>A</i>	56 [2.25] min	56 [2.25] min
<i>L</i>	145 [5]	155 [5.5]
<i>B</i>	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate
<i>C</i>	20 [0.75]	20 [0.75]
<i>E</i>		15 [0.625]
<i>F</i>		15 [0.625]

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

	Specimen 1	Specimen 2
<i>G</i>	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
<i>D</i>	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
<i>R</i>	10 [0.375]	10 [0.375]
<i>A</i>	75 [3] min	75 [3] min
<i>L</i>	145 [5]	155 [5.5]
<i>B</i>	35 [1.375] approximate	25 [1] approximate
<i>C</i>	20 [0.75]	20 [0.75]
<i>E</i>		15 [0.625]
<i>F</i>		15 [0.625]

Fig. 3.8. Probetas redondas con extremo roscado: tipo 1 y tipo 2 (ASTM international, 2009).

A partir de lo anterior, se procede a delimitar el diseño de la máquina, de tal manera que mediante la viabilidad técnica puedan cubrirse los requerimientos principales acordes a la norma.



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

	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
<i>G</i>	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
<i>D</i>	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
<i>R</i>	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
<i>A</i>	100 [4] approximate	56 [2.25] min	56 [2.25] min
<i>L</i>	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
<i>B</i>	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
<i>C</i>	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
<i>E</i>		20 [0.75]	15 [0.625]
<i>F</i>		15 [0.625]	15 [0.625]

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

	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
<i>G</i>	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]	62.5 ± 0.1 [2.500 ± 0.005]
<i>D</i>	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]
<i>R</i>	2 [0.0625]	10 [0.375]	10 [0.375]
<i>A</i>	75 [3] approximate	75 [3] min	75 [3] min
<i>L</i>	155 [5.5]	140 [4.75]	255 [9.5]
<i>B</i>	20 [0.75] approximate	15 [0.5] approximate	75 [3] min
<i>C</i>	20 [0.75]	22 [0.875]	20 [0.75]
<i>E</i>		20 [0.75]	15 [0.625]
<i>F</i>		15 [0.625]	15 [0.625]

Fig. 3.9. Probetas redondas con extremo de hombro: tipo 3, tipo 4 y tipo 5 (ASTM international, 2009).

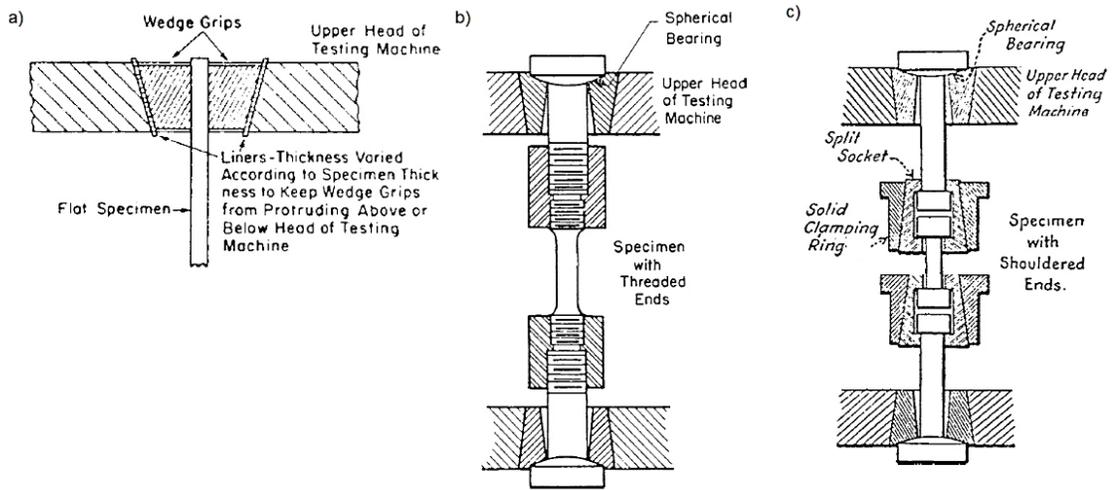


Fig. 3.10. Sujeciones para las diferentes probetas a) planas b) redondas con extremo roscado c) redondas con extremo de hombro (ASTM international, 2009).

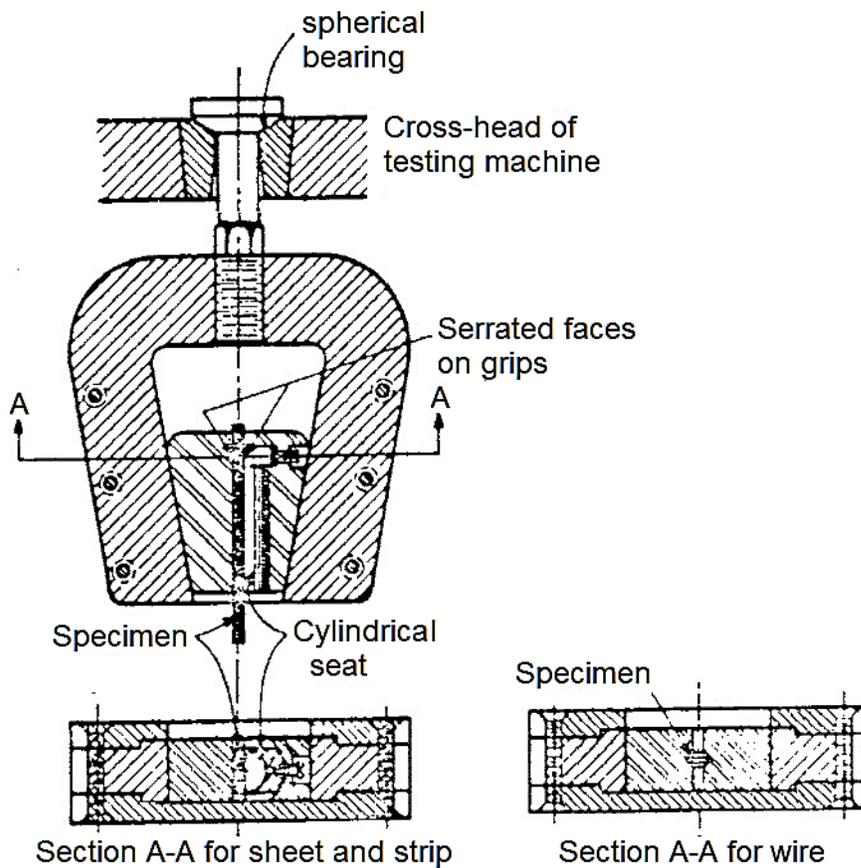
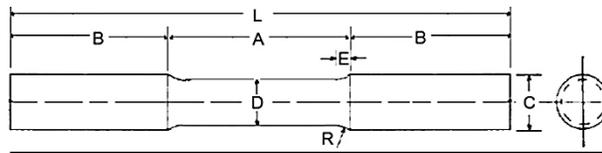
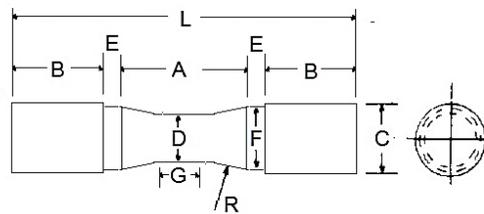


Fig. 3.11. Mordaza autoajustable para sujetar probetas de hojas metálicas y alambres (ASTM international, 2009).



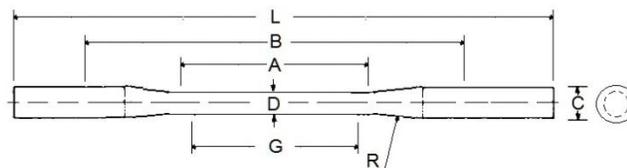
Dimensions, mm [in.]	
<i>D</i>	16 [0.625]
<i>R</i>	8 [0.312]
<i>A</i>	64 [2.5]
<i>L</i>	190 [7.5]
<i>B</i>	64 [2.5]
<i>C</i>	20 [0.75]
<i>E</i>	5 [0.188]

Fig. 3.12. Probeta normalizada para el hierro maleable (ASTM international, 2009).



	Dimensions		
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3
	mm [in.]	mm [in.]	mm [in.]
<i>G</i>	Shall be equal to or greater than diameter <i>D</i>		
<i>D</i>	12.5 ± 0.2 [0.500 ± 0.010]	20 ± 0.4 [0.750 ± 0.015]	36.0 ± 0.6 [1.25 ± 0.02]
<i>R</i>	25 [1]	25 [1]	50 [2]
<i>A</i>	32 [1.25]	38 [1.5]	60 [2.25]
<i>L</i>	95 [3.75]	100 [4]	160 [6.375]
<i>B</i>	25 [1]	25 [1]	45 [1.75]
<i>C</i>	20 [0.75]	30 [1.125]	48 [1.875]
<i>E</i>	6 [0.25]	6 [0.25]	8 [0.312]
<i>F</i>	16.0 ± 0.4 [0.625 ± 0.016]	24.0 ± 0.4 [0.94 ± 0.016]	36.5 ± 0.4 [1.438 ± 0.016]

Fig. 3.13. Probetas normalizadas para hierro fundido (ASTM international, 2009).



Dimensions, mm [in.]	
<i>G</i>	50 ± 0.1 [2.000 ± 0.005]
<i>D</i>	6.4 ± 0.1 [0.250 ± 0.005]
<i>R</i>	75 [3]
<i>A</i>	60 [2.25]
<i>L</i>	230 [9]
<i>B</i>	115 [4.5]
<i>C</i>	10 [0.375]

Fig. 3.14. Probeta normalizada para las fundiciones (ASTM international, 2009).

Requerimientos para la máquina de ensayos de tracción:

- Se debe poder usar los tres tipos de sujeciones mostrados en la Fig. 3.10 para ensayar probetas con dimensiones normalizadas.
- Para las probetas planas deben realizarse mordazas con las dimensiones necesarias para posibilitar el ensayo de las probetas normalizadas de la Fig. 3.2 y por lo menos una de las probetas de la Fig. 3.4. También deben poder usarse para las pruebas con probetas redondas normalizadas como el tipo 3 de la Fig. 3.9.
- La probeta plana de la Fig. 3.7 se excluye del diseño.
- Para cada uno de los tipos de las probetas redondas debe poder adaptarse diferentes portaprobetas, posibilitando de esta manera los ensayos de tracción para todas o la mayoría con dimensiones normalizadas.
- Deben realizarse esfuerzos para lograr incluir incluso aquellas probetas no tan comunes como las usadas para pruebas de tracción de tubos u otras mencionadas en la norma.
- La máquina debe presentar versatilidad para el cambio de probetas, portaprobetas y soportes para los diferentes tipos.
- Debe dejarse abierta la posibilidad de adaptaciones para un posterior reacondicionamiento, de modo que cubra la mayor cantidad posible de tipos de probetas, materiales e incluso probetas proporcionales a las normalizadas.

Analizando e investigando sobre los diferentes tipos de máquinas de ensayos de tracción y diversas consideraciones que la norma permite, se tiene lo siguiente:

- Se requiere un único portaprobeta para las probetas redondas con extremos roscados (probetas tipo 1 y 2 de la Fig. 3.8).
- Es necesario un único tipo de portaprobeta para los extremos con hombro (probetas tipo 4 y 5 de la Fig. 3.9 y todas las de la Fig. 3.13), pero de diferente dimensión.

- Para los portaprobeta hasta aquí descritos, se requiere un solo soporte, si estos son intercambiables.
- Para las probetas normalizadas de las Figs. 3.12 y 3.14 se requiere un mismo tipo de portador, pero de diferentes dimensiones.
- Es posible adaptar diferentes piezas para la sujeción de las probetas sobre un soporte común a todas ellas.
- Se requiere un mismo tipo de mordaza, pero de diferente dimensión de sujeción para las probetas planas.
- Al igual que para los portaprobeta, se requiere un solo soporte, si las mordazas son intercambiables.
- Por lo que por lo menos uno de los casos de la Fig. 3.4 se cubre con el uso de mordazas para las probetas planas.
- Es posible modificar la geometría de sujeción de las mordazas para poder realizar ensayos de tracción para probetas redondas con éstas, como las de las Figs. 3.12 - 3.14.

Hasta aquí, se tienen ya definidas las características de la máquina nueva.

### **3.4. PARAMETRIZACIÓN**

En esta sección se realiza la parametrización a diferentes niveles de algunos elementos, requerimientos y diversos aspectos en función de la geometría de la máquina y su operación. Se buscan todas aquellas relaciones dependientes de otras y se analiza si es posible establecer reglas de variación entre ellas por medio de ecuaciones que brinden valores continuos o discretos, en diferentes rangos o intervalos.

### 3.4.1. CILINDRO HIDRÁULICO

Al realizar un corte a un cilindro hidráulico (Fig. 3.15), puede observarse como el área del émbolo (área efectiva) en general es mayor, o por lo menos igual a la del vástago, y éste a su vez es mayor que la sección reducida de la probeta, independientemente de su tipo.

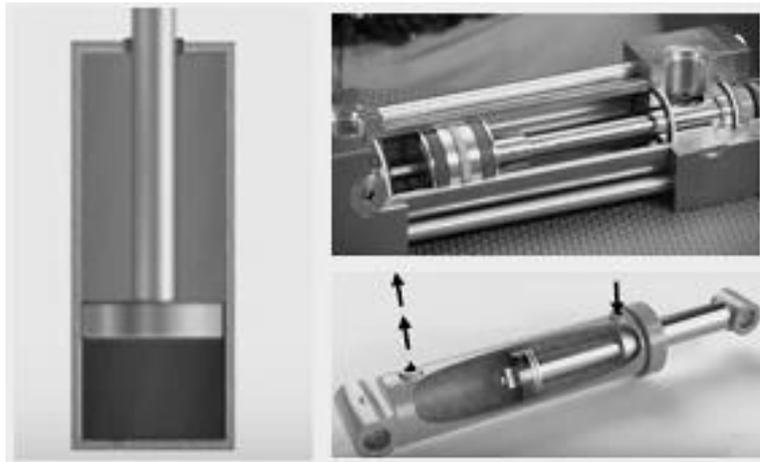


Fig. 3.15. Detalle del área efectiva de un cilindro hidráulico.

Para encontrar la fuerza que proporciona el cilindro en función de la presión del fluido hidráulico, se tiene:

$$F_c = P_c A_e \quad (3.1)$$

donde:

$F_c$  : Fuerza que proporciona el cilindro hidráulico.

$P_c$  : Presión dentro del cilindro hidráulico.

$A_e$ : Área efectiva del cilindro hidráulico.

### 3.4.2. PROBETA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN

Independientemente de la forma de la sección de la probeta, tomando solo en cuenta la configuración de la máquina, el esfuerzo nominal sobre ésta puede encontrarse con la ecuación:

$$\sigma = \frac{F_c}{A_p} \quad (3.2)$$

donde:

$\sigma$  : Esfuerzo nominal sobre la sección transversal de la probeta.

$A_p$  : Área inicial (antes del ensayo de tracción) de la sección transversal de la probeta.

Usando las Ecs. 3.1 y 3.2, se obtiene:

$$\sigma = \frac{P_c A_e}{A_p} \quad (3.3)$$

Como generalmente  $A_e \geq A_p$ , entonces el esfuerzo en la probeta es mayor que la presión dentro del cilindro. Si  $K_1 = \frac{A_e}{A_p}$ , entonces la Ec. 3.3 puede escribirse de la forma:

$$\sigma = K_1 P_c \quad (3.4)$$

donde:

$K_1$ : Razón entre el área efectiva del cilindro y el área inicial de la probeta.

La norma toma el diámetro y el ancho de la sección reducida como referencia para las probetas redondas y planas, respectivamente. El largo de la longitud calibrada "G", puede ser cuatro o cinco veces el diámetro.

En la Tabla 3.1 se presentan las dimensiones para las probetas planas de 40 mm de ancho, en la Tabla 3.2 para las de 12.5 mm y en la Tabla 3.3 para las de 6 mm. Los valores han sido adaptados de acuerdo a la norma y de manera que puedan crearse ecuaciones sencillas para relacionar los parámetros, tomando como base el ancho de las mismas.

Tabla 3.1. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 40 mm de ancho.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
W	40		Es el parámetro base
G	200	5W	Valor según norma
T	De 5 a 19		El valor mínimo es 5
R	26	0.65W	Aumentado, el valor mínimo es 25
L	460	11.5W	Aumentado, el valor mínimo es 450
A	228	5.7W	Aumentado, el valor mínimo es 225
B	76	1.9W	Aumentado, el valor mínimo es 75
C	50	1.25W	Valor según norma

Tabla 3.2. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 12.5 mm de ancho.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
W	12.5		Es el parámetro base
G	50	4W	Valor según norma
T	De 5 a 19		El valor máximo es 19
R	15	1.2W	Aumentado, el valor mínimo es 12.5
L	200	16W	El valor mínimo es 200
A	60	4.8W	Aumentado, el valor mínimo es 57
B	50	4W	El valor mínimo es 50
C	20	1.6W	Valor según norma

En las Tablas 3.4 - 3.8 se presentan las dimensiones para las probetas redondas de 12.5 mm de diámetro en la sección reducida, según el tipo.

Tabla 3.3. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 6 mm de ancho.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
W	6		Es el parámetro base
G	25.02	4.17W	Valor según norma
T	De 5 a 6		El valor máximo es 6 según la norma
R	9	1.5W	Aumentado, el valor mínimo es 6
L	100.02	16.67W	El valor mínimo es 100
A	31.98	5.33W	Aumentado, el valor mínimo es 32
B	30	5W	El valor mínimo es 30
C	10.02	1.67W	Valor según norma

Tabla 3.4. Dimensiones y ecuaciones paramétricas de probetas de 12.5 mm de diámetro con extremo roscado, tipo 1.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.25	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	El valor aproximado es 25
C	20	1.6D	El valor según norma es 20. Rosca en el extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

Tabla 3.5. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con extremo roscado, tipo 2.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.25	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	Valor aproximado según norma es 25
C	20	1.6D	Valor según norma 20. Rosca en el extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

Al igual que para las probetas planas, los valores han sido adaptados de acuerdo a la norma y de manera que puedan crearse ecuaciones sencillas para relacionar los parámetros, tomando como base el diámetro de la sección reducida, ver las Figs. 3.8 y 3.9.

Se ha roto la secuencia, con el fin de mostrar como la probeta tipo 3 y 4, pueden obtenerse como caso particular del tipo 5.

Los valores obtenidos para se han apegado a la norma E8; es decir, la longitud calibrada "G" es cuatro veces el diámetro "D".

Tabla 3.6. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con hombro, tipo 5.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.25	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	255	20.4D	Aumentado, el valor aproximado es 255
B	75	6D	El valor mínimo según norma es 75
C	20	1.6D	Valor según norma 20.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

Tabla 3.7. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con hombro, tipo 4.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.25	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	140	11.2D	Aumentado, el valor aproximado es 140
B	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
C	22	1.76D	Valor según norma 22.
E	20	1.6D	Valor aproximado según norma es 20
F	15	1.2D	Valor según norma 15

Tabla 3.8. Dimensiones y ecuaciones de parametrización para probetas de 12.5 mm de diámetro con hombro, tipo 3.

Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	2.5	0.2D	Aumentado, el valor mínimo es 2
A	100	8D	Valor aproximado según norma es 100
L	155	12.4D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	20	1.6D	Valor aproximado según norma es 20
C	20	1.6D	Valor según norma 20.

En la siguiente sección, se menciona otro tipo de parametrización, aplicada por medio de tablas de diseño que controlan operaciones de los modelos CAD, piezas y ensamblajes, creando así diferentes configuraciones.

### 3.5. ESTRUCTURACIÓN DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN

Para ejemplificar la metodología, en la Tabla 3.9 se presentan diferentes modelos de máquinas para realizar ensayos de tracción y compresión. En cada uno de ellos es posible realizar ensayos con probetas diferentes o combinaciones de éstas. Se incluye la respectiva codificación, según lo mencionado en el capítulo II.

De acuerdo a los requerimientos establecidos anteriormente, la máquina que se diseña y dibuja en este capítulo encaja en el modelo MTPR-XN con código de referencia A5. La carpeta de archivos y el archivo CAD del ensamblaje de la máquina completa debe ser nombrado de la siguiente manera: A5-Máquina para pruebas de tracción MTPR-XN.

Tabla 3.9. Modelos de máquinas de tracción y compresión en función del tipo de probeta.

Tipo de máquina	Modelo	Descripción	Código
Máquina para ensayos de tracción	MTRR-100	Máquina para ensayos de tracción de probetas redondas con extremo roscado, de tamaño normalizado y proporcionales	A1
	MTRH-XN	Máquina para ensayos de tracción de probetas redondas con extremo de hombro, de tamaño normalizado	A2
	MTRH-F	Máquina para ensayos de tracción de probetas redondas con extremo de hombro, de tamaño normalizado y proporcionales	A3
	MTP-F	Máquina para ensayos de tracción de probetas planas, de tamaño normalizado y proporcionales	A4
	MTPR-XN	Máquina para ensayos de tracción de probetas planas y redondas de tamaño normalizado	A5
Máquina para ensayos de compresión	MC-100	Máquina para ensayos de compresión	B1
Máquina para ensayos de tracción y compresión	MTC-F	Máquina para ensayos de compresión y tracción. Se puede hacer uso de probetas redondas de tamaño estandarizado y proporcionales	C1
Máquina para ensayos de tracción y compresión	MTC-UZ	Máquina para ensayos de compresión y tracción, para todos los tipos y tamaños de probetas, según la norma.	Z1

### 3.5.1. ESTRUCTURACIÓN DE LA MÁQUINA DE REFERENCIA

Las piezas de la máquina de referencia que se ven involucradas en el ensayo de tracción y que no son fácilmente desmontables se agrupan de acuerdo a la función que realizan, convirtiéndose en sistemas, los cuales se presentan en la Tabla 3.10. Estos sistemas son preliminares, sujetos a cambio, de acuerdo a las modificaciones que se hagan para la versión final de la máquina MTPR-XN. No se tienen subsistemas en la máquina. Además, en la Tabla 3.11 se muestran las piezas de nivel 1.

Tabla 3.10. Sistemas preliminares de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.

Sistemas	Elementos principales	Función
Estructura fija	Placa inferior, barra, placa fija superior, buje, arandelas, tuercas y pernos	Dar rigidez a la máquina y anclaje al soporte inferior del portaprobetas y al cilindro hidráulico
Sistema hidráulico	Cilindro hidráulico, manguera de alta presión, bomba hidráulica, acoples, y manómetro	Proporcionar la potencia y el movimiento
Estructura móvil	Placa inferior, barra, placa superior, arandelas, tuercas y pernos	Recibir la potencia y movimiento, deslizar a través de la estructura fija para permitir la tracción de la probeta y dar soporte al alineador

Tabla 3.11. Piezas de nivel 1 preliminares de la máquina MTPR-XN.

Pieza de nivel 1	Función	Observación
Sujetador del soporte del portaprobeta inferior	Anclar el portaprobeta inferior a la placa superior de la estructura fija	Es fija, sin embargo no puede ser un sistema ya que solo es una pieza
Soporte del portaprobeta inferior	Dar soporte al portaprobeta inferior	No es fácilmente desmontable, sin embargo no puede ser un sistema ya que solo es una pieza
Alineador	Dar soporte al portaprobeta superior y alinear la probeta durante el ensayo de tracción	Es fácilmente desmontable y cumple una función bien definida, pero no puede ser un sistema por ser una sola pieza
Portaprobeta	Portar la probeta durante el ensayo de tracción	Es fácilmente desmontable y cumple una función bien definida, pero no puede ser un sistema por ser una sola pieza
Perno, arandela y tuerca	Fijar sujetador y portaprobeta	Son varias y de diversas medidas

Las piezas presentadas en la Tabla 3.11 son todas aquellas que pueden ser desmontadas fácilmente, que sirven de fijación entre sistemas o que no es posible agrupar con otras que realicen la misma función.

### 3.5.2. MODIFICACIONES A LA MÁQUINA DE REFERENCIA

Se mantienen los sistemas establecidos en la Tabla 3.10 y se agregan otros que surgen de los requerimientos ya establecidos. La Tabla 3.12 muestra los sistemas y la Tabla 3.13 las piezas de nivel 1 de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.

Tabla 3.12. Sistemas de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.

Sistemas	Observación
Estructura fija	
Sistema hidráulico	
Estructura móvil	
Alineador de soportes	Se convierte a sistema debido a que la función asignada a la pieza del mismo nombre de la Tabla 3.11 no puede ser realizada por ella misma de manera que se cumplan los requerimientos
Soporte de portaprobeta	Se convierte a sistema debido a que la función asignada a la pieza del mismo nombre de la Tabla 3.11 no puede ser realizada por ella misma de manera que se cumplan los requerimientos
Soporte de mordazas	Este sistema es nuevo

Tabla 3.13. Piezas de nivel 1 de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.

Pieza de nivel 1	Observación
Portaprobeta desmontable	
Probeta redonda T1 y T2	T1 y T2 significan tipo 1 y tipo 2, respectivamente
Probeta redonda T3, T4 y T5	T3, T4 y T5 significan tipo 3, tipo 4 y tipo 5, respectivamente
Probeta plana W12.5	W12.5 significa un ancho de 12.5 mm
Probeta plana W6.0	W6.0 significa un ancho de 6.0 mm
Pernos, arandelas y tuercas	Son varios y de diversas medidas

La máquina no cuenta con subsistemas. En la sección 3.5.4 se hace un análisis más profundo de la estructuración de la máquina MTPR-XN, y se presenta la estructuración final en la documentación.

### **3.5.3. TIPOS DE PIEZAS DE LA MÁQUINA NUEVA**

Realizando el análisis y la clasificación respectiva, surgen los tipos de piezas siguientes: piezas simples, piezas compuestas, piezas de adquisición externa simples y piezas de adquisición externa compuestas. En la sección 3.5.4 se dan más detalles.

### **3.5.4. ESTRUCTURACIÓN FINAL DE LA MÁQUINA MTPR-XN**

En esta parte se hace un resumen de los resultados obtenidos después de haberse realizado un análisis exhaustivo, iteraciones y modificaciones al diseño hasta llegar a lo presentado en la documentación de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN, al final del documento, donde se muestra la estructuración final y los planos mecánicos de todas las piezas y los componentes, incluyendo el tipo y la máquina herramienta en la cual se mecaniza, representado en la codificación de las mismas.

Para detalles más completos y específicos es necesario acudir a la documentación de la máquina.

En la Fig. 3.16 se muestra la configuración de la máquina para cuando se realizan ensayos de tracción en probetas redondas. En la carpeta llamada "Redondas" se han agrupado todas las piezas que se ven involucradas y son activadas o suprimidas dependiendo del tipo y dimensiones del extremo de la probeta. En la Fig. 3.17 se muestra la configuración de la máquina para cuando se realizan ensayos de tracción en probetas planas. Al igual que para las probetas redondas, en la carpeta llamada "Planas" se han agrupado todas las piezas que se ven involucradas y son activadas o suprimidas dependiendo de las dimensiones de la probeta.

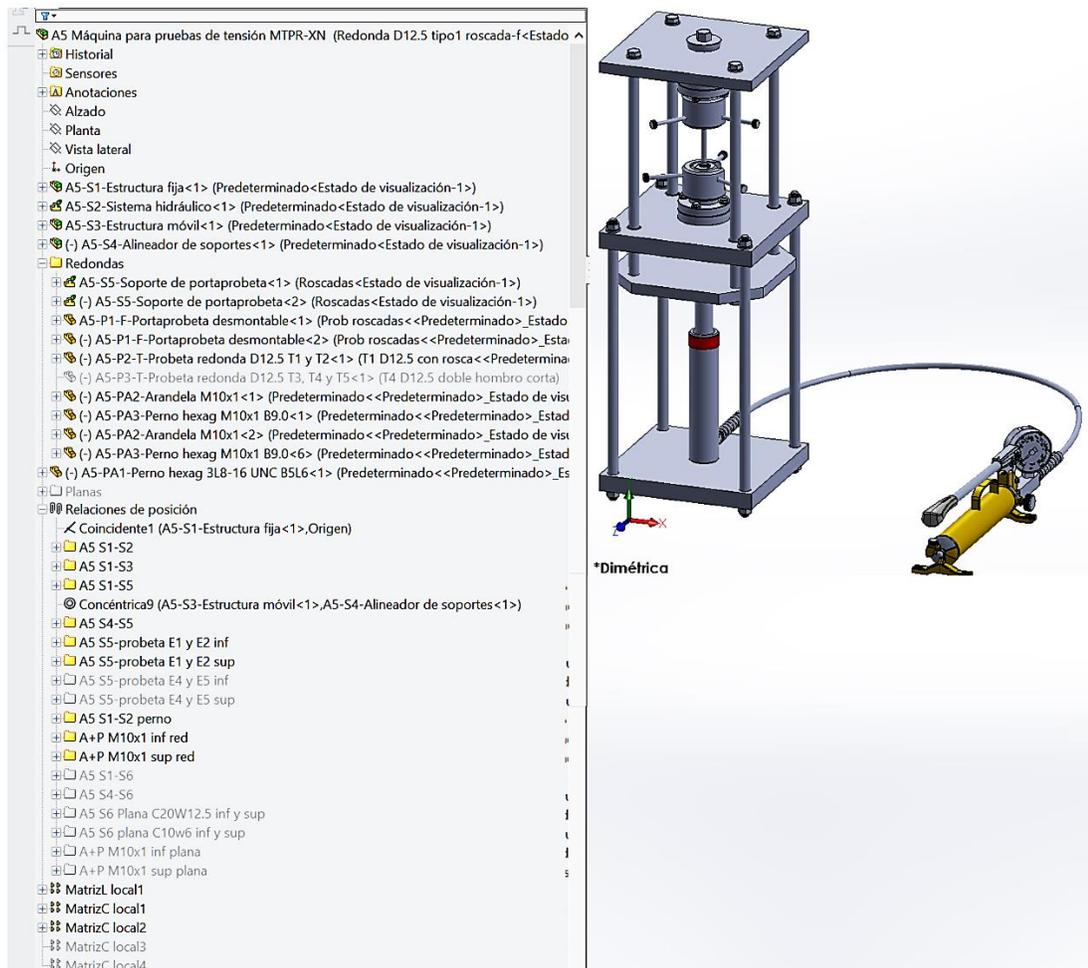


Fig. 3.16. Configuración de la máquina MTPR-XN para ensayos de tracción de probetas redondas.

Como puede observarse en la parte izquierda de las Figs. 3.16 y 3.17, aquellos modelos CAD que se usan para cada configuración, aparecen activos y los restantes suprimidos, al igual que las respectivas matrices y relaciones de posición. Todo esto se controla por medio de tablas de diseño para obtener a nivel CAD las configuraciones mostradas en la Fig. 3.18.

Las configuraciones mostradas en la Fig. 3.18 nos indican los tipos de probeta que pueden ensayarse en la máquina. Para las planas, "W12.5" indica un ancho de 12.5 mm en la sección reducida y "T5-19" espesores desde 5 hasta 19 mm, por ejemplo. De la misma manera para las probetas redondas, "D12.5" indica un diámetro de sección reducida de 12.5 mm y "tipo1" el tipo de

probeta, acompañado de otro indicador como lo es "roscada". Para todas las configuraciones la letra "f" indica que no es posible realizar ningún movimiento a la estructura móvil; es decir, que la máquina esta fija según el tipo de restricciones aplicadas, lo cual principalmente es para efectos de modelado CAD. La letra "m" indica que sí se le puede aplicar movimiento de abajo hacia arriba a la estructura móvil, como cuando se está realizando un ensayo de tracción.

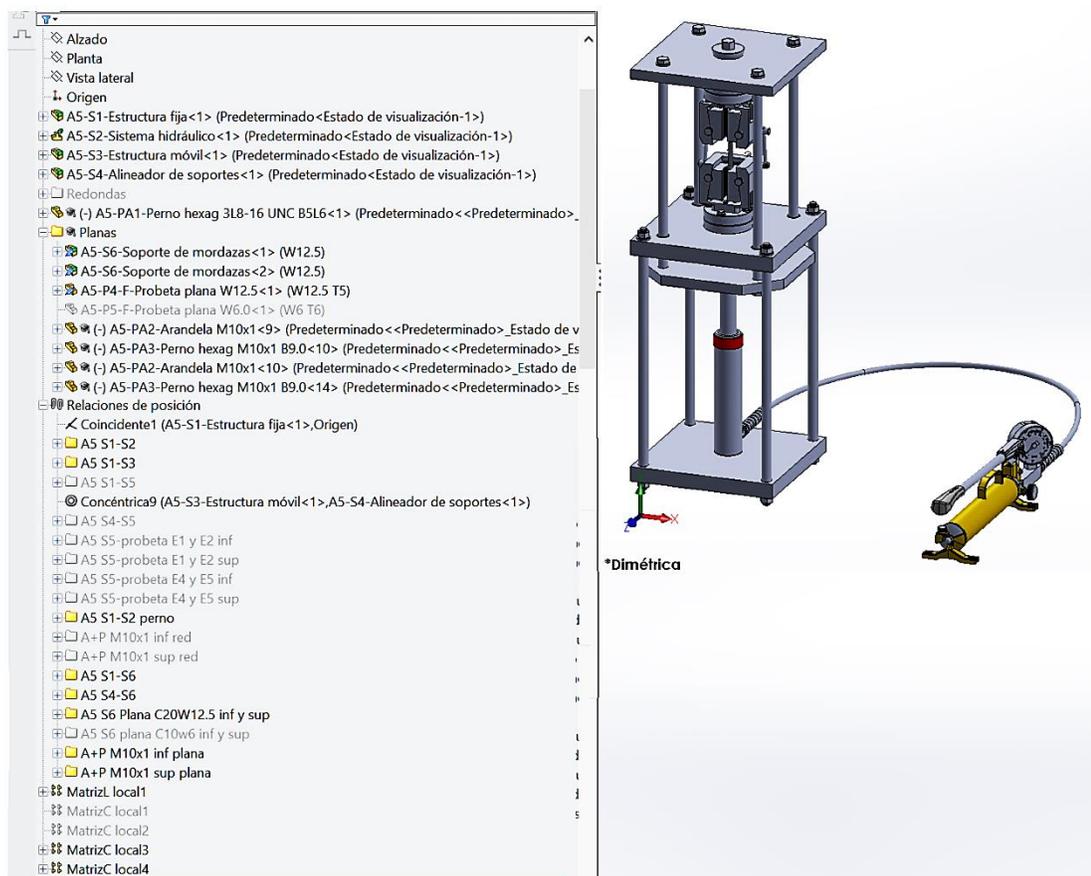


Fig. 3.17. Configuración de la máquina MTPR-XN para ensayos de tracción de probetas planas.

En esencia, la diferencia fundamental entre las configuraciones para el ensayo de probetas redondas o planas, es el tipo de soporte, siendo el sistema de la máquina llamado "soporte de portaprobeta", en el caso de las redondas, y

el "soporte de mordazas" en el caso de las planas. La Fig. 3.19 muestra estos sistemas, con el código A5-S5 y A5-S6, respectivamente.

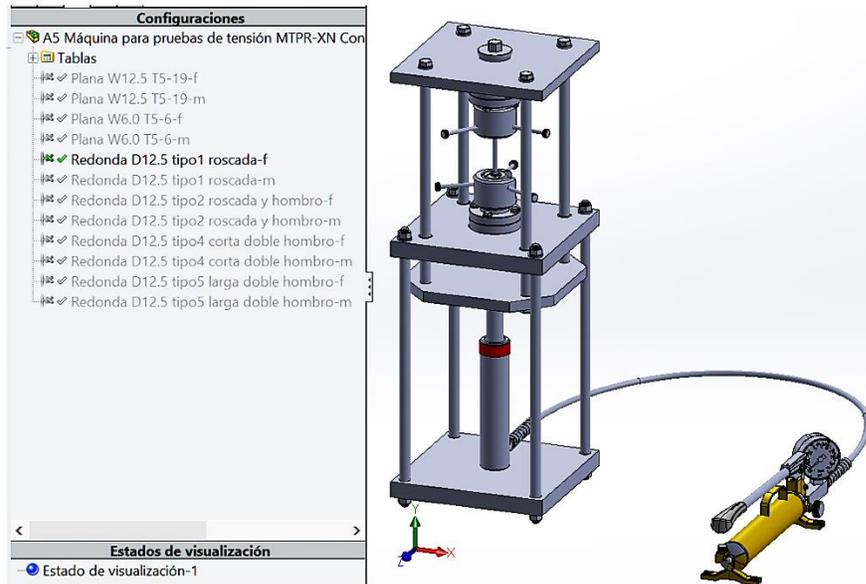


Fig. 3.18. Configuraciones a nivel CAD de la máquina MTPR-XN.



Fig. 3.19. Contenido de la carpeta padre de la máquina MTPR-XN.

Adicionalmente, la Fig. 3.19 brinda más información en relación al contenido de la carpeta padre del modelo CAD de la máquina. Se presentan los archivos ordenados de acuerdo al tipo: primero las carpetas que contienen todas las piezas de cada sistema, luego la carpeta de la documentación, después los archivos CAD de las piezas de nivel 1 y por último los archivos CAD de los ensamblajes de la máquina completa y cada uno de los sistemas.

La Fig. 3.20 muestra la estructura fija y la Fig. 3.21 muestra las piezas que lo componen. Debe notarse como la estructuración de la carpeta de cada uno de los sistemas está relacionada con la carpeta "A5 Máquina para pruebas de tracción MTPR-XN".

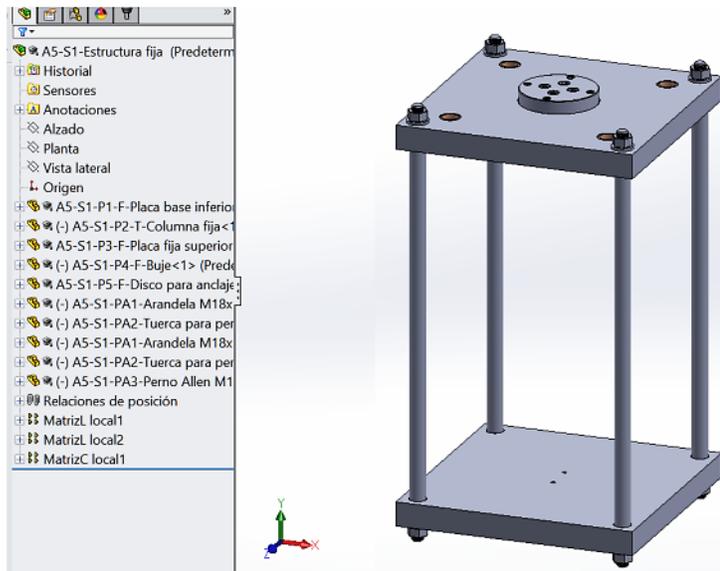


Fig. 3.20. Estructura fija de la máquina MTPR-XN.

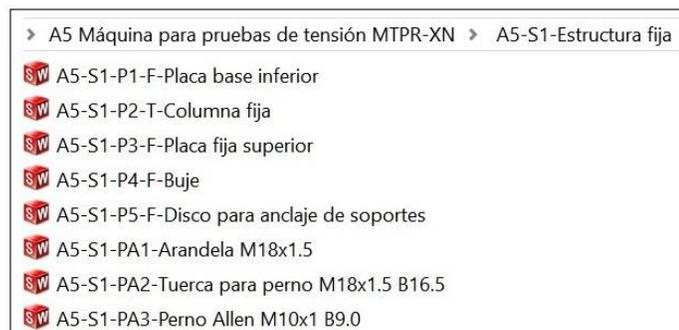


Fig. 3.21. Piezas de la estructura fija de la máquina MTPR-XN.

La placa base inferior cuenta con cajeras donde se introducen las columnas fijas para mejorar la estabilidad y la rigidez de la máquina. Además, cuenta con dos agujeros para pernos pasantes de 1/2 pulg UNC, que fijan el cilindro hidráulico, alineado de tal manera que la manguera de alta presión entre por la parte trasera de la máquina.

La placa fija superior, además de las cajeras para las columnas fijas, cuenta con una cajera circular con cuatro agujeros roscados M10x1 en el fondo, donde se coloca el disco para anclaje de soportes. Tiene además cajeras circulares donde se colocan a presión los bujes por los que se mueven las barras deslizantes de la estructura móvil. El disco cuenta con dos grupos de cuatro agujeros. Un grupo es para pernos Allen pasantes M10x1, incluyendo cajera para las cabezas de éstos, que sirven para anclar la pieza a la placa fija superior y el otro grupo de agujeros es roscado para pernos M10x1 que sirven para anclar el soporte de portaprobeta o el soporte de mordazas, dependiendo del tipo de probeta a ensayar. Se ha decidido incluir ésta pieza para dar versatilidad y dejar abierta la posibilidad de colocar cualquier tipo de soporte adicional de ser necesario. Los agujeros para el anclaje de los soportes pueden mecanizarse directamente sobre la placa superior, pero en el caso de colocar otro tipo de soporte donde no sea posible usar la configuración de estos, es más económico, fácil o conveniente modificar o mecanizar el disco para anclaje, que toda la placa.

Cada columna fija tiene el largo suficiente, de modo que permitan ensayar probetas redondas y planas con largo total de entre 105 y 255 mm. Además, el diámetro es el suficiente a fin de brindar robustez y resistencia. En ambos extremos tiene rosca fina M18x1.5 que permite una mejor unión y una grada que sirve como tope en el fondo de las cajeras.

Para el proceso de armado de éste sistema primeramente se colocan los bujes a presión en la placa fija superior, luego el disco para anclaje por medio de los pernos Allen. Después las columnas fijas se introducen en las cajeras de la placa base inferior y luego en las cajeras de la placa fija superior. Los

extremos roscados que sobresalen de éstas, se aseguran por medio de arandela y tuerca.

La Fig. 3.22 muestra el sistema hidráulico y la Fig. 3.23 muestra arriba de la línea negra las piezas que lo componen, y debajo el contenido de las carpetas de las piezas compuestas. Este sistema tiene la particularidad de estar constituido en su totalidad por piezas tipo PAE.

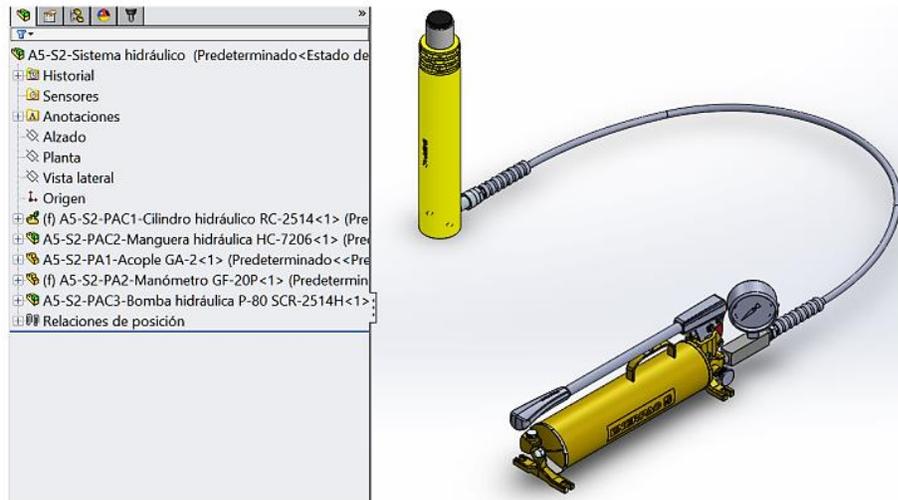


Fig. 3.22. Sistema hidráulico de la máquina MTPR-XN.



Fig. 3.23. Piezas del sistema hidráulico de la máquina MTPR-XN.

La máquina de referencia cuenta con un cilindro hidráulico, una bomba, un acople y una manguera de alta presión marca ENERPAC. Para efectos demostrativos de la metodología, se mantiene ésta marca como proveedor y referencia. Se realiza la selección de los elementos hidráulicos como se muestra en la sección 3.6.1.

En la página web del proveedor se ofrecen modelos CAD de los diferentes productos que brindan, por lo que se descargan todos los modelos. Al revisarlos se nota que los modelos están en formato con extensión ".igs". Además, los ensamblajes de la bomba y del cilindro hidráulico no cuentan con relaciones de posición, necesarias para mejor control de éstos y para darle significado físico. El modelo CAD descargado de la manguera de alta presión, presenta una pieza recta, sin posibilidad de curvarla, para efectos de modelado de la máquina este modelo no es funcional. Se corta y se deja solamente un extremo, se crea la parte curva de la manguera y se modela como un ensamblaje, convirtiéndose en PAE compuesta. Se verifica que la longitud total de la manguera sea el valor real.

El acople GA-2 y el manómetro GF-20B se han modelado como pieza individuales; es decir, PAE simples.

Un procedimiento para armar este sistema, es el siguiente: conectar el acople a la bomba, montar el manómetro en el acople, conectar la manguera al acople y por ultimo roscar el cilindro al extremo correspondiente de la manguera.

En las Figs. 3.24 y 3.25 se muestran la estructura móvil y sus piezas. Es idéntica a la estructura fija y las consideraciones ya mencionadas son válidas aquí también, si aplican.

A la placa inferior se le han recortado las esquinas para permitir el deslizamiento sin que interfiera con las columnas fijas. La placa superior tiene una cavidad esférica donde asienta el eje del alineador. Al igual que las columnas fijas, las barras deslizantes son del largo suficiente para permitir realizar ensayos de tracción para probetas redondas y planas de entre 105 y 255 mm de largo total. El proceso de armado es igual que para la estructura fija.

En las Figs. 3.26 y 3.27 se muestran el sistema alineador de soportes y sus piezas. El sistema está constituido por dos piezas simples y cuatro pernos M10x1. El eje tiene en un extremo una forma esférica incompleta, la cual permite asentar en la cavidad del mismo tipo de la placa móvil superior, de tal forma que sirve como un rodamiento esférico, cuya función principal es transmitir la fuerza de tracción a la probeta a lo largo de su eje. Ese mismo extremo se concluye con una forma hexagonal que permite ser soporte para cuando se coloca el disco para anclaje de soportes. El disco de anclaje es similar al disco de anclaje inferior, siendo diferente solo por la configuración de agujeros M10x1 de anclaje al eje. Cumple las mismas funciones que el ya mencionado.

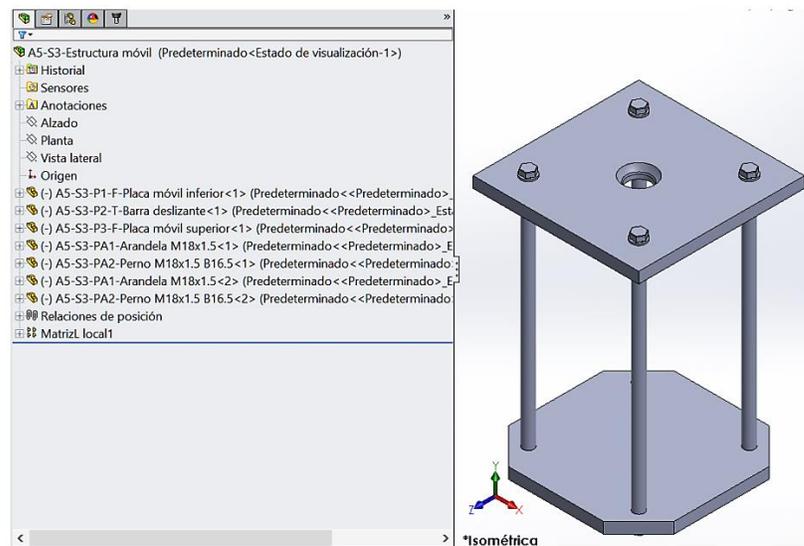


Fig. 3.24. Estructura móvil de la máquina MTPR-XN.

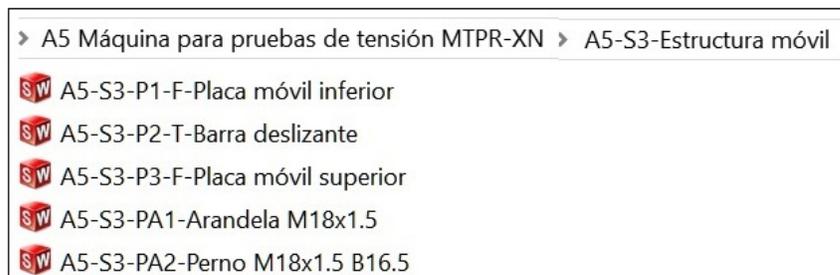


Fig. 3.25. Piezas de la estructura móvil de la máquina MTPR-XN.

Para el proceso de montaje, primero se hace pasar el eje por el agujero de la cavidad esférica de la placa superior móvil y se asienta, después se coloca el disco de anclaje en el extremo opuesto y se asegura con los pernos M10x1.

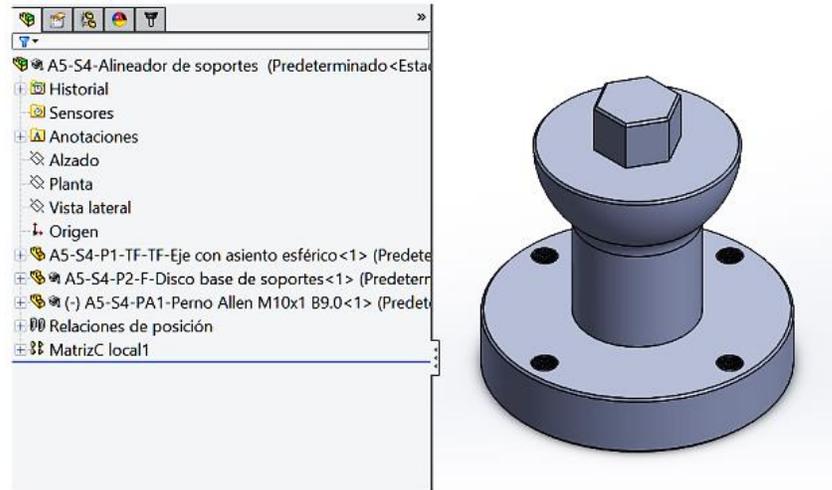


Fig. 3.26. Alineador de soportes de la máquina MTPR-XN.

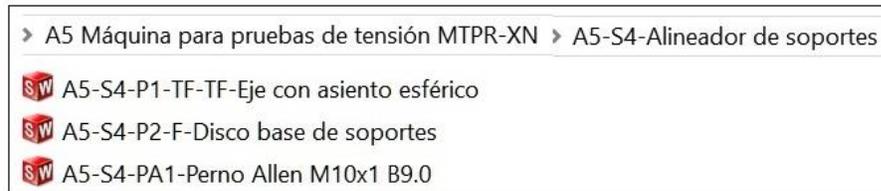


Fig. 3.27. Pieza del alineador de soportes de la máquina MTPR-XN.

En las Figs. 3.28 y 3.29 se pueden ver el sistema soporte de portaprobeta y sus piezas. El sistema está constituido por una pieza simple fija con la base en forma de disco que sirve para anclar éste. A ésta pieza se le rosca un collar con mangos, el cual mantiene el portaprobeta en su lugar durante el ensayo de tracción, y también permite la intercambiabilidad de éste. El portaprobeta está formado por una parte fija que se mantiene en su lugar en el soporte fijo y una parte desmontable (pieza de nivel 1) que se coloca después de acomodar la probeta. Ambos son intercambiables, dependiendo del tipo de probeta redonda.

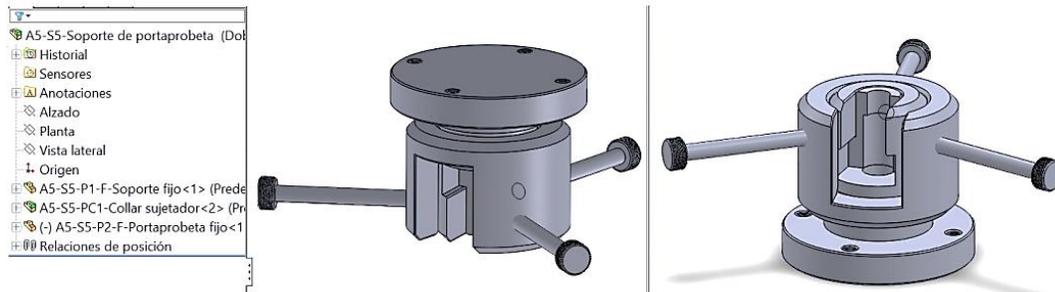


Fig. 3.28. Soporte de portaprobeta de la máquina MTPR-XN.



Fig. 3.29. Piezas del soporte de portaprobeta de la máquina MTPR-XN.

El sistema de mordazas es el sistema más complejo de la máquina, tanto por el número de piezas como la naturaleza de éstas. Puede observarse en las Figs. 3.30 y 3.31. El soporte principal del sistema encierra un mecanismo de piñón y cremallera que permite subir y bajar las mordazas, posibilitando el ensayo de probetas del mismo ancho y diferente espesor. Las mordazas son intercambiables para diferentes anchos e incluso pueden adaptarse para sujetar probetas con extremo redondo. La posición natural de las mordazas es cerrada, manteniéndose así por medio de resortes, los cuales al ser piezas flexibles y para darles esta característica, se han modelado como ensamblajes. Al soporte principal se le fija un disco para poder montarlo en la posición correspondiente cuando se desea ensayar probetas planas, también cuenta con adaptaciones necesarias para permitir que todo el mecanismo interno funcione adecuadamente e incluso se han tomado consideraciones para posibilitar el montaje.

El proceso para el montaje de todas las piezas del sistema, comienza colocando a presión los rodamientos, luego introduciendo el engrane en la cavidad del soporte fijo, por donde se atraviesa el eje con la cuña y el mango en su posición y se asegura mediante anillos de retención.

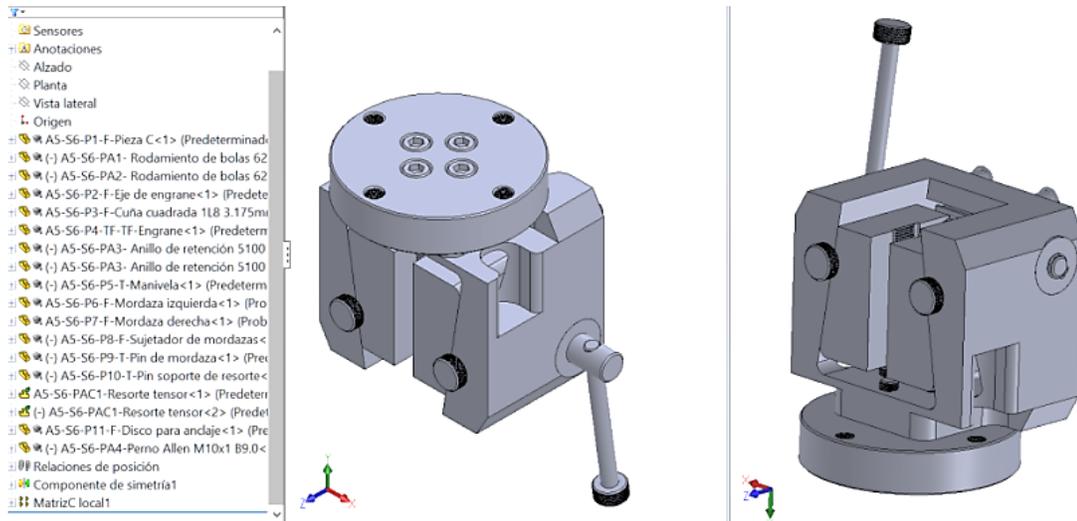


Fig. 3.30. Soporte de mordazas de la máquina MTPR-XN.

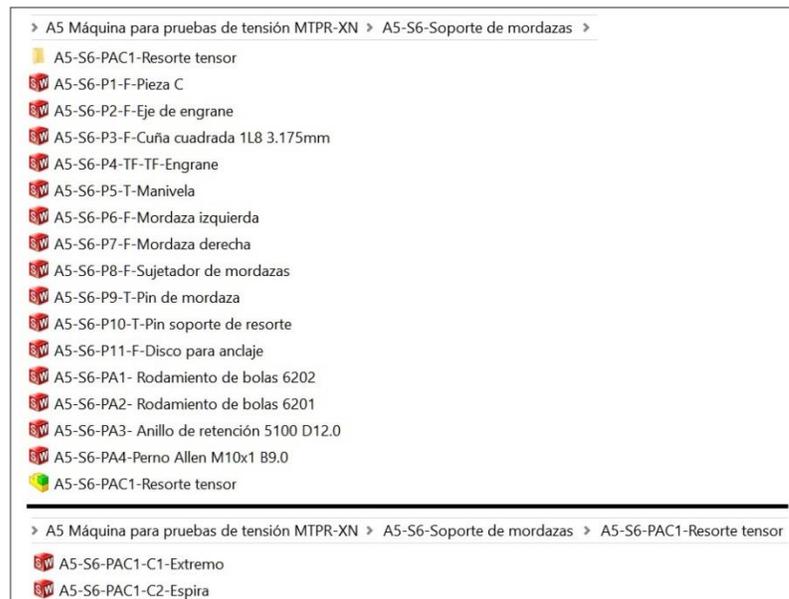


Fig. 3.31. Piezas del soporte de mordazas de la máquina MTPR-XN.

Después se colocan las mordazas con los pines que soportan los resortes y los sujetadores de éstas, incluyendo los resortes. Las mordazas tiene la cremallera mecanizada sobre ella y debe verificarse que los dientes se unan adecuadamente con los del engrane. Por último se coloca mediante pernos M10x1 el disco para el anclaje del sistema a la máquina.

Las piezas de nivel 1, para este caso, son aquellas que ayudan a simular la funcionalidad física de la máquina. Por ejemplo, para el ensayo de tracción de una probeta redonda tipo 1, la máquina debe estar adecuada con el soporte de portaprobeta, luego colocar la probeta en el portaprobeta fijo y después montar el portaprobeta desmontable, girar el collar roscado y se está listo para el ensayo. La misma lógica puede usarse para el ensayo de probetas planas.

La pieza "Probeta redonda D12.5 T1 y T2" contiene las configuraciones para las probetas con extremo roscado (tipo 1 y tipo 2), que se muestran en la Fig. 3.32.

De la misma manera, la pieza "Probeta redonda D12.5 T3, T4 y T5" contiene las configuraciones para las probetas con extremo de hombro. En la Fig. 3.33 se muestra la forma para la tipo 4 y la tipo 5. La máquina no se ha adaptado para ensayar probetas tipo 3 por medio del uso de portaprobetas (ver sección 3.6.1 para más detalles).

Las configuraciones para el portaprobeta desmontable, dependiendo del extremo de la probeta redonda se muestran en la Fig. 3.34. Las contiene el archivo llamado "Portaprobeta desmontable".

Las dimensiones de las probetas se han parametrizado en función del diámetro de la sección reducida, como ya se ha establecido en las Tablas 3.4 - 3.8. En la Fig. 3.35 puede verse como se han establecido las fórmulas para las probetas tipo 1 y tipo 2, en la respectiva tabla de diseño.

Para la tabla de diseño del portaprobeta desmontable, se han tomado únicamente las dimensiones de interés de la probeta, en este caso aquellas representadas con la letra "C, E y F" (ver Fig. 3.8).



Fig. 3.32. Configuraciones para las probetas con extremo roscado (tipo 1 y tipo 2) de la máquina MTPR-XN.

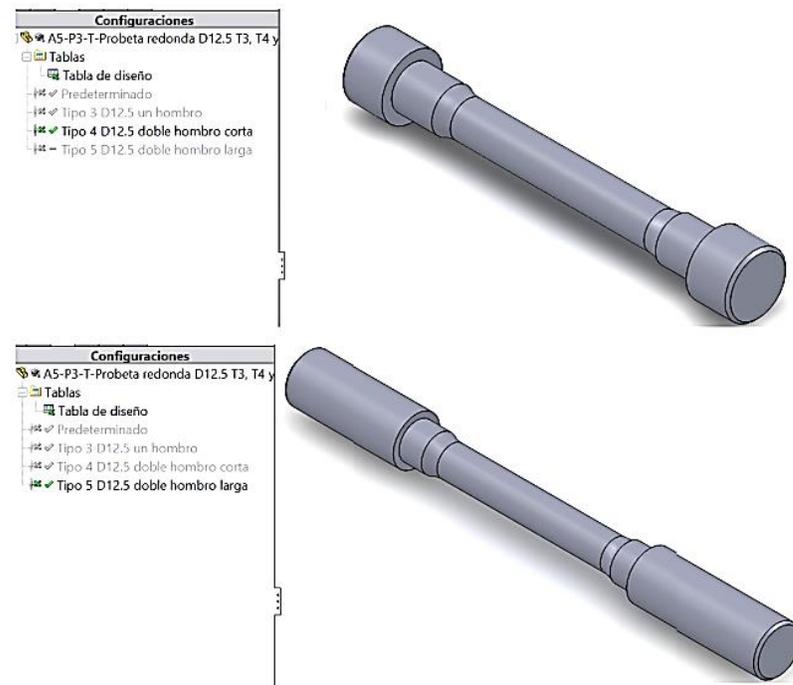


Fig. 3.33. Configuraciones para las probetas con extremo de hombro (tipo 4 y tipo 5) de la máquina MTPR-XN.

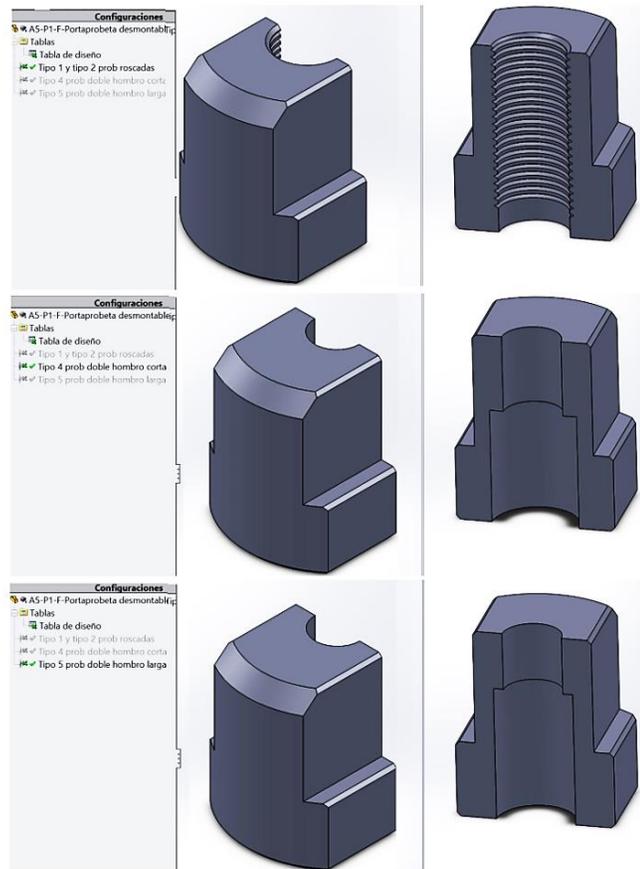


Fig. 3.34. Configuraciones del portaprobeta desmontable de la máquina MTPR-XN.

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
Tabla de diseño para: Probeta d12.5 solo rosca																
	D@Croquis1	E@Croquis1	F7@Croquis1	L@Croquis1	G@Croquis6	A@Croquis2	R@Croquis2	D@Croquis2	F7@Croquis2	E@Croquis2	A@Croquis3	E@Croquis3	E2@Croquis3	F@Croquis3	e@Croquis3	B@Croquis3
Tipo 1 D12.5 con rosca	12.5	20	10	150	50	81.25	12.5	12.5	7.5	50	81.25	15	15	15	50	35
Tipo 2 D12.5 con rosca y homl	12.5	20	10	160	50	81.25	12.5	12.5	7.5	50	81.25	15	15	15	50	24.375
<b>Fórmulas</b>	D	1.60		L@Croquis1 Introduzca un valor válido para este parámetro.	6.50	10						1.20		1.20		2.80
				145		56 min	10 min			*complemento					*complemento	35 aprox *controlado por geometría del dibujo
<b>Fórmulas</b>	D	1.60		12.80	40	6.50	10					1.20		1.20		20
				155 aprox		56 min	10 min			*complemento					*complemento	25 aprox *controlado por geometría del dibujo

Fig. 3.35. Tabla de diseño para las configuraciones de las probetas con extremo roscado (tipo 1 y tipo 2) de la máquina MTPR-XN.

Las Figs. 3.36 y 3.37 muestran las configuraciones de las probetas planas de 12.5 mm y 6.0 mm de ancho, respectivamente. Debe observarse como las configuraciones están establecidas para el espesor de las mismas, de

manera que pueda elegirse el deseado para un determinado ensayo de tracción. En las Tablas 3.1 - 3.3 se han establecido las fórmulas para la parametrización en función del ancho. La máquina no ha sido adaptada para ensayar probetas de 40 mm de ancho.

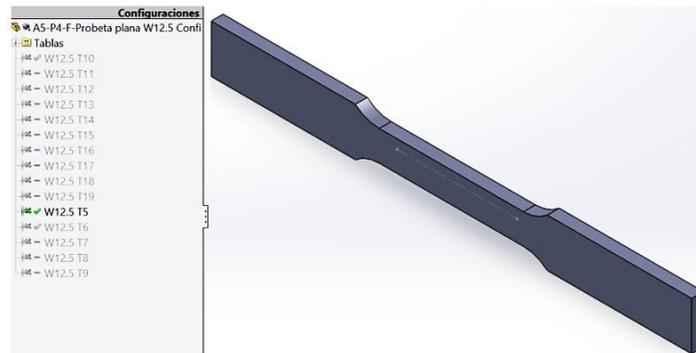


Fig. 3.36. Configuraciones de la probeta plana de ancho 12.5 mm de la máquina MTPR-XN.

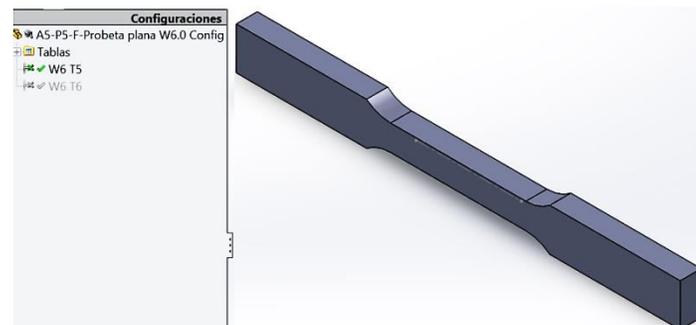


Fig. 3.37. Configuraciones de la probeta plana de ancho 6.0 mm de la máquina MTPR-XN.

Las demás piezas de nivel 1, son: pernos de 1/2 pulg UNC para fijar el cilindro hidráulico a la placa base inferior de la máquina y pernos M10x1 con su respectiva arandela, para fijar los soportes al disco de anclaje de soportes.

### 3.6. CARÁCTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN MTPR-XN

Aquí se establecen las características finales logradas mediante los procesos iterativos de la sección 3.5, en referencia a las características deseables descritas en la sección 3.3.

### 3.6.1. CAPACIDAD, PROBETAS Y MATERIALES A ENSAYAR

La capacidad de la máquina se define por el tipo de material de las probetas que es posible ensayar. Esto depende de dos parámetros: la capacidad del cilindro hidráulico y el área de la sección reducida de la probeta.

Durante el proceso iterativo se establece que la mejor opción es un cilindro hidráulico ENERPAC RC-2514 de 232 kN (25 ton), con una carrera de 362 mm, un área efectiva de 33.2 cm<sup>2</sup>, capacidad de aceite de 1202 cm<sup>3</sup>, altura de 322 mm cuando está retraído y de 838 mm cuando está completamente extendido. Estos datos se muestran en la Fig. 3.38, los cuales se han tomado del catálogo del fabricante.

De un catálogo de selección rápida, se establecen los componentes de un kit para el cilindro, que incluye una bomba P-80 modelo SCR-2514H, una manguera modelo HC-7206, un manómetro GF-20B y un adaptador modelo GA-2, todos del mismo fabricante. En la Fig. 3.39 se muestra una parte de dicho catálogo con la selección remarcada.

Single-Acting, General Purpose Cylinders						
▼ QUICK SELECTION CHART For complete technical information see next page.						
Cylinder Capacity ton (kN)	Stroke (mm)	Model Number	Cylinder Effective (cm <sup>2</sup> )	Oil Capacity (cm <sup>3</sup> )	Collapsed Height (mm)	 (kg)
5 (45)	76	RC-53	6,5	50	165	1,5
	127	RC-55*	6,5	83	215	1,9
	177	RC-57	6,5	115	273	2,4
	232	RC-59	6,5	151	323	2,8
10 (101)	203	RC-108	14,5	294	298	5,4
	257	RC-1010*	14,5	373	349	6,4
	304	RC-1012	14,5	441	400	6,8
	356	RC-1014	14,5	516	450	8,2
15 (142)	203	RC-158	20,3	411	322	8,2
	254	RC-1510	20,3	516	373	9,5
	305	RC-1512	20,3	619	423	10,9
	356	RC-1514	20,3	723	474	11,8
25 (232)	102	RC-254*	33,2	339	215	8,2
	158	RC-256*	33,2	525	273	10,0
	210	RC-258	33,2	697	323	12,2
	261	RC-2510	33,2	867	374	14,1
	311	RC-2512	33,2	1033	425	16,3
	362	RC-2514*	33,2	1202	476	17,7
30(295)	209	RC-308	42,1	880	387	18,1

**RC Series**



Capacity:  
**5-95 ton**

Stroke:  
**76-362 mm**

Maximum Operating Pressure:  
**700 bar**

**80%** Think Safety

Manufacturer's rating of load and stroke are maximum safe limits.

Good practice encourages using only 80% of these ratings.

Page: 2

Fig. 3.38. Características del cilindro hidráulico de la máquina MTPR-XN.

La máquina MTPR-XN ha sido adaptada para poder ensayar probetas redondas tipo 1, tipo 2, tipo 4 y tipo 5 normalizadas. El diámetro de la sección reducida para todas éstas se establece en 12.5 mm. Además, también se pueden ensayar probetas planas normalizadas de 12.5 mm de ancho y espesores de entre 5 y 19 mm, y también la probeta plana proporcional de 6.0 mm de ancho, siendo en este caso los espesores posibles 5 y 6 mm. Para lograr estas condiciones se ha tomado en cuenta el criterio que recomienda el fabricante de no usar más del 80% de la carrera o más del 80% de la fuerza (por consiguiente de la presión). Realizando algunas aproximaciones, se establece que la carrera máxima que debería usarse para los ensayos de tracción es de 289 mm. En ninguno de los casos de los ensayos de tracción se ven comprometidos estos valores.

**Single-Acting, Cylinder Pump Sets** **ENERPAC**

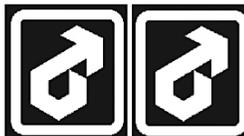




Capacity:  
**5-95 ton**

Stroke:  
**76-362 mm**

Maximum Operating Pressure:  
**700 bar**



Cylinder Selection (See Cylinder Section of this catalog for full product descriptions.)				Pump selection (See the Pump Section in this catalog for full product descriptions.)						Accessories included		
Set Capacity ton (kN)	Cylinder Model Number	Stroke (mm)	Collapsed Height (mm)	Hand Pump P-142	Hand Pump P-392	Hand Pump P-80	Foot Pump P-392FP	XA-Series Air Pump XA-11	XC-Series Cordless Pump XC-1201ME 2)	Hose Model Number	Gauge Model Number	Gauge Adaptor Model Nr.
5 (45)	RC-55	127	215		-	-	-	-	-	HC-7206	GP-10S	GA-4
	RC-102	54	121	-		-				HC-7206	GF-10B	GA-2
10 (101)	RC-106	156	247	-		-				HC-7206	GF-10B	GA-2
	RC-1010	257	349	-		-				HC-7206	GF-10B	GA-2
15 (142)	RC-154	101	200	-		-				HC-7206	GP-10S	GA-2
	RC-156	152	271	-		-				HC-7206	GP-10S	GA-2
25 (232)	RC-252	50	165	-		-				HC-7206	GF-20B	GA-2
	RC-254	102	215	-		-				HC-7206	GF-20B	GA-2
	RC-256	158	273	-		-				HC-7206	GF-20B	GA-2
50 (498)	RC-2514	362	476	-	-		-		-	HC-7206	GF-20B	GA-2
	RC-506	159	282	-	-		-		-	HC-7206	GF-50B	GA-2

Fig. 3.39. Selección de componentes del sistema hidráulico de la máquina MTPR-XN.

El área inicial de las probetas redondas es de 122.72 mm<sup>2</sup> y haciendo la conversión de unidades, el área efectiva del cilindro hidráulico es de 3320 mm<sup>2</sup>. Usando la definición dada para K1, se tiene que su valor es 27.0535.

Para la probeta plana de 12.5 mm de ancho y espesor 5 mm el área inicial es de 62.5 mm<sup>2</sup> y K1 da como resultado 53.12. Para un espesor de 19 mm, se tiene un área de 237.5 mm<sup>2</sup> y K1 de 13.9789. En el caso de la probeta plana de 6.0 mm de ancho y espesor 5 mm se tiene un área de 30.0 mm<sup>2</sup> y K1 de 110.6666. Si el espesor de la probeta es de 6 mm se tiene un área de 36.0 mm<sup>2</sup> y K1 con un valor de 92.222.

El fabricante establece que la máxima presión permisible en el cilindro hidráulico es de 700 bar. Realizando la conversión y aplicando el factor del 80%, la máxima presión posible de usar es de 56 MPa. Sustituyendo los valores anteriores en la Ec. 3.4, se tienen las resistencias máximas a la tracción de cada tipo de probeta. Los resultados se presentan en la Tabla 3.14.

Tabla 3.14. Resistencias máximas a la tracción para las probetas de la máquina para ensayos de tracción MTPR-XN.

Tipo de probeta	Resistencia máxima a la tracción, MPa
Probeta redonda tipo 1, 2, 4 y 5.	1515
Probeta plana de 12.5 mm de ancho	Para un espesor de 5 mm, 2974 Para un espesor de 19 mm, 782
Probeta plana de 6.0 mm de ancho	Para un espesor de 5 mm, 6197 Para un espesor de 6 mm, 5164

Debe verificarse cuales materiales pueden ser sometidos a ensayo en la máquina MTPR-XN, para lo cual deben consultarse tablas con propiedades de materiales como las de los apéndices 3 – 12 del libro "Diseño de elementos de máquinas" (Robert L. Mott, 2006).

Aun cuando no se muestra en las configuraciones de la máquina MTPR-XN ya descritas, en ésta también se pueden ensayar la probeta plana tipo 1 de la Fig. 3.4 la probeta tipo 3 de la Fig. 3.9, la probeta normalizada para el hierro maleable de la Fig. 3.12 y otras similares, con un diámetro en el extremo de 15 a 24 mm. Incluso pueden ser montados tubos con diámetros exteriores entre los valores ya mencionados. Esto es posible mediante una variación aplicada a las mordazas, como se muestra en la Fig. 3.40. Debe aplicarse el procedimiento

utilizado para obtener la Tabla 3.14 para estimar los materiales que es posible de ensayar con las probetas descritas en este párrafo.

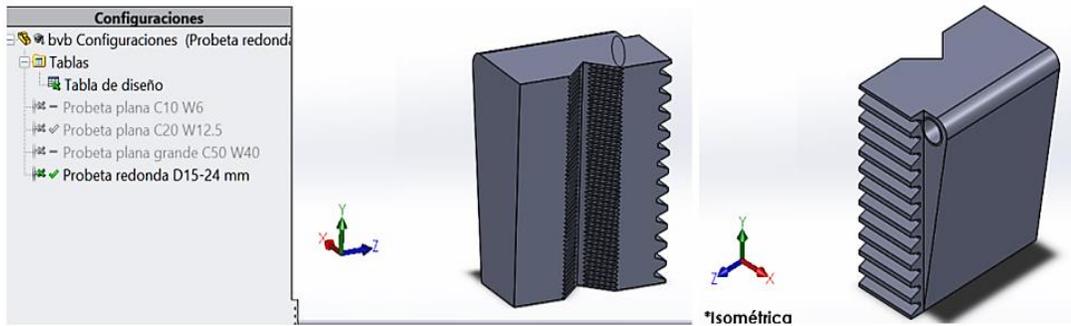


Fig. 3.40. Modificación de mordazas para sujetar probetas con extremo redondo y tubos en la máquina MTPR-XN.

### 3.6.2. VERSATILIDAD

Para demostrar la versatilidad del diseño se trata el siguiente caso: Se quiere obtener el modelo CAD para la Máquina para pruebas de tracción MTRH-XN mostrada en la Tabla 3.9, a partir de la máquina para pruebas de tracción MTPR-XN. Esto es posible mediante el procedimiento siguiente:

- Copiar la carpeta llamada "A5 Máquina para pruebas de tracción MTPR-XN" (ver Fig. 3.19) con la totalidad de su contenido;
- Abrir el archivo "A5 Máquina para pruebas de tracción MTPR-XN" y activar la configuración para la probeta tipo 4;
- Eliminar las configuraciones para las probetas tipo 1 y tipo 2;
- Eliminar todas las configuraciones para las probetas planas;
- Eliminar primeramente todos los modelos CAD de la carpeta llamada "Planas" y luego ésta;
- Eliminar la pieza "A5-N1-P2-T-Probeta redonda D12.5 T1 y T2" de la carpeta "Redondas";

- Eliminar primeramente todas las relaciones de posición de las carpetas llamadas "A5 S5-probeta E1 y E2 inf" y "A5 S5-probeta E1 y E2 sup" y luego éstas;
- Eliminar todos aquellos remanentes innecesarios que queden luego de todo este procedimiento (por ejemplo, las carpetas de relaciones de posición);
- Cambiar "A5", por "A2" en todos los archivos (piezas, ensamblajes, planos y otros); y
- Realizar todas las ediciones pertinentes en las piezas, ensamblajes, planos, y la documentación de la máquina.

A partir de la conversión anterior; de un modelo de máquina a otro, puede verse como la metodología debe aplicarse, realizando las adaptaciones menores que sean necesarias. Se sugiere revisar la documentación de la máquina MTPR-XN para más detalles.

Otra forma de ver la versatilidad del diseño, es mediante la adaptación de otras piezas, que permitan ensayar probetas de otro tipo. Por ejemplo, la probeta tipo 1 para el hierro fundido (Fig. 3.13) puede ser ensayada al modificar el portaprobeta para la probeta tipo 4 de la máquina MTPR-XN, cambiando únicamente las dimensiones "F" de 15 a 16 mm y "E" de 15 a 6 mm.

Adicionalmente, la característica principal de la probeta tipo 3 de la Fig. 3.9 es que no tiene hombro, por lo que no se puede sujetar de manera adecuada con un portaprobeta. La probeta para las fundiciones, también puede ser ensayada mediante modificaciones similares a las mordazas, tal como las realizadas para las tipo 3.

### **3.6.3. DISEÑO CAD/CAM Y PROGRAMACIÓN CAM**

Parte de las limitaciones que presenta el torno con CNC se han resuelto haciendo uso del centro de mecanizado, para piezas que es más adecuado

realizarlas en torno (observar la codificación de las diferentes piezas). Hay algunas para las cuales, el utilizar el centro de mecanizado incluso resulta más conveniente ya que se pueden realizar con un solo montaje y en una sola máquina herramienta.

A continuación, se describe de manera general la metodología aplicada para el modelado de las diferentes piezas. Cabe destacar que en su mayor parte, es la misma ya explicada en el capítulo II, por lo que aquí se comentan solamente aquellos detalles adicionales o propios de la estrategia esperada para la mecanización de las mismas.

Las operaciones para el modelado de las piezas han sido agrupadas en carpetas llamadas "job1", "job2", o con nombres parecidos o representativos. Cada carpeta hace referencia a un montaje de la pieza. Hay piezas que es posible realizarlas de un solo montaje y otras que necesitan más. Aquellas operaciones que no se encuentran dentro de ninguna carpeta, es porque no se realizan en ninguna máquina herramienta, todas las operaciones de roscado, por ejemplo, o porque son operaciones intermedias entre un montaje y otro, o situaciones similares. Para el modelado de esta máquina, todas las operaciones de roscado se hacen a mano, mediante terraja o machuelo, cuando sea posible.

Adicionalmente a lo anterior, se dibuja el stock de cada pieza de acuerdo a la estrategia de mecanizado empleada.

Los archivos de los códigos G y M para el mecanizado de cada pieza, corresponden a uno por cada montaje, en general.

El modelado CAD para la placa base inferior, Fig. 3.41a, y la placa fija superior, Fig. 3.41b, de la estructura fija, es idéntico, siendo más complejo para el segundo.

Para efectos del mecanizado, al programarlo para la placa fija superior, básicamente se tiene la programación para la otra placa, siendo necesario solamente agregar físicamente dos agujeros taladrados de 13 mm de diámetro para soporte del cilindro hidráulico. Para casos como éste, es necesario generar archivos adicionales a los correspondientes a cada montaje de códigos G y M.

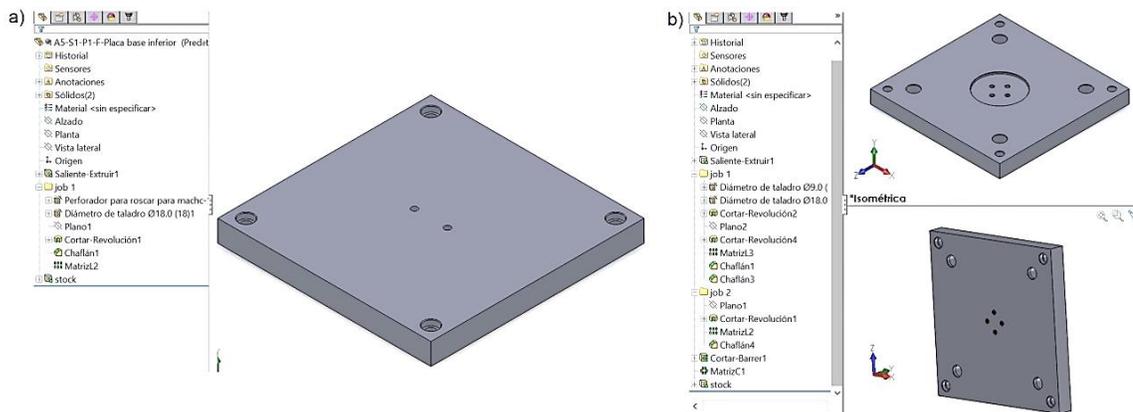


Fig. 3.41. Operaciones de modelado: a) placa base inferior y b) placa fija superior de la estructura fija.

Si se hicieran las programaciones CAM por separado, la placa base inferior necesitaría solo un montaje, en cambio la placa fija superior necesitaría dos. Para la placa fija superior se tienen dos archivos, para la otra placa se debe agregar el archivo correspondiente a los agujeros de 13 mm, cuya operación puede programarse en el archivo CAD correspondiente, o incluso puede realizarse una programación manual de los códigos.

Para el buje, el modelado se ha realizado como fresado, partiendo de un stock cilíndrico, el cual, por algún medio es posible de sujetar a la mesa de trabajo. En cierta medida, este modelo es trivial, debido a que solamente se mecaniza un agujero con broca y luego una cajera hasta la medida deseada. En el caso de realizarse el mecanizado en torno, las operaciones usadas, incluso son representativas, Fig. 3.42.

El modelado para el disco de anclaje de soportes es básicamente el mismo que el disco base de soportes del sistema alineador, solo que más simple, Fig. 3.43a y Fig. 3.43b, respectivamente. La única diferencia entre el "job1" del primero y el del segundo, es la posición de los agujeros de 16 mm de diámetro. Se realiza la programación CAM del segundo, para el que es necesario dos montajes. El cambio de las coordenadas de posición de los cuatro agujeros de 16 mm durante el mecanizado es bastante sencillo, por lo que se deja a la destreza del operador del centro de mecanizado, previa advertencia, o se agrega un nuevo archivo de código por parte del

programador, si se realiza por separado el mecanizado de cada una de estas piezas. Ver el caso ya citado para la placa base y superior.

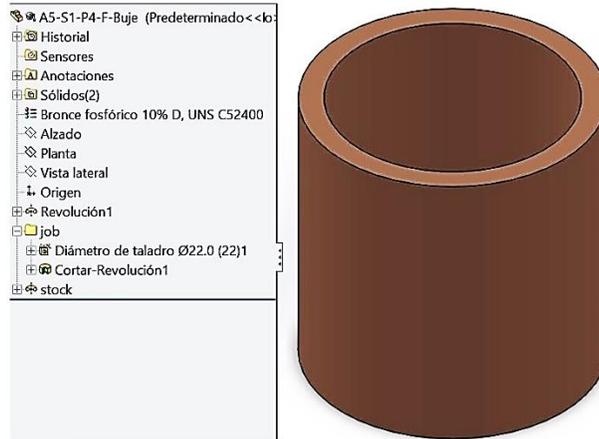


Fig. 3.42. Operaciones para el modelado del buje de la estructura fija.

El modelado del disco para anclaje del soporte de mordazas, se puede obtener de la manera descrita para el disco de anclaje de soportes, la única diferencia entre estos modelos, es la distancia radial desde el centro de la pieza hasta el centro de los agujeros con cajeras, ver Fig. 3.43a y Fig. 3.44.

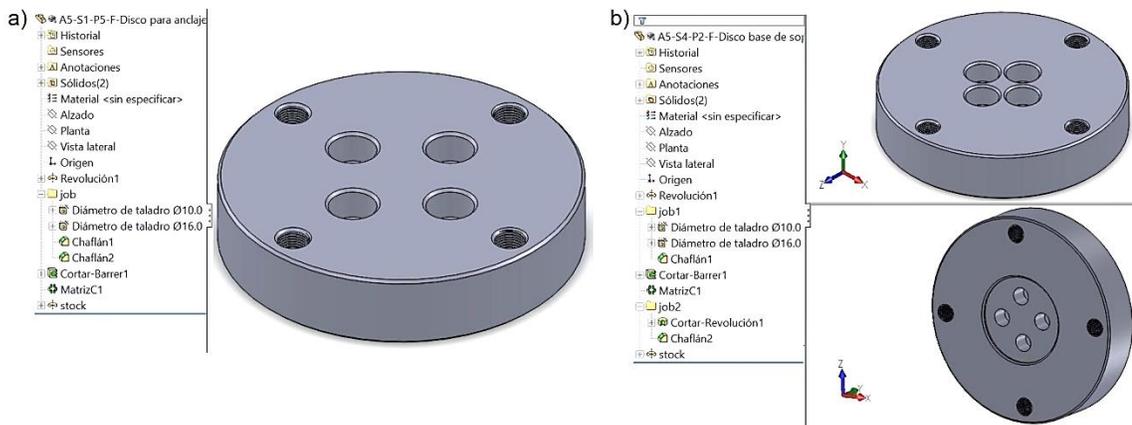


Fig. 3.43. Operaciones de modelado: a) para el disco de anclaje de soportes de la estructura fija y b) para el disco base de soportes del sistema alineador.

En el caso de las placas de la estructura móvil, el "job1" de la placa inferior, es igual al "job1" de la superior (cajeras para las barras deslizantes),

Fig. 3.45a y Fig. 3.45b, respectivamente. El mecanizado para el otro montaje de cada placa, pueden realizarse por separado. Debe notarse que al ajustar ciertos aspectos en la programación CAM podría usarse un solo archivo CAD para programar el mecanizado de ambas piezas. Lo importante aquí, es resaltar la posibilidad de adecuaciones a conveniencia, para lograr simplificaciones de los procesos globales, pensando en función de toda la máquina, ubicándose en cada sistema e integrando pasos intermedios entre piezas y componentes.

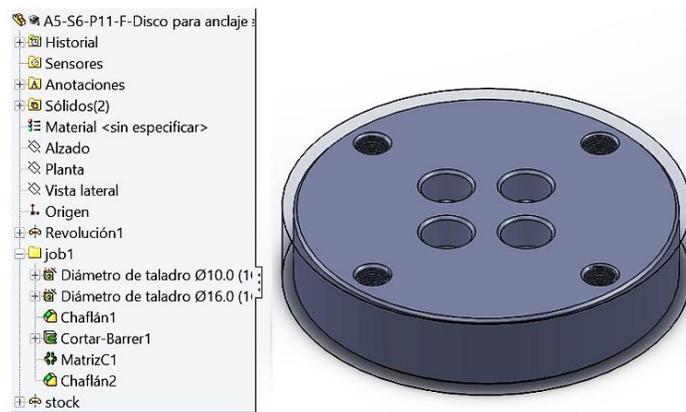


Fig. 3.44. Operaciones de modelado del disco para anclaje del soporte de mordazas.

El mecanizado del asiento esférico no es posible programarlo con una fresa de punta redonda, por ejemplo, que es lo más conveniente, ya que el software no cuenta con herramientas de mecanizado 3D. Sin embargo, se puede mecanizar por otros métodos. Uno es que se afile una herramienta, con la forma positiva de la cavidad, tal como se hace para el torneado convencional con perfiles de este tipo, y luego se programe una trayectoria circular, concéntrica.

Para el modelado del eje con asiento esférico del sistema alineador se han usado dos montajes. El "job1" corresponde al mecanizado de la forma hexagonal, luego se le da vuelta para mecanizar el "job2", allí se realizan las perforaciones de los cuatro agujeros previos al roscado M10x1. La operación "Cortar-Revolución3" genera tanto la forma cilíndrica como la curva del asiento esférico, considerando que lo más adecuado para esta pieza es el torneado. Sin

embargo, como aquí se está utilizando el centro de mecanizado, para la programación CAM puede separarse en dos operaciones: un contorno circular para generar la forma cilíndrica y otra como la explicada para la cavidad esférica de la placa móvil superior, solo que, en este caso la forma en la herramienta es negativa, ver Fig. 3.46.

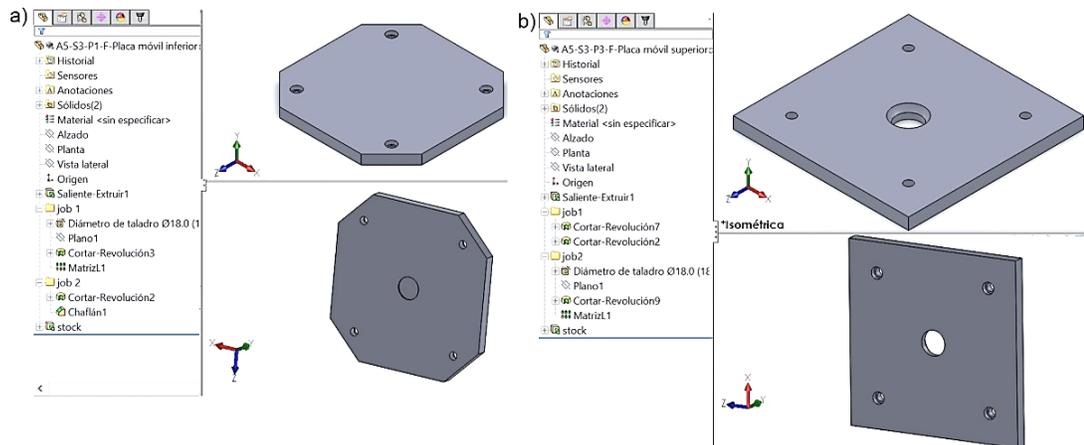


Fig. 3.45. Operaciones de modelado para las placas de la estructura móvil: a) inferior y b) superior.

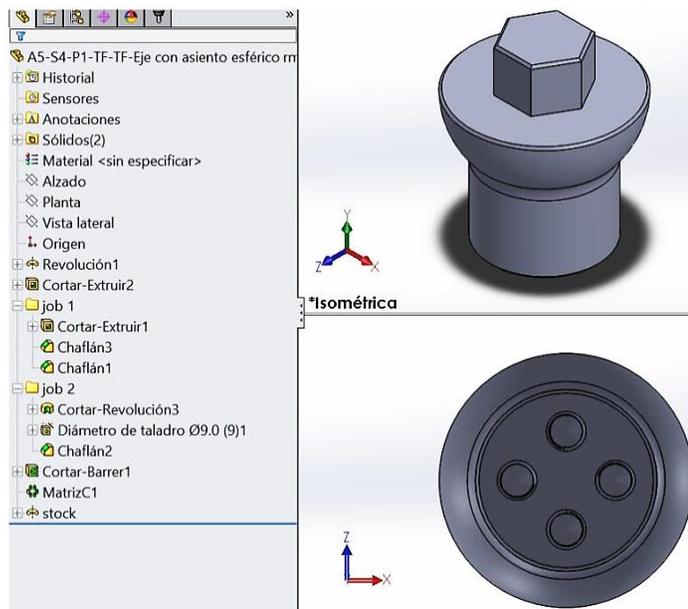


Fig. 3.46. Operaciones para el modelado del eje con asiento esférico del sistema alineador.

El soporte fijo del sistema soporte de portaprobetas, se ha modelado para poder mecanizarse en un solo montaje, Fig. 3.47. Las operaciones usadas para el modelado son básicamente las mismas aplicadas para otras piezas con la misma geometría, a excepción de aquellas que dan forma a la cavidad donde asientan el portaprobeta fijo y el móvil, para las que se han usado varias combinaciones de corte, pero que para efectos de la programación CAM, puede resolverse con una sola operación de recorrido. La ranura de desahogo para la rosca M68x6 se puede programar como lo establecido para el uso de herramientas con forma positiva. Al no contar con herramientas de modelado 3D, es imposible realizar la rosca, incluso a mano.

El portaprobeta fijo se ha dibujado con tres configuraciones diferentes, básicamente cada configuración controla las operaciones de acuerdo al tipo de probeta. El "job1" siempre se mecaniza, es el primer montaje y es la parte que asienta en el soporte de portaprobeta. La carpeta "Operaciones para hombro job2.1" y "job 2.2", Fig. 3.48a, son las usadas para cuando se desea mecanizar el portaprobeta para las probetas redondas tipo 4 y tipo 5, y representan los dos montajes adicionales para el mecanizado. Las operaciones de la carpeta "Operaciones para rosca job3.1" son las que se usan para cuando se desea mecanizar la portaprobeta para las probetas redondas tipo 1 y tipo 2, Fig. 3.48b, en este caso, esa carpeta indica el montaje adicional para mecanizar este tipo de portaprobeta.

En la Fig. 3.49 se muestra el modelo CAD del collar roscado. Las operaciones usadas se parecen a las empleadas para el modelado del soporte fijo. El "job1" permite realizar el mecanizado de la pieza desde la parte de arriba y el "job2" las operaciones desde la parte de abajo (la pieza previamente tiene que haber sido cambiada de posición).

El pin soporte de resorte y el pin de mordaza se muestran en la Fig. 3.50 a) y b), respectivamente. El modelado es básicamente el mismo, solo cambia su largo. La programación CAM para ambos puede realizarse en uno de los dos archivos CAD, si se considera para cada pieza un stock como el mostrado. Se ha dejado la carpeta "job2" vacía, solo para representar la necesidad de dos

montajes, aun cuando solo sea para realizar refrentado a la pieza, los refrentados no se representan en el modelo, pero deben mecanizarse. Este mecanizado es posible de realizarlo en el torno con CNC de referencia.

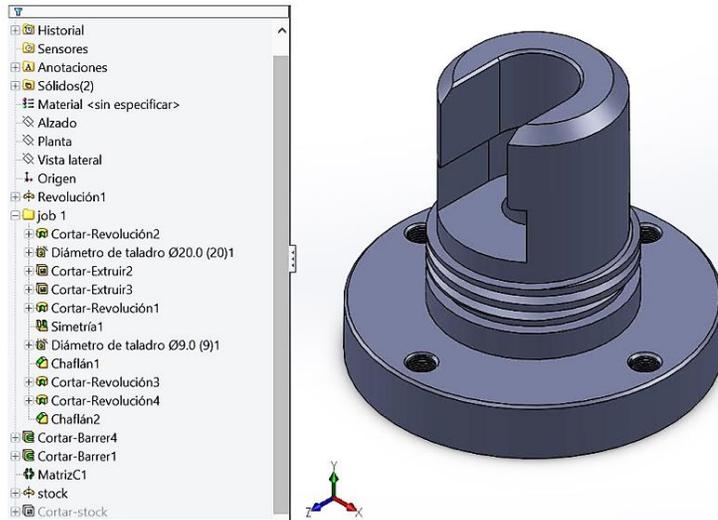


Fig. 3.47. Operaciones para el modelado del soporte fijo del sistema soporte de portaprobeta.

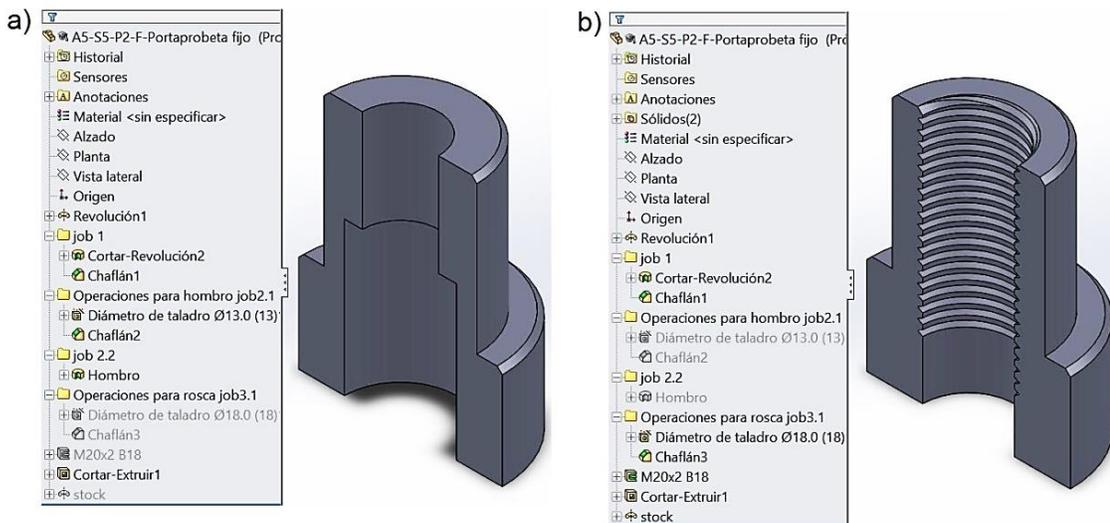


Fig. 3.48. Operaciones de modelado para todas las configuraciones del portaprobeta fijo.

Los procesos para el modelado de las piezas sujetador de mordazas y mango se presentan en la Fig. 3.51a y Fig. 3.51b, respectivamente. Al igual que

para el caso anterior, ambas piezas solo difieren en largo, por lo que también puede programarse su mecanizado con un único archivo CAD, o si se prefiere, por separado, o con más de un montaje, tal como se ha dejado sugerido en el modelo. Además, nótese que es una extensión a la operación del caso anterior.

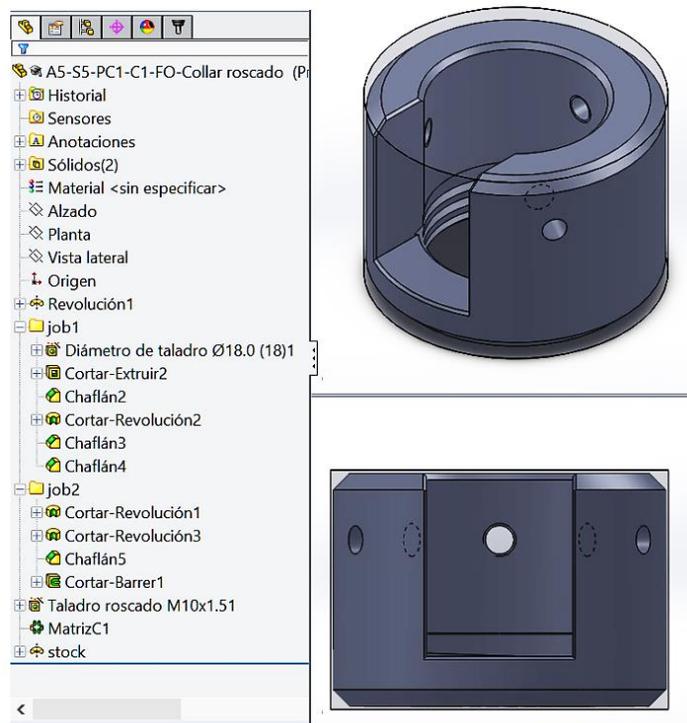


Fig. 3.49. Operaciones de modelado para el collar roscado del soporte de portaprobeta.

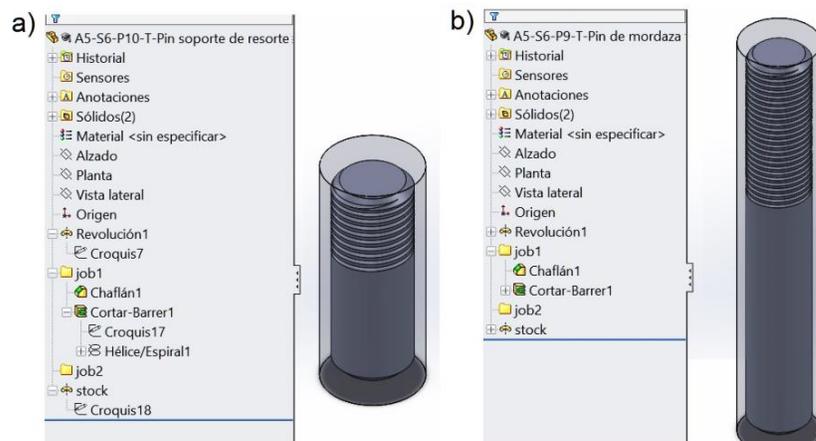


Fig. 3.50. Operaciones de modelado: a) pin soporte de resorte y b) pin de mordaza.

La pieza C, del soporte de mordazas se puede visualizar en la Fig. 3.52. Son necesarios cinco montajes para poder mecanizarla. En el primer montaje se realizan las operaciones de vaciado para formar la cavidad donde se alojan las mordazas y el sistema de piñón y cremallera, entre otros. En el segundo y tercer montaje se realizan las cajas para los rodamientos radiales. En el cuarto se realizan las perforaciones para el roscado del pin soporte de resorte y en el quinto se mecanizan los agujeros para las roscas que sujetan el disco para anclaje del soporte. La configuración de estos agujeros es la necesaria para que la máquina transmita la fuerza axial al eje de la probeta a ensayar. Además, se realizan cavidades que permitan montar y desmontar adecuadamente el disco y el sistema en la máquina.

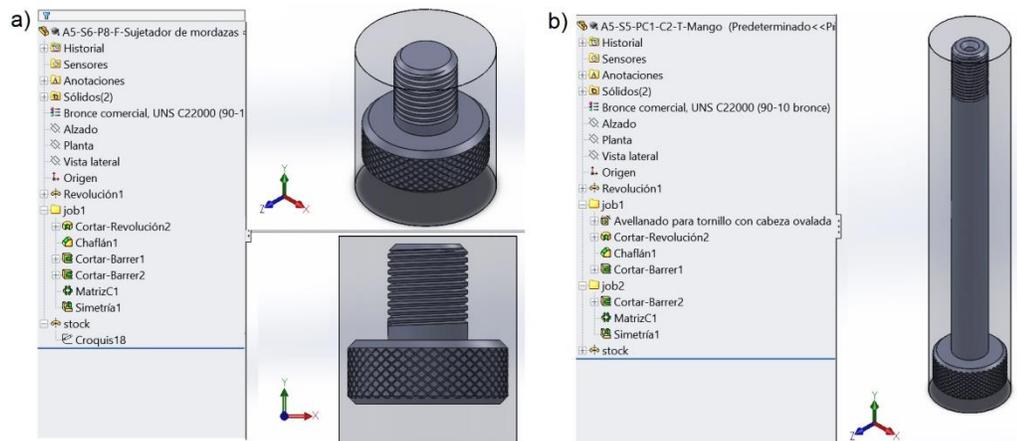


Fig. 3.51. Operaciones de modelado: a) sujetador de mordazas y b) mango.

Para el eje de engrane mostrado en la Fig. 3.53, se presentan dos carpetas, donde se agrupan las operaciones del modelado y mecanizado posterior. En la carpeta "job1 T" se agrupan las operaciones para la parte torneada y en "job2 F", las operaciones para el fresado.

Para el modelado del engrane, se han separado los procesos en dos carpetas diferentes: en la carpeta "job1" se representa el mecanizado de los dientes y en "job2" el agujero para el eje y su correspondiente cuña, Fig. 3.54. Para el modelado de los dientes, se ha hecho uso de la curva de involuta.

Las mordazas, como su nombre lo indica, son un juego de dos, una izquierda y una derecha. La diferencia entre ambas, es la inclinación y la ubicación para roscar el pin donde se coloca el resorte. El archivo CAD presenta tres configuraciones que representan el juego utilizado para los ensayos de tracción a probetas planas de ancho 6mm, de 12.5 mm y para probetas redondas. Lo que cambia entre ellas son las dimensiones donde se coloca la probeta (Fig. 3.55), o la forma geométrica (Fig. 3.56). Para mecanizar cada juego de mordazas, aun cuando su geometría presenta algunas diferencias entre derecha e izquierda, cambiando la forma de montarlas físicamente en la máquina herramienta, pueden realizarse con la programación de solo un archivo CAD.

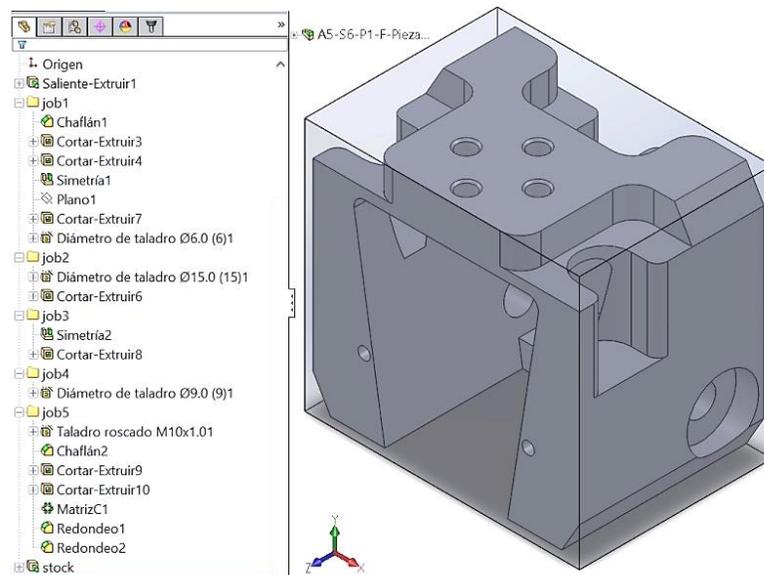


Fig. 3.52. Operaciones de modelado para pieza C del soporte de mordazas.

El portaprobeta desmontable presenta las mismas configuraciones que el fijo, y se mecaniza de manera similar, Fig.3.57. Las operaciones de "job1" siempre se realizan, independientemente del tipo de probeta. El mecanizado para los procesos agrupados en "Operaciones para hombro job2.1" se realiza con un montaje al lado contrario del "job1", al igual que los agrupados en "Operaciones para roscado job2.2".

La programación CAM del mecanizado de las probetas tipo 1 y tipo 2 requiere que se utilicen todas las operaciones activas para cada configuración, y que luego se genere el archivo de código correspondiente para cada tipo. Las dos configuraciones para cada tipo de probeta se han modelado en un solo archivo CAD, Fig. 3.58.

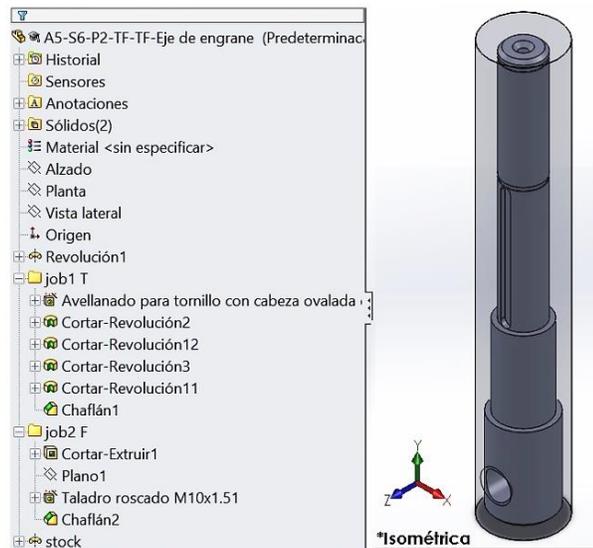


Fig. 3.53. Operaciones de modelado para eje de engrane.

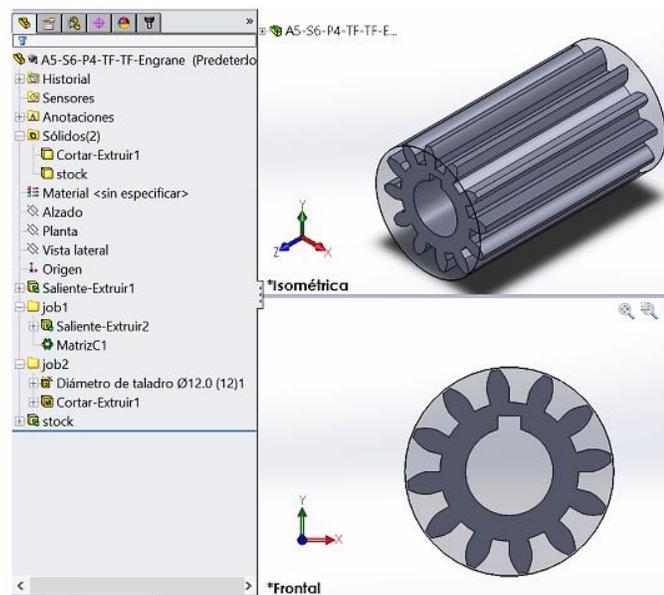


Fig. 3.54. Operaciones de modelado para el engrane.

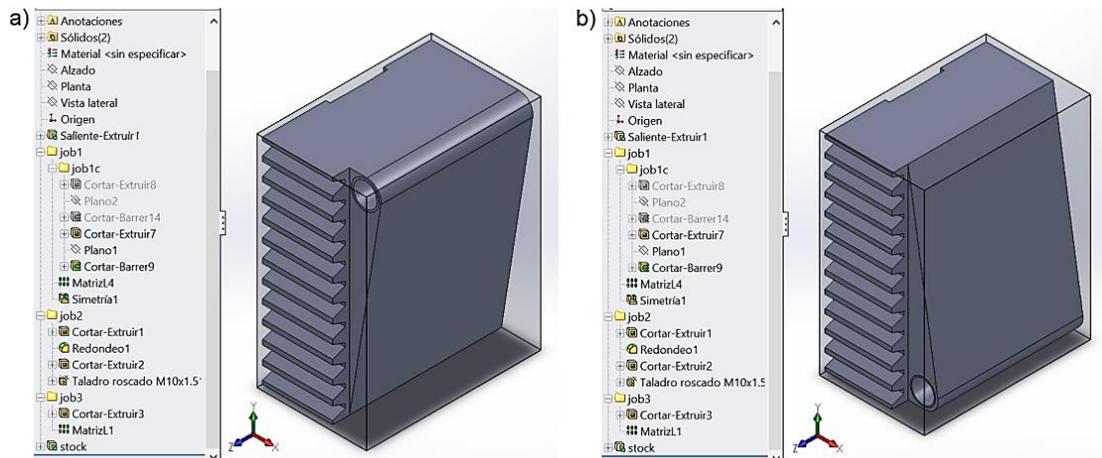


Fig. 3.55. Operaciones del modelado de las mordazas: a) izquierda y b) derecha.

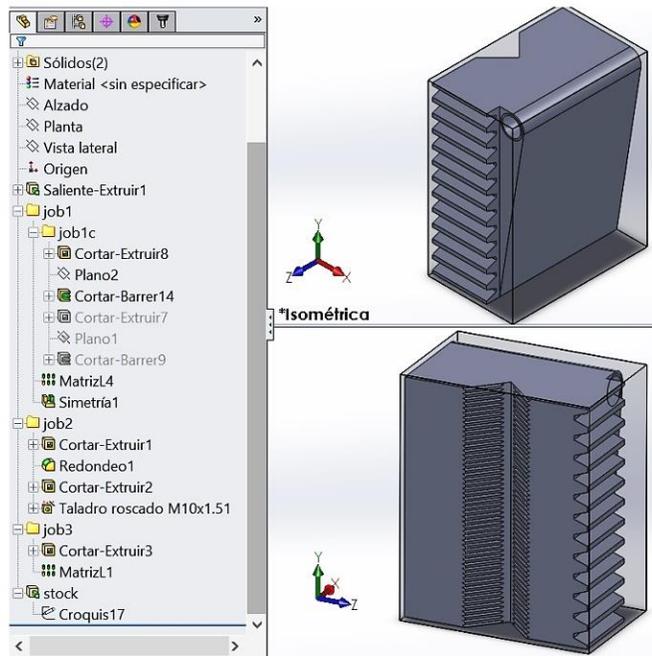


Fig. 3.56. Operaciones de modelado de mordaza modificada para sujetar probetas redondas.

Para las probetas tipo 3, tipo 4 y tipo 5, se presenta una configuración por cada una de ellas, dentro del mismo archivo CAD. El mecanizado se realiza como para las probetas tipo 1 y tipo 2. Debe notarse que solo se necesita un montaje para mecanizar cada tipo de probeta redonda, Figs. 3.58 y 3.59.

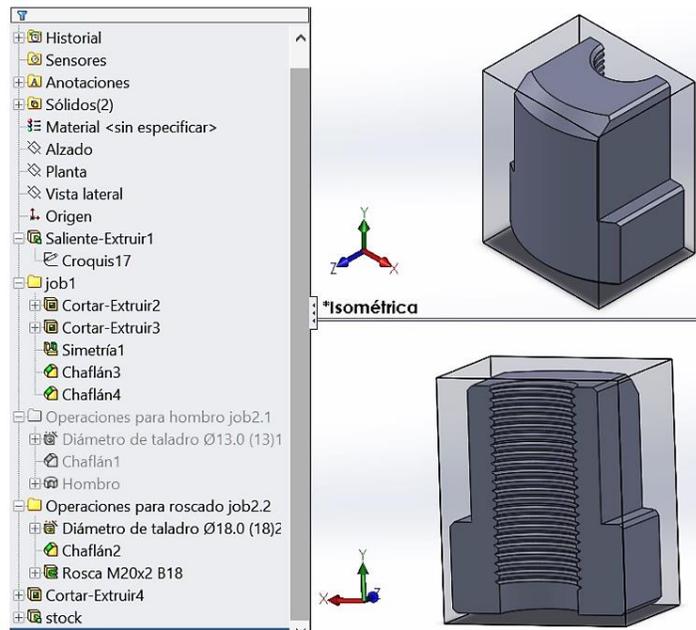


Fig. 3.57. Operaciones de modelado para el portaprobeta desmontable.

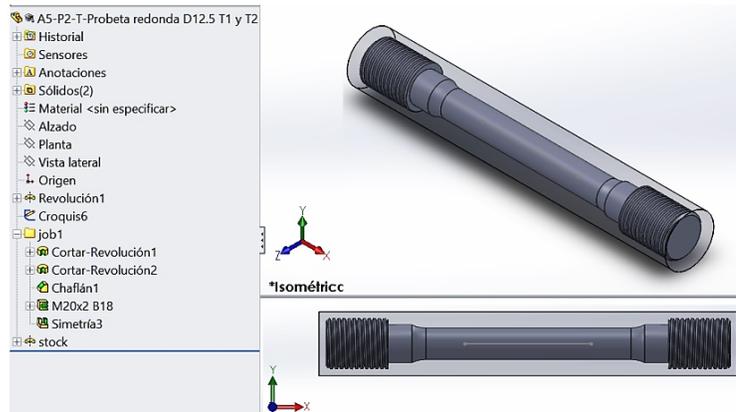


Fig. 3.58. Operaciones de modelado para las probetas roscadas.

El modelado de las probetas planas se muestra en las Figs. 3.60 y 3.61. Para el mecanizado, basta un solo montaje para un mismo ancho. Las configuraciones de estos archivos, tienen más utilidad para el modelado de toda la máquina y no tanto a nivel individual.

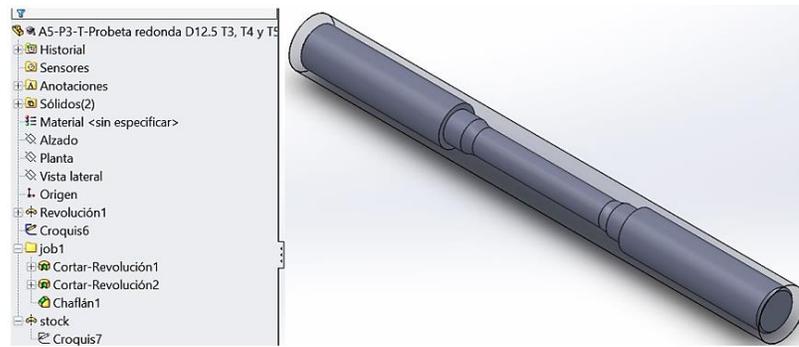


Fig. 3.59. Operaciones de modelado para probetas con extremo de hombro.

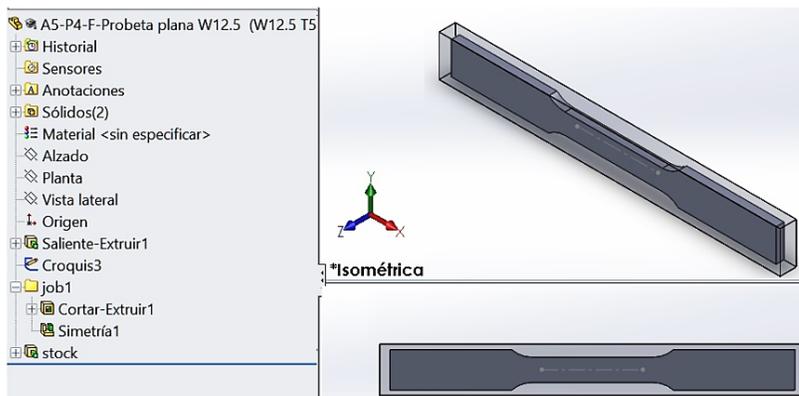


Fig. 3.60. Operaciones de modelado para probeta plana de 12.5 mm de ancho.

Las columnas fijas y las barras deslizantes son demasiado grandes para poder mecanizarse en el torno con CNC o el centro de mecanizado. Son las únicas piezas de todo el diseño que no es posible mecanizar con las maquinas herramientas de referencia, sin embargo su programación es trivial.

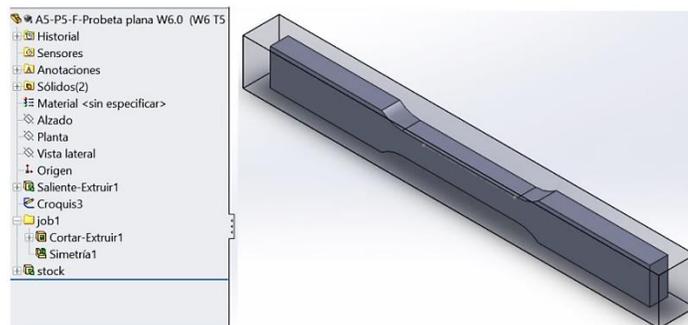


Fig. 3.61. Operaciones de modelado para probeta plana de 6.0 mm de ancho.

En la aplicación de la metodología al diseño geométrico de la máquina para ensayos de tracción, se han seguido las indicaciones establecidas para la misma en el capítulo II, modelando las piezas y componentes de manera que incluyan el sentido físico de una operación de mecanizado, dejando implícita y otras veces de manera explícita, la estrategia que se espera se lleve a cabo para su fabricación por medio del tipo y el orden de las operaciones usadas y el stock final dibujado. Se han usado varias piezas como borrador a nivel CAD para el modelado de otras parecidas, aplicando las técnicas de edición establecidas y comprobando como la metodología es funcional, además de brindar versatilidad y ahorrar tiempo en los procesos de modelado.

### **3.7. RECOMENDACIONES PARA LA APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA**

En este capítulo, la metodología ha sido aplicada como se haría en una empresa de diseño y fabricación de maquinaria. No siempre se da éste caso, por lo que en esta sección se brindan recomendaciones para la aplicabilidad a empresas de diversa índole, como talleres de metalmecánica, donde, en la mayoría de los casos se trata con estructuras, mecanismos simples o básicos y piezas individuales que se fabrican como repuestos a maquinaria industrial, como la textil, por ejemplo.

Es de aclarar, que debido a los aspectos mencionados en el marco teórico, el establecimiento de la metodología busca aportar al proceso de fabricación CAD/CAM y al proceso de fabricación integrado por computador, CIM. Sin embargo, como la interacción entre CAD y mecanizado puede darse independientemente si es convencional o CNC, la metodología aun así es aplicable a un taller, pequeña o mediana empresa.

A continuación se procede a detallar los tipos de empresas donde puede aplicarse, tomando como punto central, las operaciones de fabricación o mecanizado.

### **3.7.1. CASO 1: TALLER DE ESTRUCTURAS Y SIMILARES**

Para el caso de un taller donde se trata con estructuras metálicas fijas como puertas, balcones, mezanines, contenedores o recipientes y parecidos; o elementos fijos; entonces puede aplicarse la metodología tal como se ha realizado en éste capítulo. La estructuración siempre debe realizarse, de modo que facilite el uso de los archivos como borrador CAD, para un posible diseño modular futuro o situaciones parecidas. No debe dejarse de lado ningún paso cuando se aplique la metodología, siempre y cuando no se hagan adecuaciones muy bien fundamentadas, en función de la actividad propia del taller. Para situaciones de diseño tan básicas como las que aquí se establecen, puede caerse en el error de pensar que la metodología no es eficiente o factible, pero sin duda, en la segunda y posteriores ocasiones que se aplique, la eficiencia en los aspectos que la misma cubre, se hacen notorios.

Todas las ventajas que ya se han citado, siguen teniendo validez, sin embargo, se deben considerar ciertas desventajas: es posible obtener el costo de cada elemento de manera más exacta, pero como muchas veces se trata con piezas de naturaleza curva, conlleva una variante a la metodología, y se requieren destrezas adicionales en el uso del software y conocimientos matemáticos y de geometría que aceleren el modelado CAD. Cabe aclarar que esto es fácilmente solventable, porque son bastante básicas, pero que aquí no se consideran ya que son un caso especial a la metodología.

### **3.7.2. CASO 2: TALLER DE MECANISMOS Y SIMILARES**

En aquellos casos donde se diseñen y fabriquen, en general, mecanismos sencillos y que por ende tenga movimiento relativo entre sus piezas, puede aplicarse la metodología sin ninguna variante. Las desventajas o

dificultades que pueden surgir en este caso son menores que para el caso anterior, por lo que la eficiencia que se aporta es mayor y equiparable a la de grandes empresas de diseño y fabricación de maquinaria.

### **3.7.3. CASO 3: TALLER DE MOLDES Y SIMILARES**

Para empresas donde se trabaje con piezas especiales, como moldes o similares, la metodología puede aplicarse íntegramente, de manera similar al caso del numeral 3.7.2, sin embargo es de aclarar que la destreza requerida para el manejo del software es mayor, debido a que se requieren operaciones no establecidas ni mostradas aquí. No es indispensable que se tenga la habilidad, pero el dominio de las matemáticas y de la geometría, facilitan el modelado de este tipo de piezas, principalmente porque se trata con técnicas de generación de superficies a partir de croquis 2D o 3D. La eficiencia global de la metodología es supeditada al dibujante CAD, y posiblemente programador CAM. Debe notarse como para el mecanizado de este tipo de piezas, muchas veces se usan máquinas con CNC, por lo que es el caso más cercano a la finalidad de la metodología.

### **3.7.4. CASO 4: TALLER DE PIEZAS Y SIMILARES**

Piezas simples, repuestos, tipo PAE externas, fundiciones, entre otras, se adjudican a este tipo de taller. Estrictamente hablando las piezas son tipo PAE para los clientes, no para la empresa, por lo que para distinguirlas se usa el adjetivo: externo.

Si en una empresa o taller se fabrican piezas tipo PAE; como cilindros hidráulicos, por ejemplo, entonces se tienen diferentes modelos y se puede

aplicar la metodología como en este capítulo, dándole énfasis a la parametrización por medio de tablas de diseño.

Del análisis de cada caso, en función de la naturaleza de las piezas tipo PAE, pueden surgir conceptos como "PADAE externa" o similares, que indican la naturaleza y el tipo de pieza para el cliente, por lo que bajo ciertas circunstancias pueden establecerse variaciones a la metodología, mediante la aplicación desde el punto de vista de éste.

Las piezas fabricadas en el taller pueden ser de diferente tipo para el cliente, pero en esencia, para el taller pueden tratarse como componentes, piezas simples y compuestas.

### **3.7.5. COMENTARIOS FINALES**

La diversidad de operaciones a las cuales un taller o una empresa mediana se dedica en un entorno como El Salvador, da como resultado un híbrido entre los casos anteriores, siendo recomendable aplicar la metodología de la misma forma; es decir, aplicarla a procesos productivos específicos y no a procesos globales.

La estructuración y documentación, en todos los casos, debe realizarse con rigor, pues es allí donde la metodología se refleja: reutilización y edición de piezas, gestión de planos y documentación de fabricación, costeo, entre otros.

Muchos de los procesos de fabricación que se aplican en los casos citados, no son mecanizados con arranque de viruta y a menos que se establezca un manual de aplicación a cada caso, deben tratarse como esta metodología lo hace, en primera instancia, bajo el supuesto de un desarrollo futuro extensivo a éstos o al desarrollo de una metodología propia de cada taller.

## CONCLUSIONES

Después de culminar este trabajo de graduación, se concluye lo siguiente:

- Integrar procesos, estrategias y técnicas del mecanizado a la construcción de modelos CAD de máquinas reales requiere de una buena compatibilidad entre el software CAD y CAM, con la diversidad de paquetes de software que existen a la fecha, es posible; y la metodología propuesta lo permite y lo hace factible.
- Considerar aspectos de la producción en la etapa de diseño CAD/CAM es muy importante ya que permite que los modelos sean diseñados en función de los medios productivos con los que se cuenta, adaptando las estrategias de producción y tomándolas en cuenta durante los procesos iterativos del proceso CAD/CAM. Definir una estrategia de mecanizado para una pieza, brinda facilidad a la hora de la representación del modelo CAD y se puede tomar en cuenta el tipo de pieza y cantidad de los montajes o sujeciones (o puesta a punto), aspectos que juegan un papel importante en el mecanizado. Esta metodología permite mediante un análisis riguroso de las máquinas, sistemas, piezas y sus componentes; unir pasos intermedios del mecanizado, auxiliándose de los modelos CAD, para uniformizar las piezas y buscar estrategias adecuadas para la fabricación de éstas, tomando en cuenta consideraciones de diseño y de mecanizado. En el diseño mecánico el uso adecuado de las herramientas CAD/CAM proporciona grandes ventajas respecto de otros métodos de diseño usuales. Por ejemplo, mediante el uso de ésta metodología, además de lo ya descrito, se puede lograr un mejor costeo de la producción en función de la estrategia de mecanizado, mediante el uso de las dimensiones del stock para cada pieza, en lugar de la geometría final de éstas.

- El diseño CAD/CAM abarca el mecanizado CNC y el convencional. Mediante el adecuado uso de las herramientas de modelado CAD, es posible transmitir información, desde explícita hasta implícita, acerca del mecanizado, generando sentido físico a las operaciones mediante el uso de planos, simetrías, matrices y herramientas parecidas con las que cuenta un software tipo paramétrico, el cual resulta ser el mejor para el diseño CAD/CAM de piezas y máquinas. De los procesos de mecanizado, el más usado es el que involucra arranque de viruta. Muchas de las operaciones que se realizan en máquinas herramientas como el torno y la fresadora, pueden simularse fácilmente en el dibujo asistido por computadora para la generación de la geometría final de las piezas. La forma de las herramientas y su posición relativa a la pieza durante el mecanizado es muy importante ya que de estos factores depende el perfil que se forma y facilita el modelado CAD.
- En el diseño mecánico, el orden y estructuración de los componentes es esencial para comprender las relaciones de jerarquía dentro de una máquina. La codificación de las piezas permite aportar información útil en relación a varios aspectos, entre ellos el mecanizado. Las máquinas controladas por control numérico computarizado brindan una gran ayuda para el mecanizado de piezas con perfiles complejos debido a la cantidad de ejes con los que cuentan, o el movimiento simultáneo de más de uno, sin embargo poco difieren en esencia de los procesos de mecanizado convencional.
- Realizar este trabajo de graduación representa un cambio en la manera de abordar el diseño CAD/CAM, ya que no solo se limita a la representación de los modelos de las máquinas y sus piezas, sino que se brinda una utilidad real a éstas, mediante la consideración de aspectos diversos e inherentes al proceso de producción y diseño. Este método de modelado CAD permite una rápida edición de las piezas, lo que es muy útil en la reutilización y edición, muchas veces necesaria para los procesos de programación CAM y de diseño CAD.

La manera de abordar el modelado CAD bajo esta metodología, puede ser ampliada a procesos más allá del mecanizado por arranque de viruta, como el modelado por superficies, entre otros, aportando flexibilidad y versatilidad para realizar adecuaciones menores de acuerdo a cada caso y para los procesos de rediseño y reutilización de modelos CAD existentes.

## BIBLIOGRAFÍA Y FUENTES CITADAS

Amestoy, M. E. (2004). Apuntes de Ingeniería de Fabricación. Cartagena.

Arreola, L. (2016). La web del programador. Recuperado el 29 de septiembre de 2016, de <http://www.lawebdelprogramador.com/preguntas/vercontestada.php?pagina=17&id=67&texto=Otros>

ASTM international. (2009). Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials. West Conshohocken , Pennsylvania, United States.

Autodesk Inc. (2012). <http://cam.autodesk.com>. Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de [http://cam.autodesk.com/docs/cncbook/en/#Ch01\\_OverviewOfCADCAMProcess](http://cam.autodesk.com/docs/cncbook/en/#Ch01_OverviewOfCADCAMProcess)

Autodesk Inc. (20 de noviembre de 2016). hsmworks. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.hsmworks.com/hsmxpress/>

Callinan, T. (06 de Marzo de 2014). youtube.com. Recuperado el 04 de Abril de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=Zn3nfYalsxY>

Campos Ramos, J. A., Chávez Fuentes, M. I., & Muñoz Najarro, C. M. (2000). Diseño y construcción de una máquina para pruebas de tensión y compresión en materiales. Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador.

Castor.es. (28 de septiembre de 2016). <http://www.castor.es/>. Recuperado el 28 de septiembre de 2016, de [http://www.castor.es/historia\\_CAD\\_CAM.html](http://www.castor.es/historia_CAD_CAM.html)

CNC Software Inc. (2016). Mastercam. Recuperado el 21 de noviembre de 2016, de <http://www.mastercam.com/en-us/Solutions/Integrated-CAD-Solutions>

- Costa de Morais Figueira, R. J. (2002/2003). CAD/CAE/CAM/CIM. (A. Gómez, Trad.) Porto, Portugal.
- Dassault Systèmes - SolidWorks Corporation. (2010). Guía del instructor para la enseñanza del software SolidWorks. Concord, Massachusetts 01742, EE. UU.
- Delcam Inc. España. (1 de marzo de 2017). PowerMILL. Gijón, Asturias, España.
- Demaquinasyherramientas.com. (5 de Julio de 2012). [www.demaquinasyherramientas.com](http://www.demaquinasyherramientas.com). Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresas-tipos-y-usos>
- Demaquinasyherramientas.com. (17 de Marzo de 2014). [www.demaquinasyherramientas.com](http://www.demaquinasyherramientas.com). Recuperado el 12 de Marzo de 2017, de <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/herramientas-de-corte-para-torno-tipos-y-usos>
- Fuentes, O. A. (2012). Manual de prácticas para el torno de control numérico (CNC) del taller de mecánica. Xalapa, Veracruz, México.
- Gerling, H. (2006). Alrededor de las máquinas herramientas (Tercera ed.). (D. C. Magarola, Trad.) Barcelona, España: Reverté, S.A.
- Grupo Insoft -CAMWorks Mexico. (2017). <http://www.camworks.mx>. Recuperado el 01 de marzo de 2017, de <http://www.camworks.mx/Acerca/Informacion/caracteristicas.html>
- Kiley, S. (29 de Febrero de 2012). [youtube.com](https://www.youtube.com/watch?v=TvBoZ6kH3Q8). Recuperado el 04 de Abril de 2017, de <https://www.youtube.com/watch?v=TvBoZ6kH3Q8>

- Luna, G. R. (2006). El Diseñador Industrial asistido por computadora, para la innovación de su trabajo en Guatemala (Proyecto de grado). Guatemala: Landívar, Universidad Rafael.
- Robert L. Mott, P. E. (2006). Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson educación.
- Rojas, O. R. (enero-junio de 2006). Diseño asistido por computador. Industrial Data. Revista de investigación, 9(1), 7-15.
- Schvab, L. (2011). Máquinas y herramientas. Ciudad Autónoma de Buenos Aires.
- SolidCAM Ltd. (2016). Solidcam. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de <http://www.solidcam.com/imachining-the-revolution-in-cnc-machining/>
- SolidCAM Ltd. (2016). Solidcam. Recuperado el 20 de noviembre de 2016, de <https://solidcam.box.com/shared/static/17wo5s2fielrt9ijfi4n.pdf>
- Torres, J. (2016). Apuntes para 4ª Curso Ingeniería Informática. Diseño asistido por ordenador. Universidad de Granada.

## ANEXOS

### ANEXO A. DOCUMENTACION Y CARACTERÍSTICAS DE LA MÁQUINA PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN MTPR-XN.

Tabla A.1. Tipo y modelo de máquina.

Tipo de máquina	Modelo	Descripción	Código
Máquina para ensayos de tracción	MTPR-XN	Máquina para ensayos de tracción de probetas planas y redondas de tamaño normalizado	A5

Tabla A.2. Probetas posibles de ensayar

Tipo de probeta	Norma ASTM	Dimensiones normalizadas	Dimensiones proporcionales	Observaciones
Redonda desde el tipo 1 hasta el tipo 5	E8	X		Datos adicionales en los planos
Plana de ancho 12.5 mm	E8	X		Datos adicionales en los planos
Plana de ancho 6.0 mm	E8		X	Datos adicionales en los planos
Probeta tipo 1 de tubos de grandes diámetros y espesores menores a 20 mm	E8	X		Consultar la norma para detalles más específicos.
Probeta para el hierro maleable	E8	X		Consultar la norma para detalles más específicos.
Probetas con extremo redondo o tubos con un diámetro exterior de 15 a 24 mm.	E8			Consultar la norma para detalles más específicos.

Tabla A.3. Resistencia máxima a la tracción para las probetas.

Tipo de probeta	Resistencia máxima a la tracción, MPa
Probeta redonda tipo 1, 2, 3, 4 y 5.	Para un diámetro de 12.5 mm, 1515
Probeta plana de 12.5 mm de ancho	Para un espesor de 5 mm, 2974 Para un espesor de 19 mm, 782
Probeta plana de 6.0 mm de ancho	Para un espesor de 5 mm, 6197 Para un espesor de 6 mm, 5164

Tabla A.4. Piezas principales tipo PAE.

Nombre de pieza	Marca	Modelo	Observación
Cilindro hidráulico	ENERPAC	RC-2514	Datos adicionales en los planos
Manguera hidráulica	ENERPAC	HC-7206	
Acople	ENERPAC	GA-2	
Manómetro	ENERPAC	GF-20P	
Bomba hidráulica	ENERPAC	P-80 SCR-2514H	Datos adicionales en los planos

Nota: La máxima presión a usar es de 56 MPa (8,122 psi) en el cilindro hidráulico.

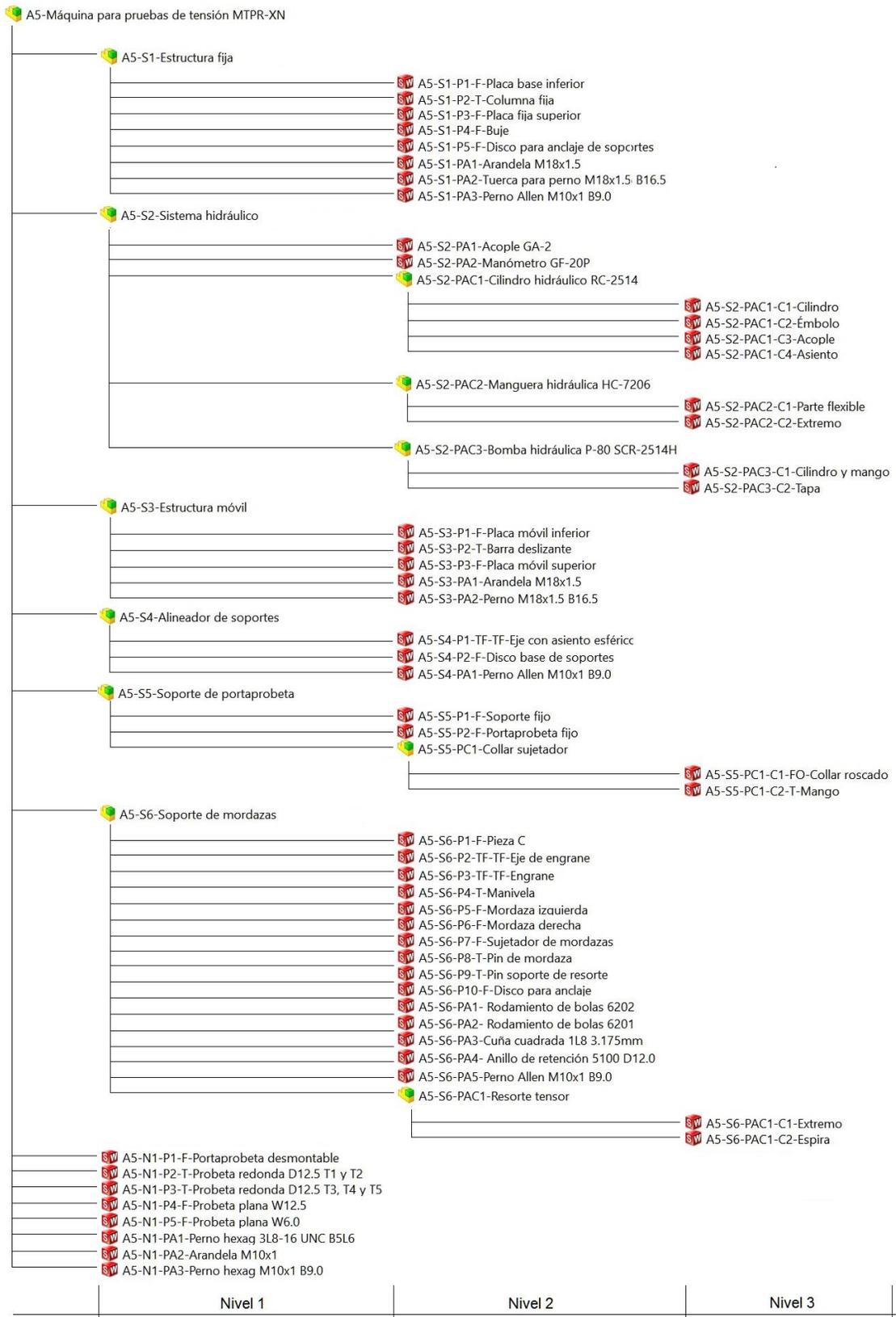
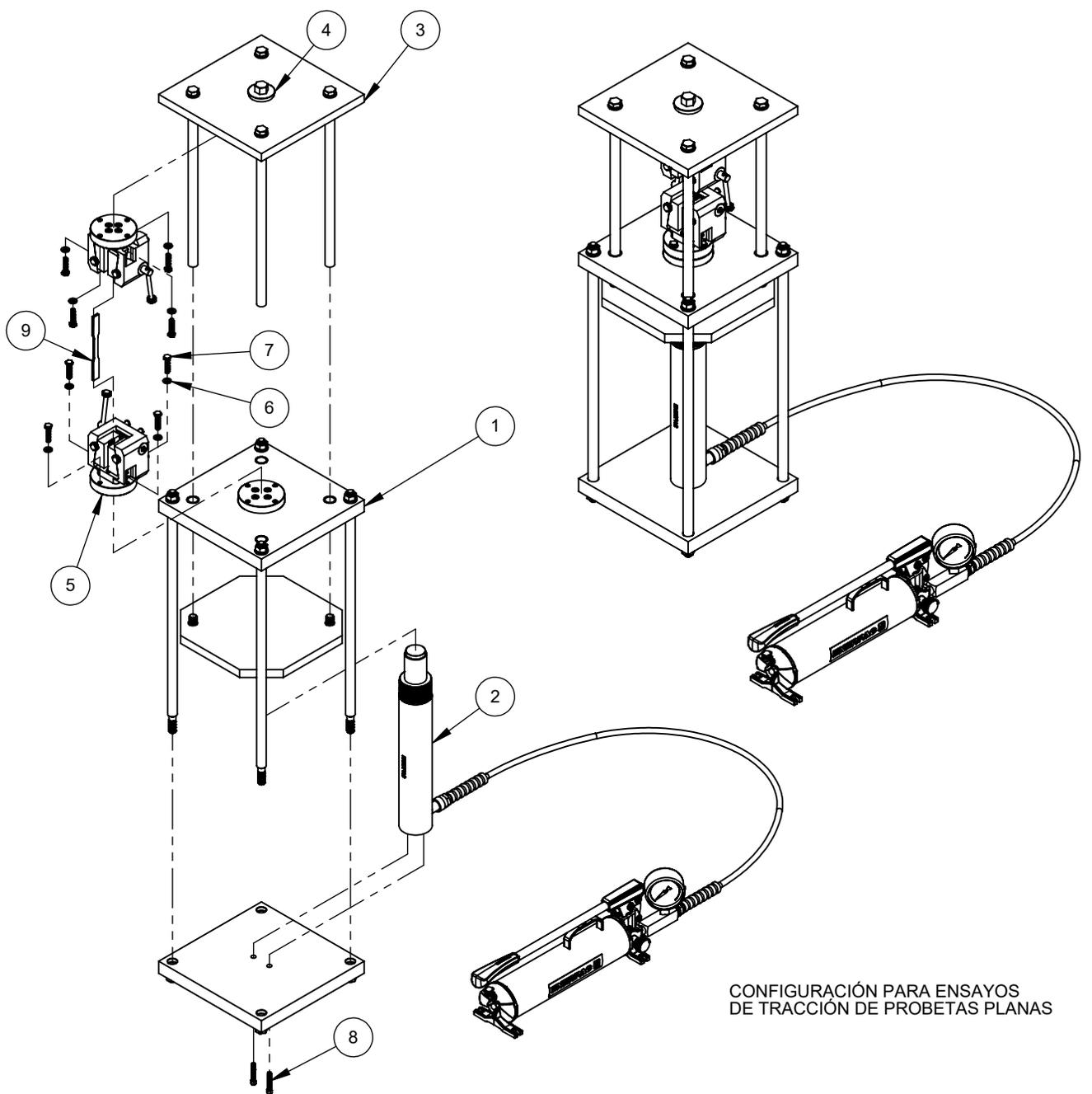


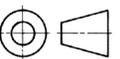
Fig. A.1. Estructura de la máquina MTPR-XN.

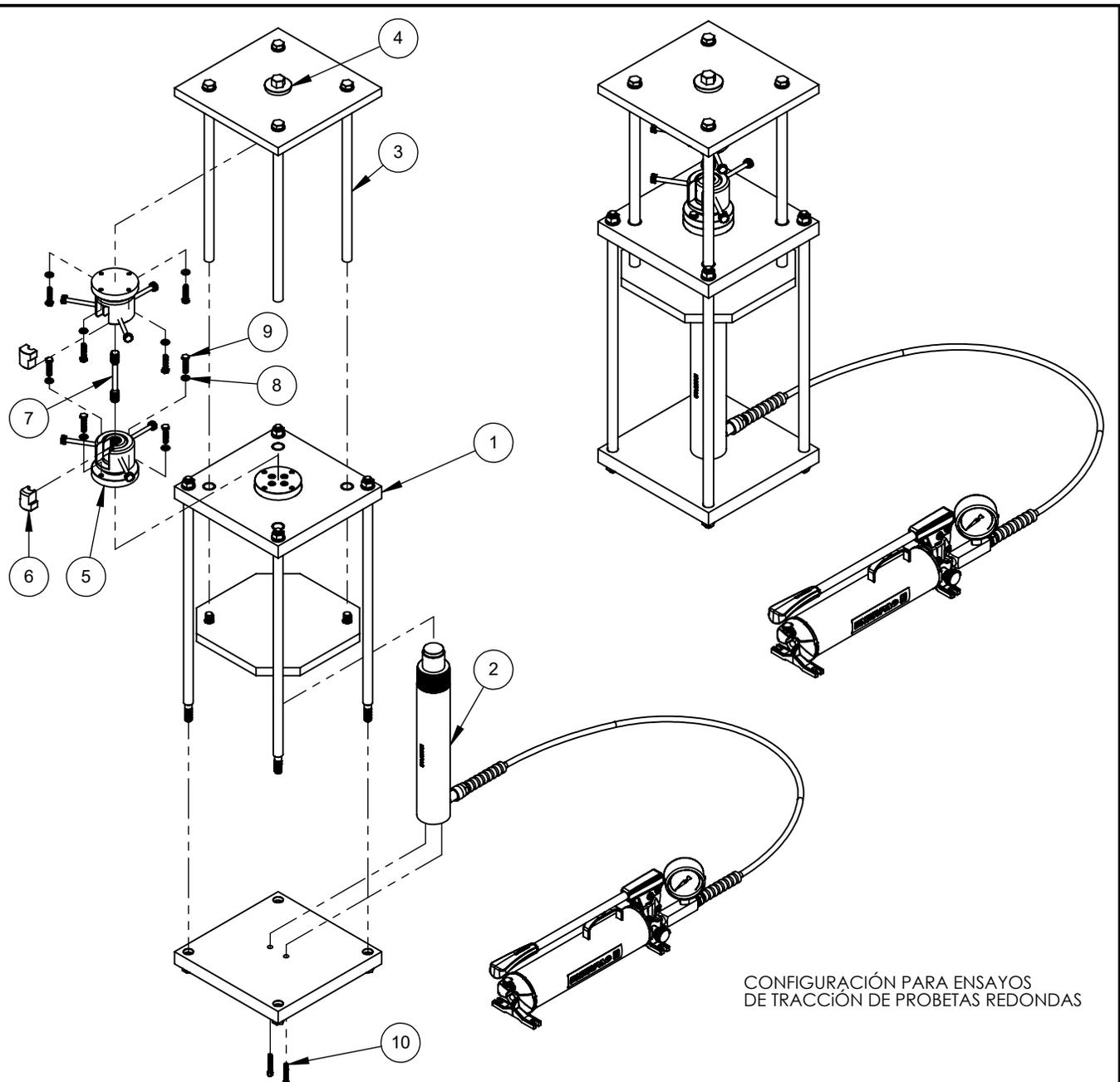
**ANEXO B. PLANOS DE LA MÁQUINA MTPR-XN**



CONFIGURACIÓN PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN DE PROBETAS PLANAS

9	A5-P4-F-Probeta plana W12.5			1	
8	A5-N1-PA1-Perno hexag 3L8-16 UNC B5L6			2	
7	A5-N1-PA3-Perno hexag M10x1 B9.0			8	
6	A5-N1-PA2-Arandela M10x1			8	
5	A5-S6-Soporte de mordazas			2	
4	A5-S4-Alineador de soportes			1	
3	A5-S3-Estructura móvil			1	
2	A5-S2-Sistema hidráulico			1	
1	A5-S1-Estructura fija			1	
N.º	SISTEMA O PIEZA DE NIVEL 1			OBSERVACIÓN	CANTIDAD
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		21/10/2017	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		
A5-Máquina para pruebas de tracción MTPR-XN		1 de 2	A5		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
N/A		N/A	N/A		
MODELO DE MÁQUINA					
MTPR-XN		1 de 50	A5		
A4	ESCALA 1:10	MATERIAL	N/A	CANTIDAD	N/A
NOTAS GENERALES					
					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS

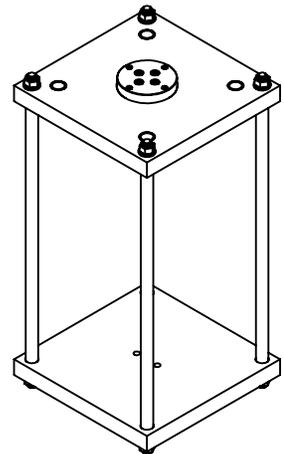
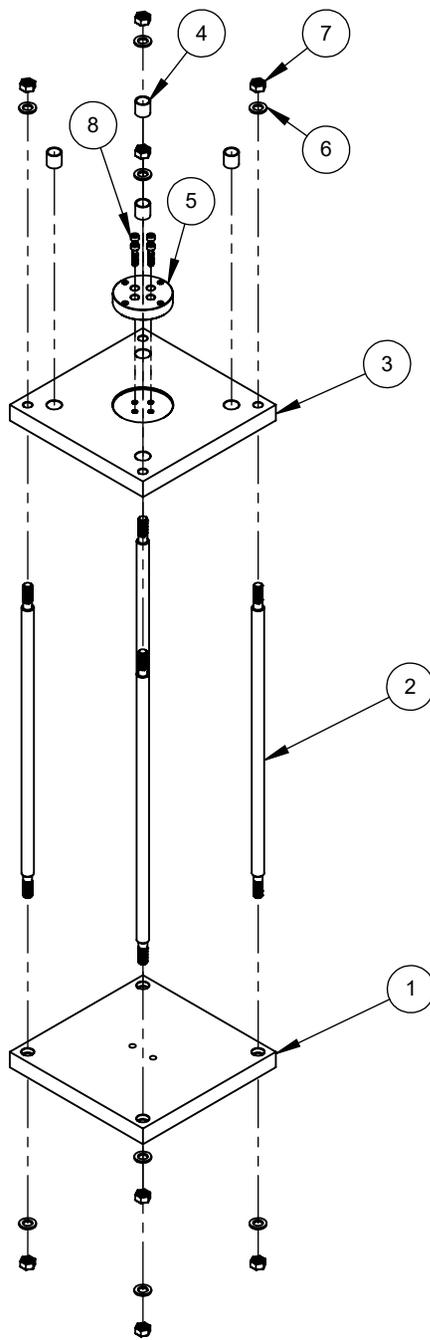




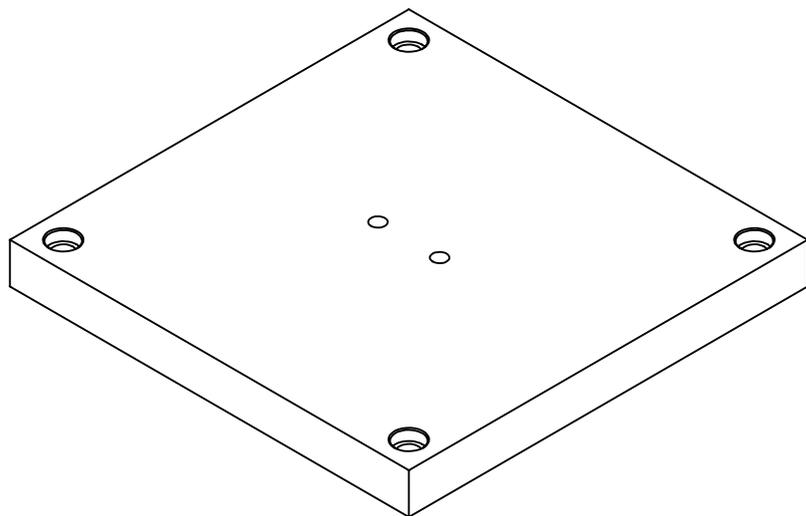
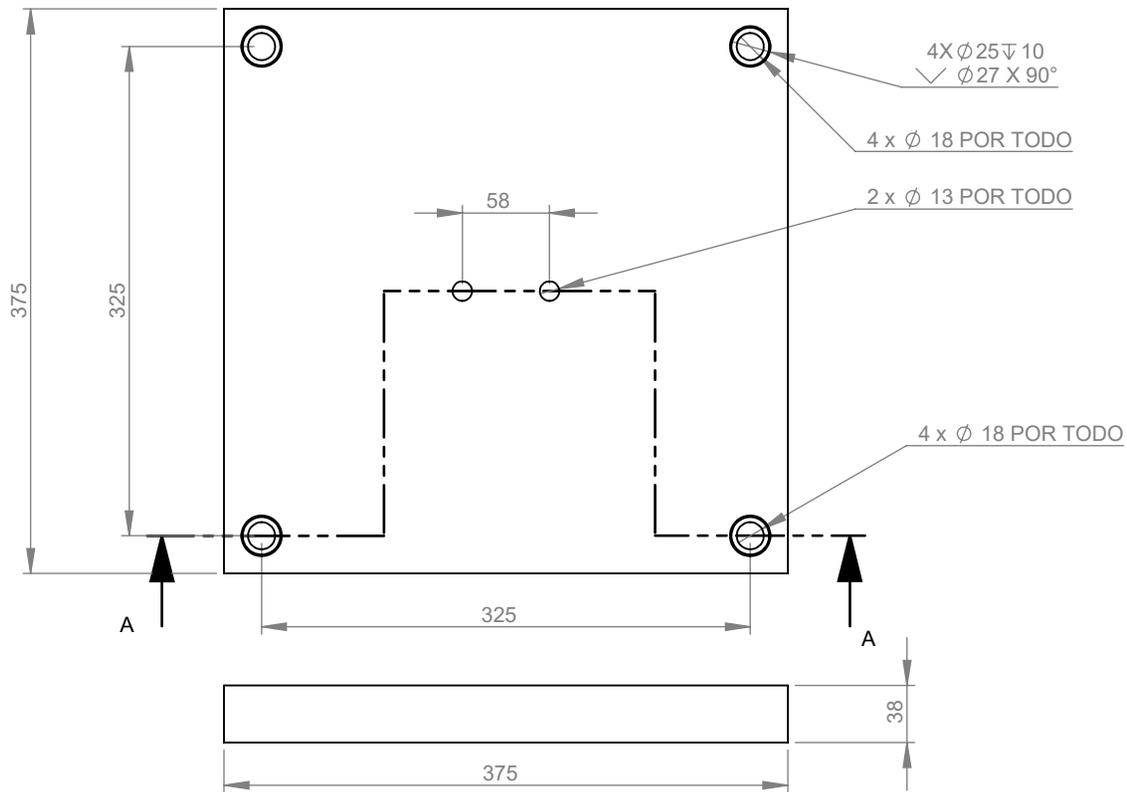
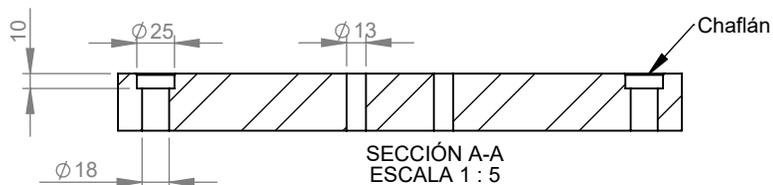
CONFIGURACIÓN PARA ENSAYOS DE TRACCIÓN DE PROBETAS REDONDAS

10	A5-N1-PA1-Perno hexag 3L8-16 UNC B5L6		2
9	A5-N1-PA3-Perno hexag M10x1 B9.0		8
8	A5-N1-PA2-Arandela M10x1		8
7	A5-P2-T-Probeta redonda D12.5 T1 y T2		1
6	Tipo 1 y tipo 2 prob roscadas		2
5	A5-S5-Soporte de portaprobeta		2
4	A5-S4-Alineador de soportes		1
3	A5-S3-Estructura móvil		1
2	A5-S2-Sistema hidráulico		1
1	A5-S1-Estructura fija		1
N.º	SISTEMA O PIEZA DE NIVEL 1	OBSERVACIÓN	CANTIDAD

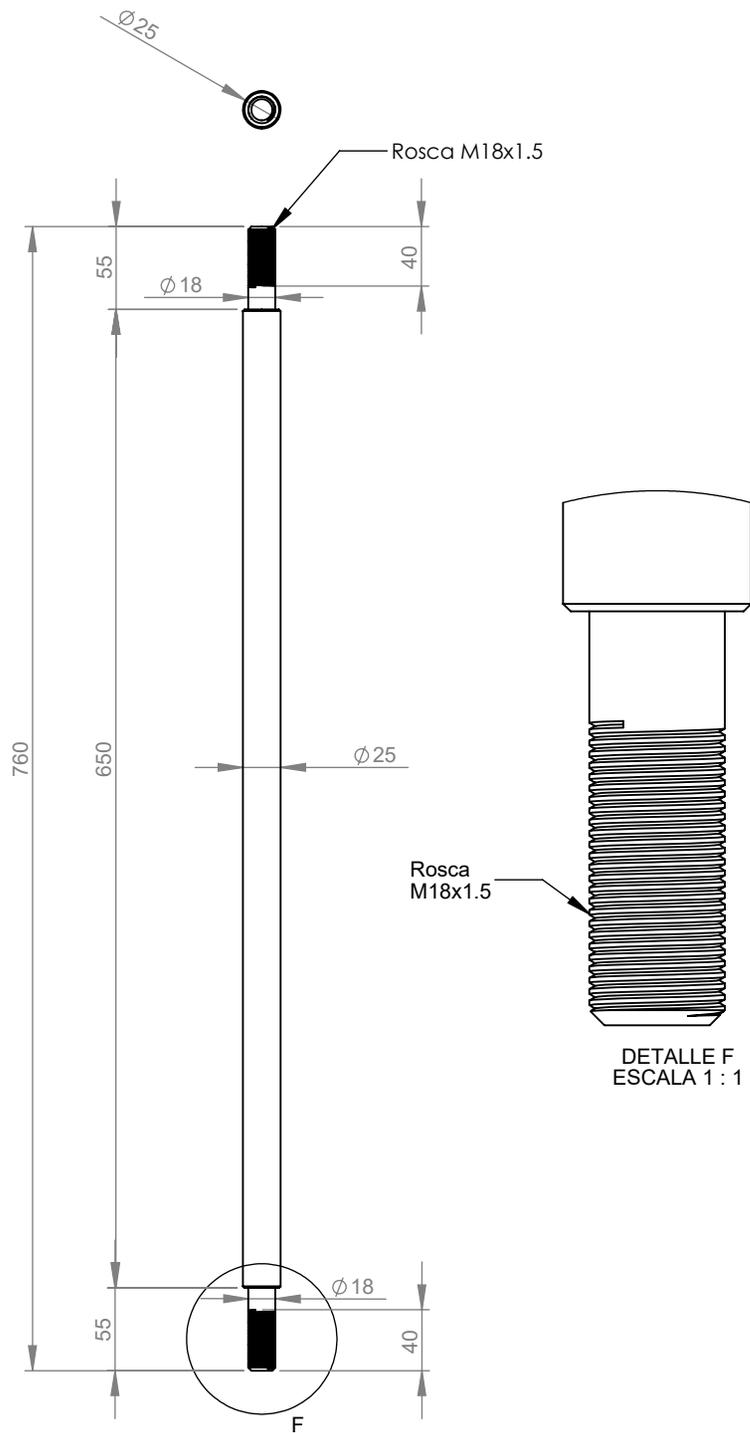
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-Máquina para pruebas de tracción MTPR-XN		2 de 2	A5			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
N/A		N/A	N/A			
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		2 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:10	MATERIAL	N/A	CANTIDAD		
NOTAS GENERALES						



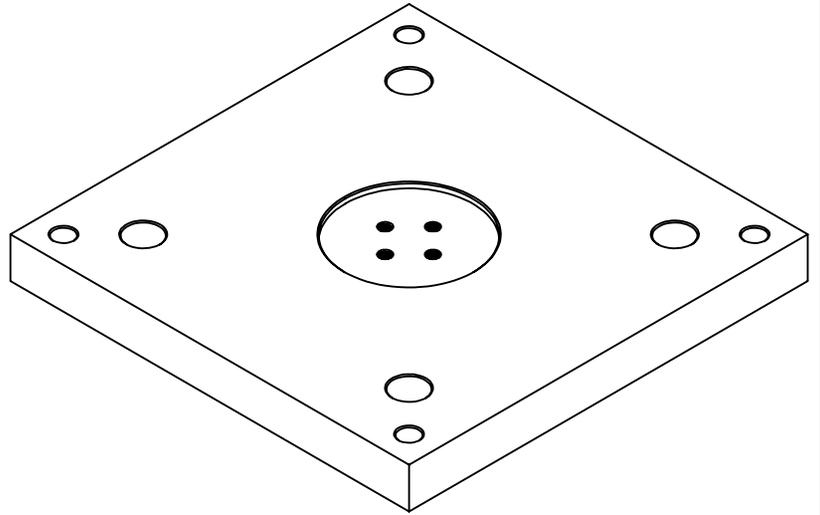
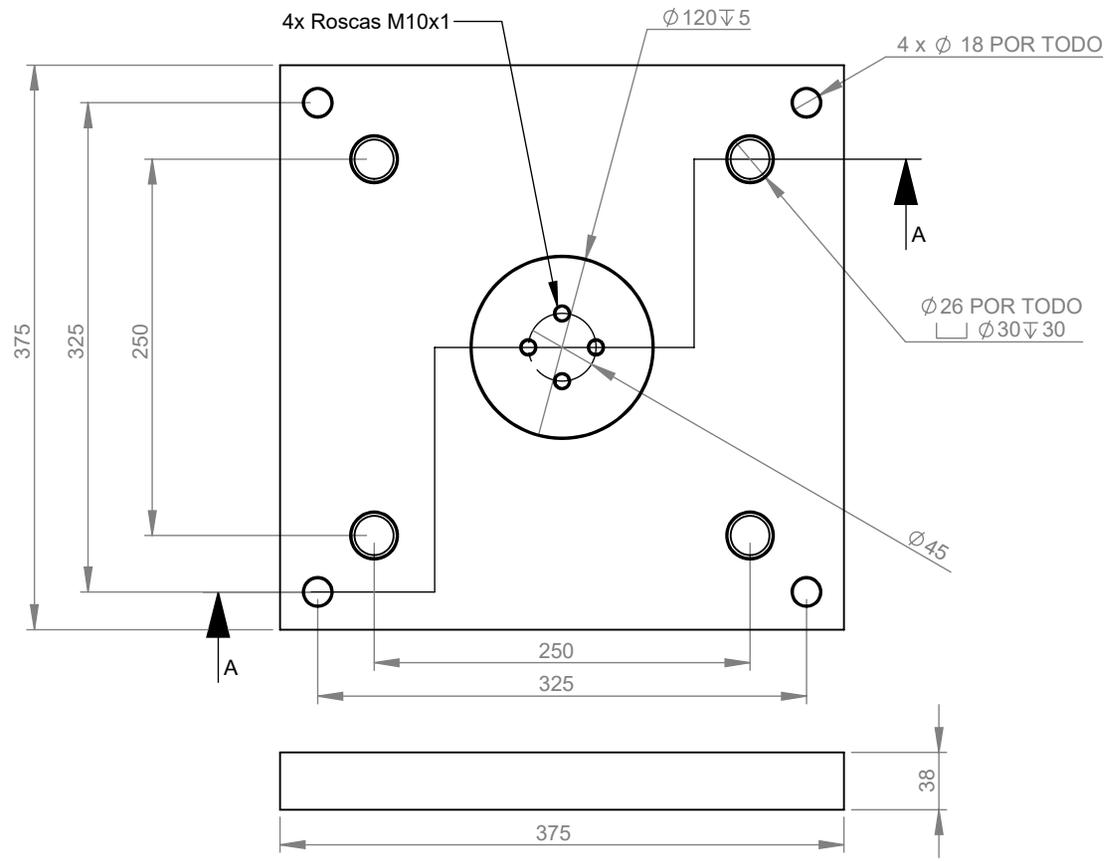
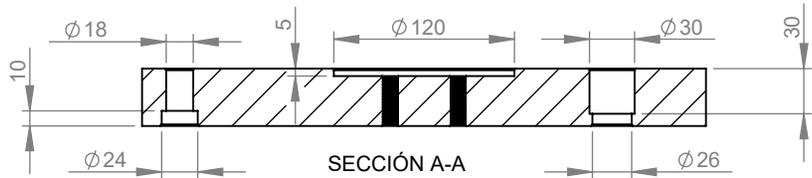
8	A5-S1-PA3-Perno Allen M10x1 B9.0		4
7	A5-S1-PA2-Tuerca para perno M18x1.5 B16.5		8
6	A5-S1-PA1-Arandela M18x1.5		8
5	A5-S1-P5-F-Disco para anclaje de soportes		1
4	A5-S1-P4-F-Buje		4
3	A5-S1-P3-F-Placa fija superior		1
2	A5-S1-P2-T-Columna fija		4
1	A5-S1-P1-F-Placa base inferior		1
N.º	NOMBRE DE PIEZA	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
DISEÑO Y DIBUJO		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S1-Estructura fija		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA			
A4	ESCALA 1:10	MATERIAL N/A	CANTIDAD 1
NOTAS GENERALES			



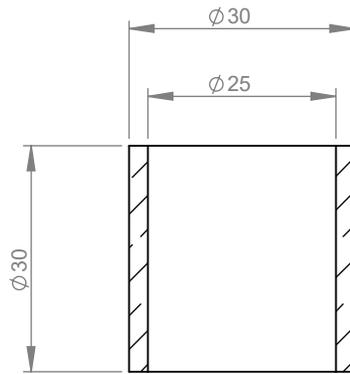
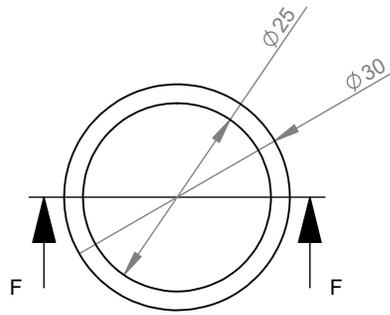
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos						
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO					
A5-S1-P1-F-Placa base inferior		1 de 1	A5-S1-P1-F					
PIEZA COMPUESTA								
N/A		N/A	N/A					
SISTEMA								
Estructura fija		2 de 6	A5-S1					
MODELO DE MÁQUINA								
MTPR-XN		4 de 50	A5		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS			
A4	ESCALA 1:5	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	1			
NOTAS GENERALES		Todos los agujeros estan centrados al centro de la placa. Chafilanes de un mm						



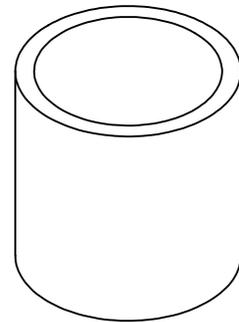
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos					
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA		
A5-S1-P2-T-Columna fija		1 de 1	A5-S1-P2-T				
PIEZA COMPUESTA							
N/A		N/A	N/A				
SISTEMA							
Estructura fija		3 de 6	A5-S1				
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS		
MTPR-XN		5 de 50	A5				
A4	ESCALA 1:5	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	4			
NOTAS GENERALES							



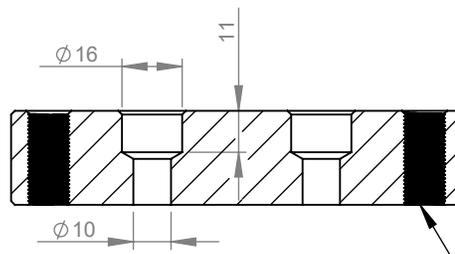
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S1-P3-F-Placa fija superior		1 de 1	A5-S1-P3-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Estructura fija		4 de 6	A5-S1		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		6 de 50	A5			
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD		
1:5		NOTAS GENERALES				



SECCIÓN F-F



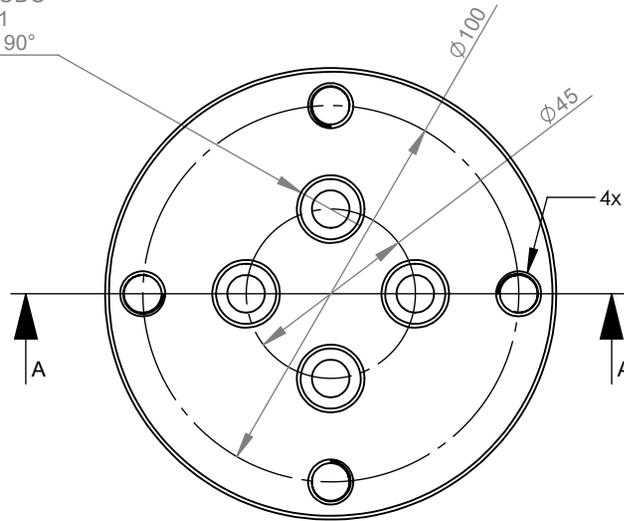
		NOMBRE		FIRMA	FECHA		
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos					
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA		
A5-S1-P4-F-Buje		1 de 1	A5-S1-P4-F				
PIEZA COMPUESTA							
N/A		N/A	N/A				
SISTEMA							
Estructura fija		5 de 6	A5-S1		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS		
MODELO DE MÁQUINA							
MTPR-XN		7 de 50	A5				
A4	ESCALA 1:1	MATERIAL Bronce SAE 841	CANTIDAD	4			
NOTAS GENERALES							



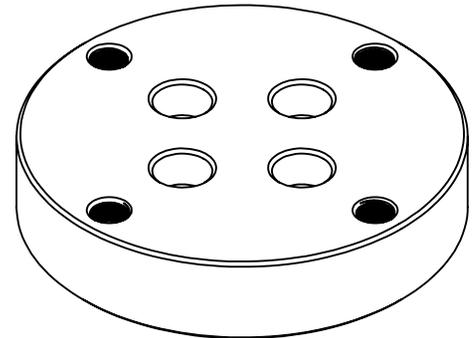
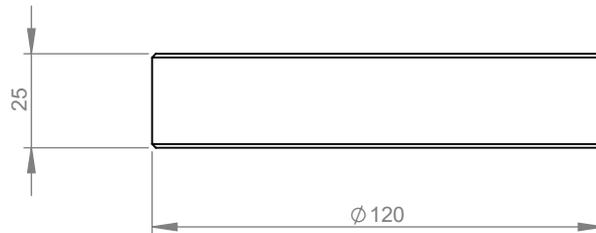
SECCIÓN A-A

4x Roscas M10x1

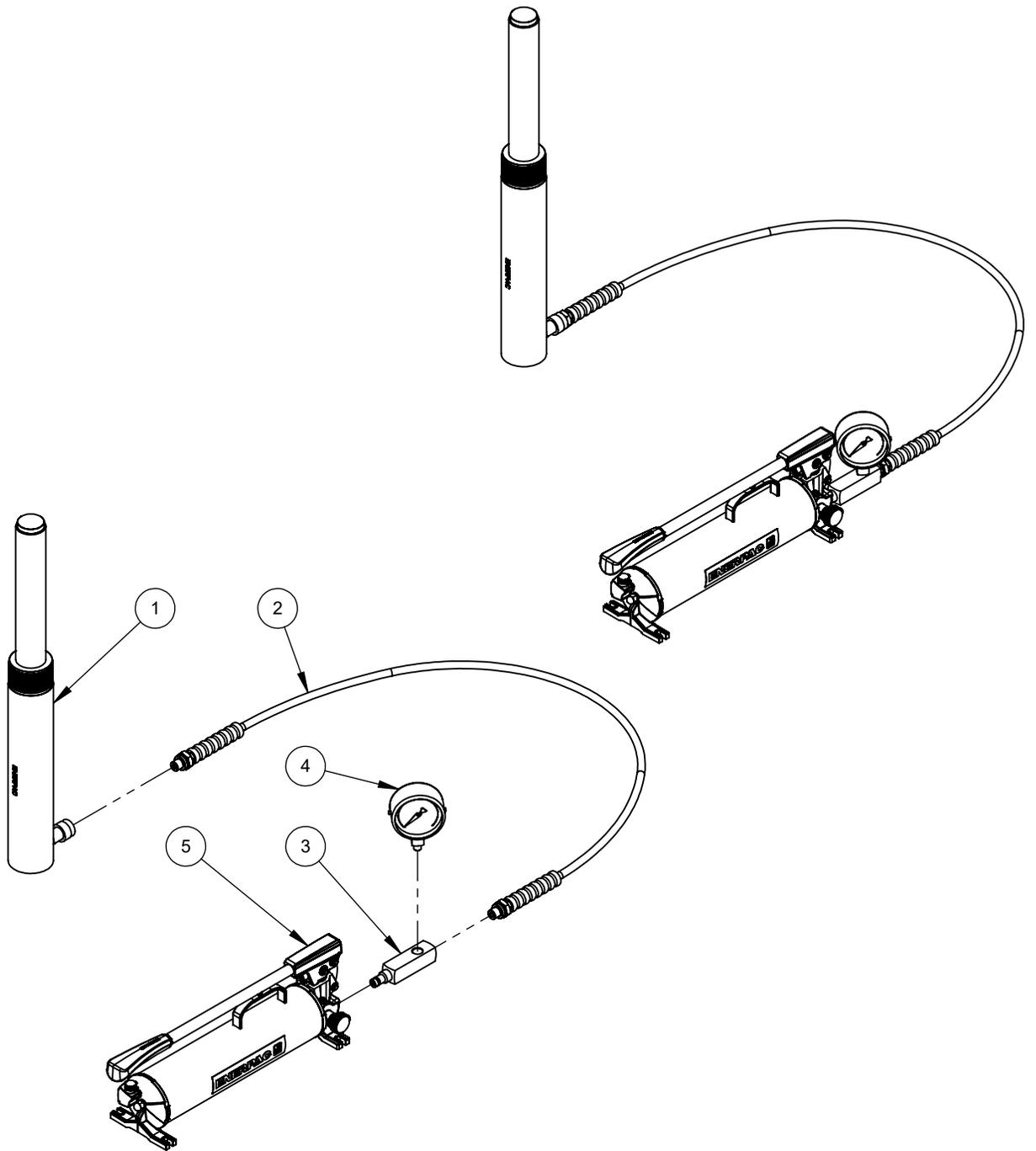
Ø 10 POR TODO  
 Ø 16  $\nabla$  11  
 $\surd$  Ø 18 X 90°



4x Roscas M10x1

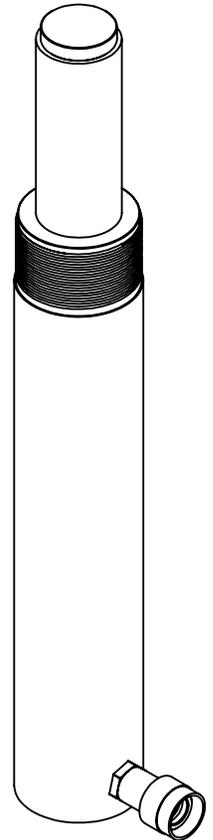
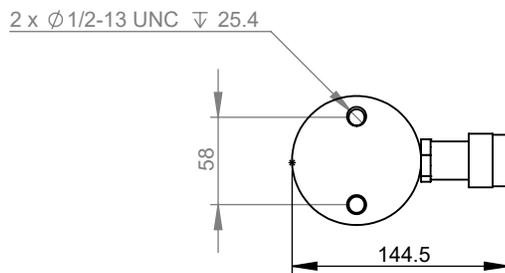
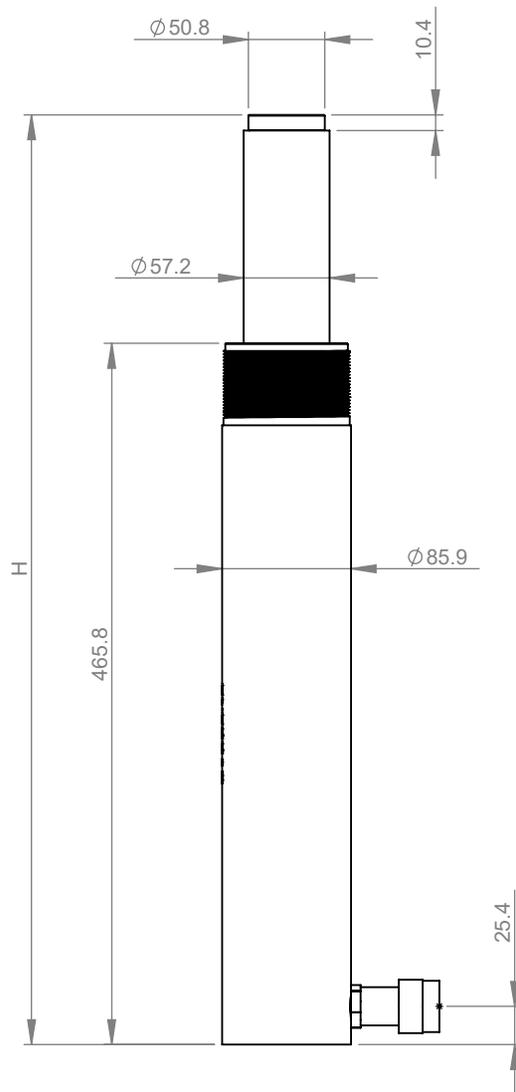


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			17/11/2017	TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos					
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO				
A5-S1-P5-F-Disco para anclaje de soportes		1 de 1	A5-S1-P5-F				
PIEZA COMPUESTA							
N/A		N/A	N/A				
SISTEMA						SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
Estructura fija		6 de 6	A5-S1				
MODELO DE MÁQUINA							
MTPR-XN		8 de 50	A5				
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	1		
	1:2	NOTAS GENERALES					



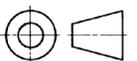
5	A5-S2-PAC3-Bomba hidráulica P-80 SCR-2514H		1
4	A5-S2-PA2-Manómetro GF-20P		1
3	A5-S2-PA1-Acople GA-2		1
2	A5-S2-PAC2-Manguera hidráulica HC-7206		1
1	A5-S2-PAC1-Cilindro hidráulico RC-2514		1
N.º	NOMBRE DE PIEZA	OBSERVACIÓN	CANTIDAD

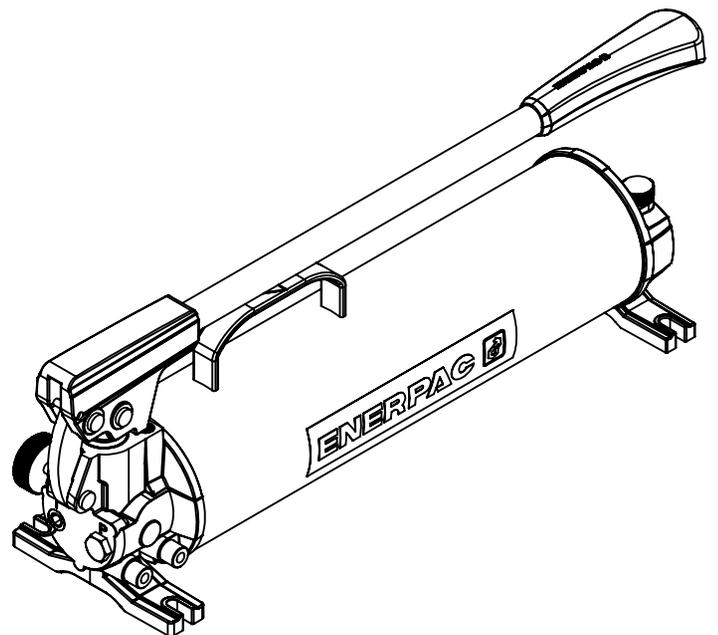
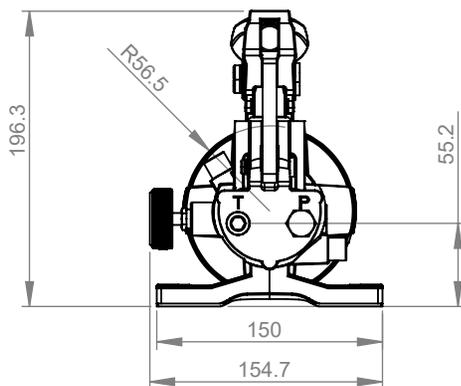
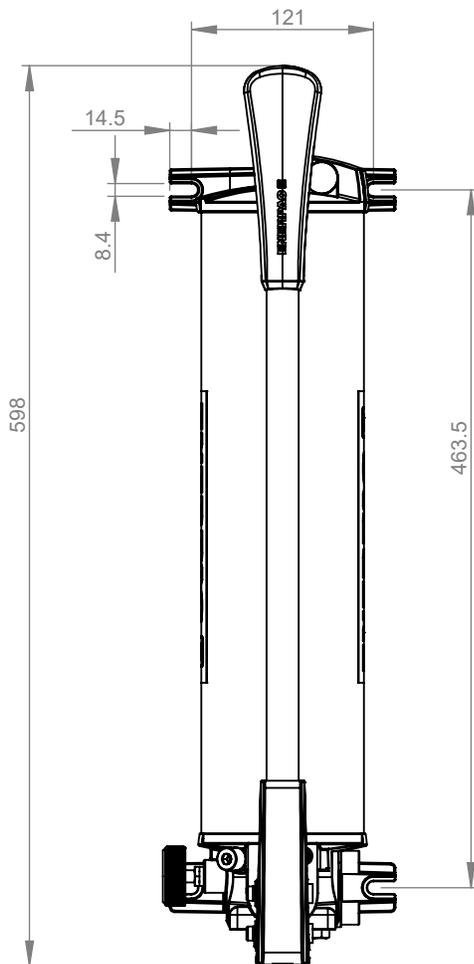
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE		FIRMA		FECHA		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Angel Gómez Bayona				21/10/2017			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA		CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA			
A5-S2-Sistema hidráulico		1 de 1		A5-S2					
PIEZA COMPUESTA									
N/A		N/A		N/A					
SISTEMA									
Sistema hidráulico		1 de 3		A5-S2		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS			
MODELO DE MÁQUINA									
MTPR-XN		9 de 50		A5					
A3	ESCALA	MATERIAL	N/A		CANTIDAD	1			
	1:5	NOTAS GENERALES							



Clindro hidráulico ENERPAC RC-2514

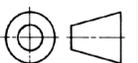
Capacidad	232 kN (25 ton)		
Carrera	362 mm		
Área efectiva	33.2 cm <sup>2</sup>		
Volumen de aceite	1202 cm <sup>3</sup>		
Altura total, H	322 mm retraído y 838 mm extendido.		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona		21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-S2-PAC1-Cilindro hidráulico RC-2514	1 de 1	A5-S2-PAC1	
PIEZA COMPUESTA			
N/A	N/A	N/A	
SISTEMA			
Sistema hidráulico	2 de 3	A5-S2	
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN	10 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	N/A
	1:5		
	NOTAS GENERALES	Se muestran solo los datos relevantes.	
			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
			TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
			SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS

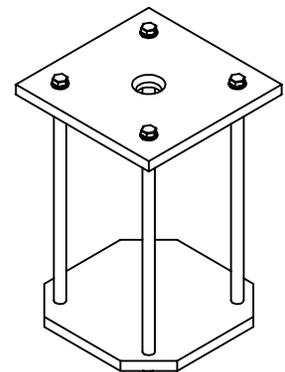
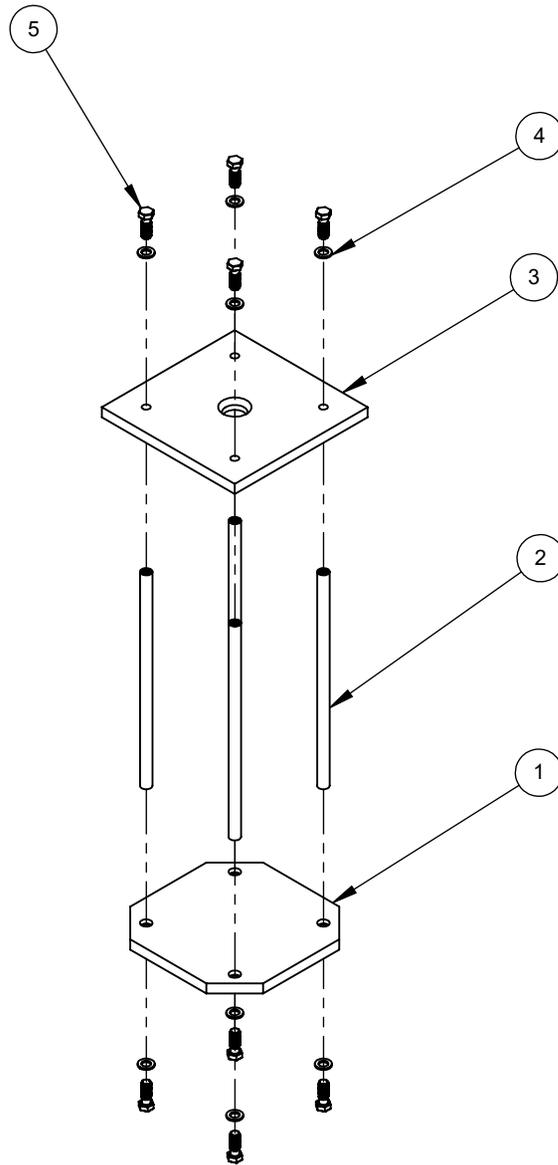




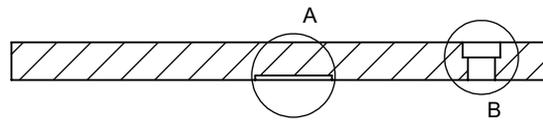
Bomba hidráulica ENERPAC P80 SCR-2514H

Tipo de bomba		Dos velocidades			
Capacidad de aceite usable		2200 cm <sup>3</sup>			
Rangos de presiones		Primera etapa 34 bar y segunda etapa 700 bar			
Aceite desplazado por carrera		Primera etapa 16.39 cm <sup>3</sup> y segunda etapa 2.46 cm <sup>3</sup>			
Carrera del pistón		25.4 mm			
		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona		21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-S2-PAC3-Bomba hidráulica P-80 SCR-2514H		1 de 1	A5-S2-PAC3		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
Sistema hidráulico		3 de 3	A5-S2		
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		11 de 50	A5		
A4	ESCALA	MATERIAL	N/A	CANTIDAD	
	1:5	NOTAS GENERALES		Se muestran solo los datos relevantes.	

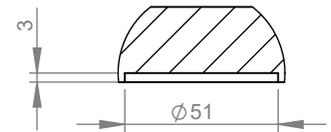
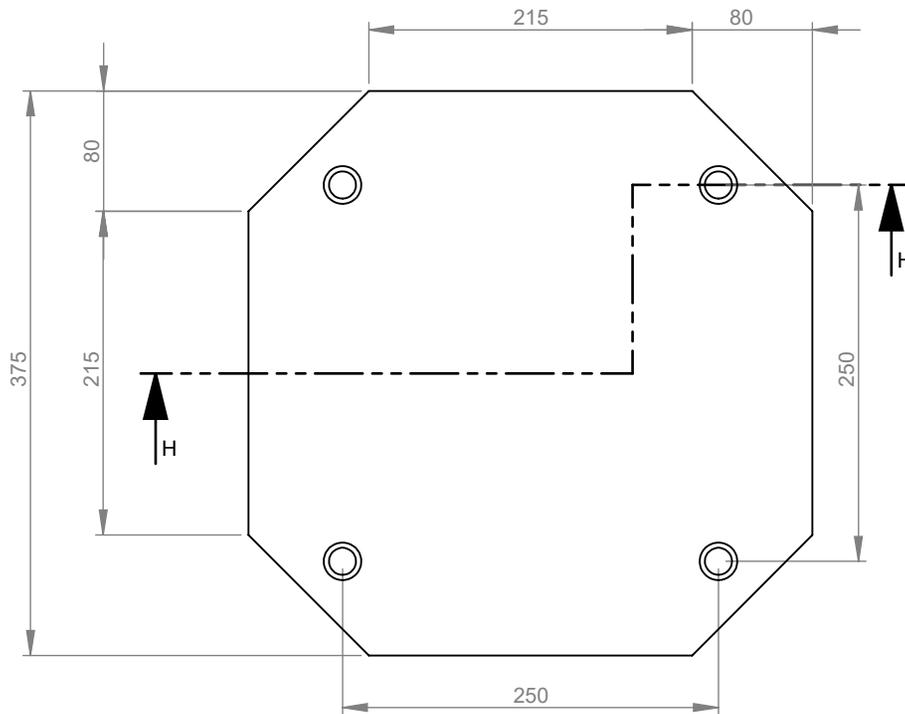




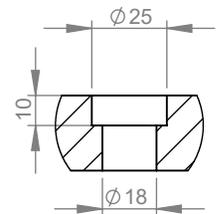
5	A5-S3-PA2-Perno M18x1.5 B16.5		8
4	A5-S3-PA1-Arandela M18x1.5		8
3	A5-S3-P3-F-Placa móvil superior		1
2	A5-S3-P2-T-Barra deslizante		4
1	A5-S3-P1-F-Placa móvil inferior		1
N.º	NOMBRE DE PIEZA	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE	FIRMA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		FECHA	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO
PIEZA COMPUESTA			
SISTEMA			
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN			
A3	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD
1:10		N/A	1
NOTAS GENERALES			
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA			TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS			



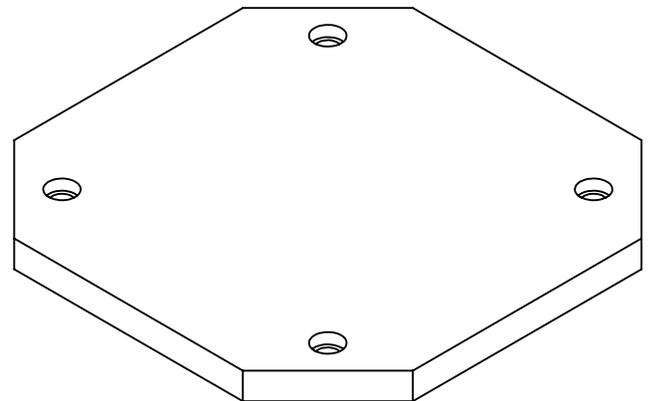
SECCIÓN H-H  
ESCALA 1 : 5



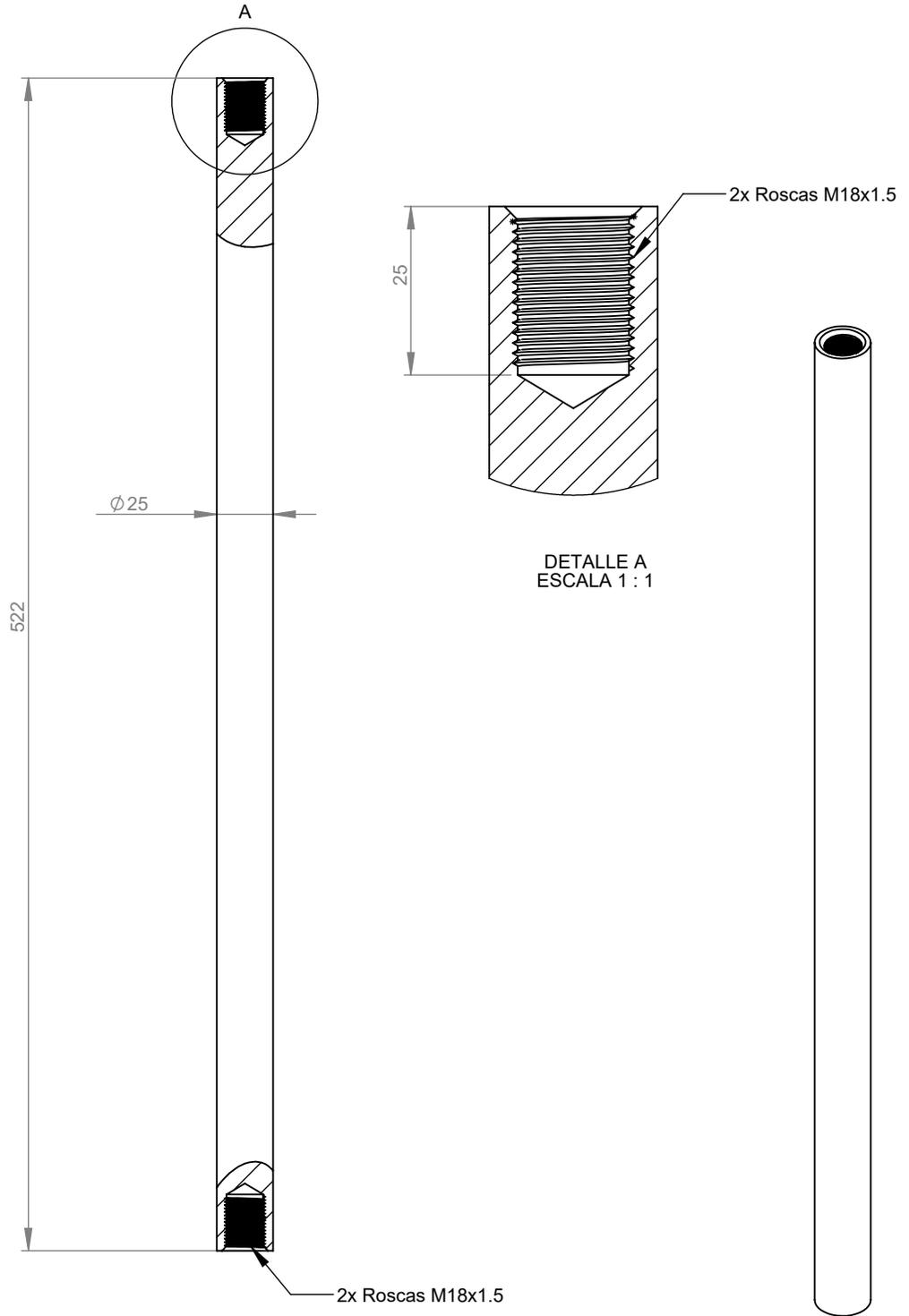
DETALLE A  
ESCALA 2 : 5



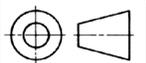
DETALLE B  
ESCALA 2 : 5

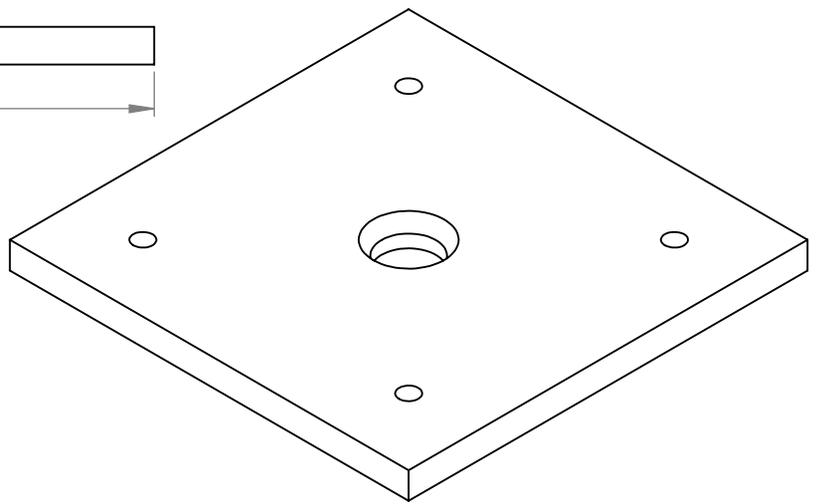
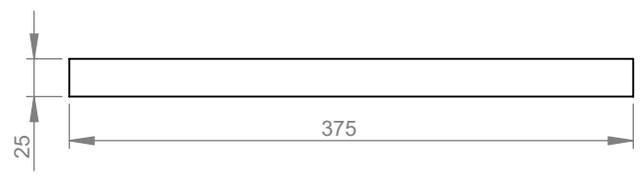
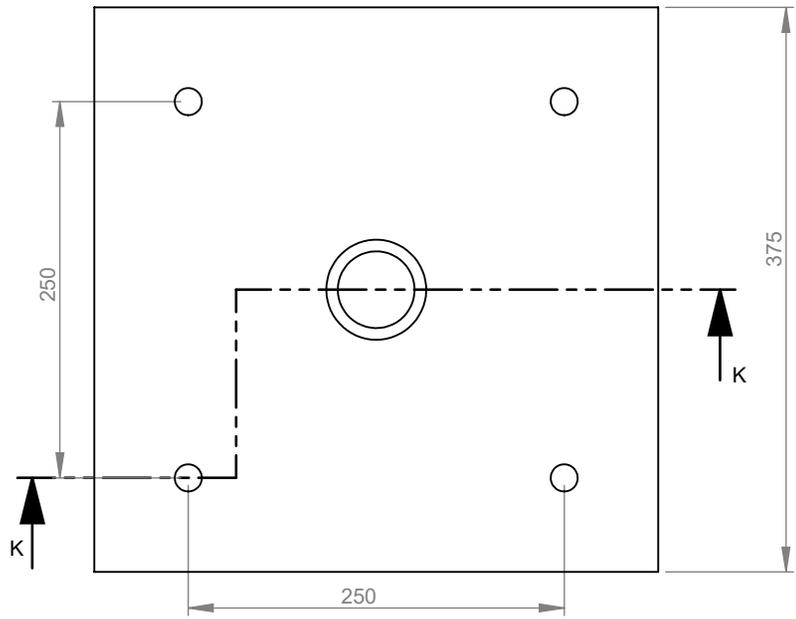
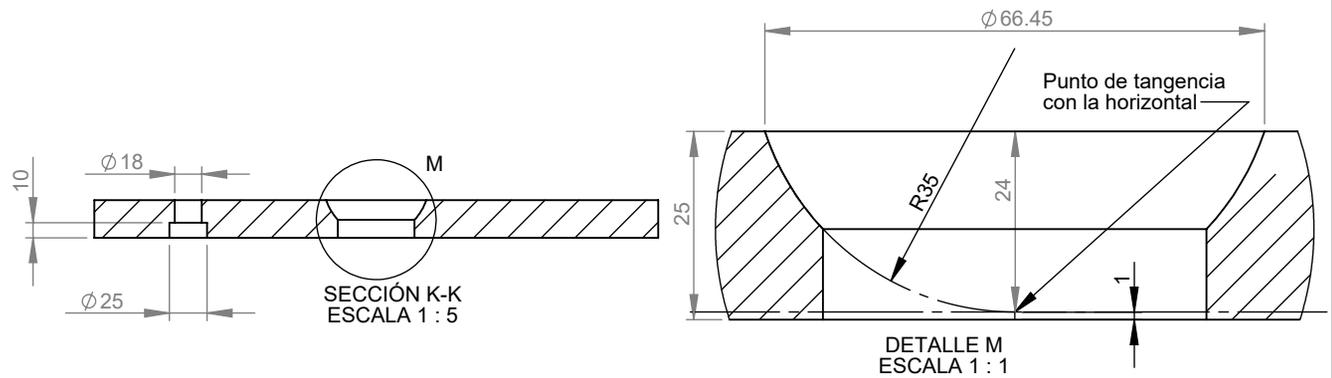


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO				
A5-S3-P1-F-Placa móvil inferior		1 de 1	A5-S3-P1-F				
PIEZA COMPUESTA							
N/A		N/A	N/A				
SISTEMA						SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
Estructura móvil		2 de 4	A5-S3				
MODELO DE MÁQUINA							
MTPR-XN		13 de 50	A5				
A3	ESCALA 1:5	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	1		
NOTAS GENERALES							

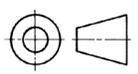


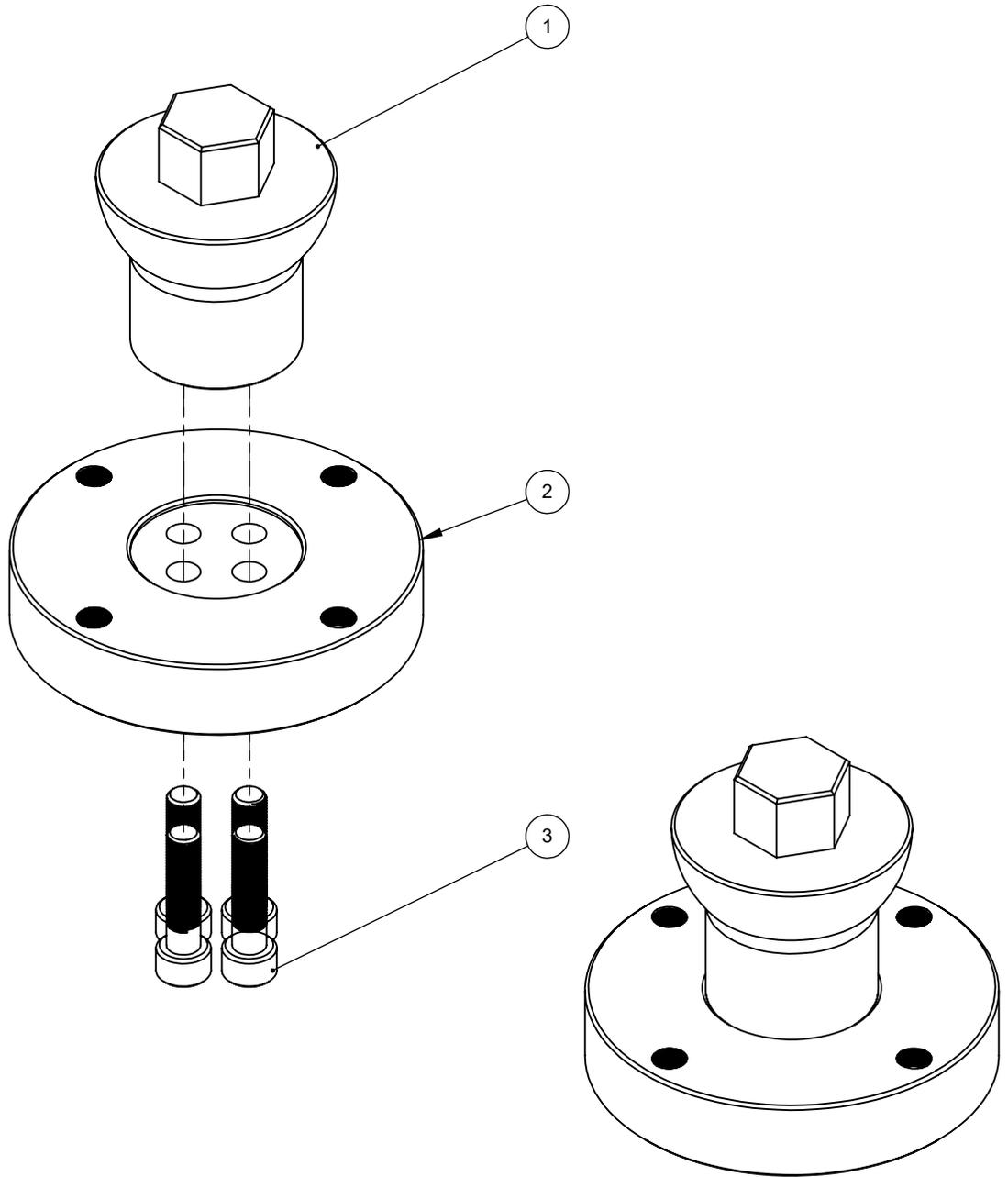
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S3-P2-T-Barra deslizante		1 de 1	A5-S1-P2-T			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Estructura móvil		3 de 4	A5-S3		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		14 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:3	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	4		
NOTAS GENERALES						



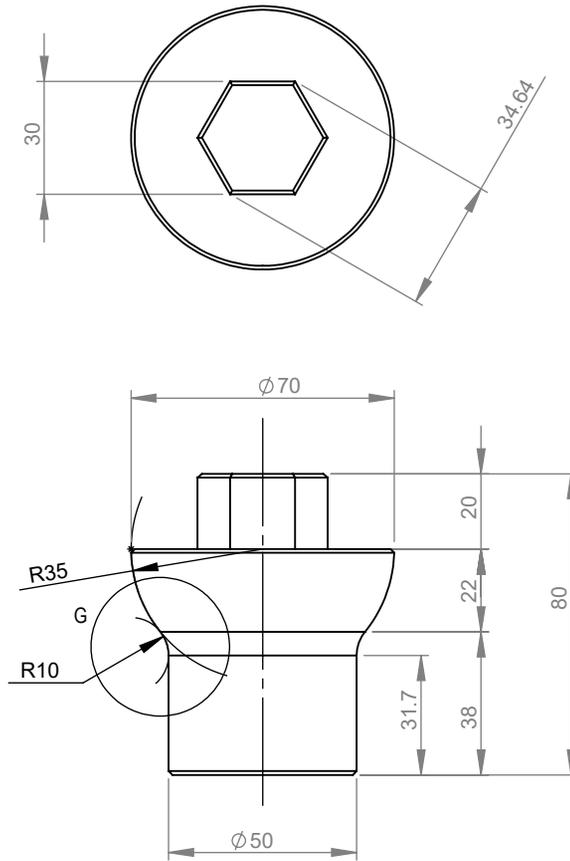


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO				
A5-S3-P3-F-Placa móvil superior		1 de 1	A5-S3-P3-F				
PIEZA COMPUESTA							
N/A		N/A	N/A				
SISTEMA							
Estructura móvil		4 de 4	A5-S3				
MODELO DE MÁQUINA							
MTPR-XN		15 de 50	A5				
A4	ESCALA 1:5	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	1	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
		NOTAS GENERALES					

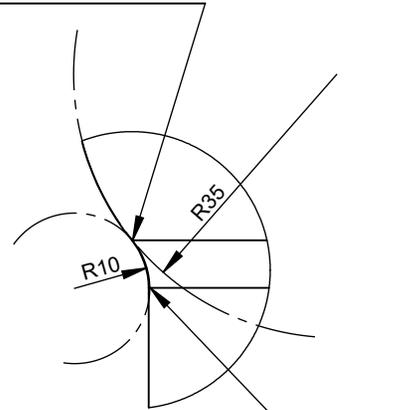




3	A5-S4-PA1-Perno Allen M10x1 B9.0		4
2	A5-S4-P2-F-Disco base de soportes		1
1	A5-S4-P1-TF-TF-Eje con asiento esférico		1
N.º	NOMBRE DE PIEZA	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE	FIRMA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		FECHA	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO
N/A		N/A	N/A
SISTEMA			
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN			
A4	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD
1:2		N/A	1
NOTAS GENERALES		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA  SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	

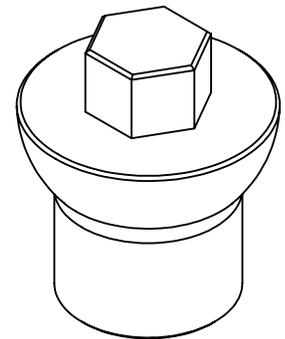
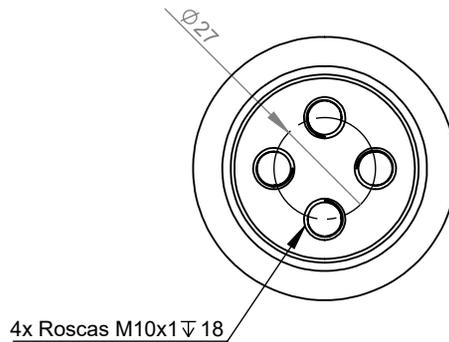


Punto de tangencia de arcos e intersección con la horizontal

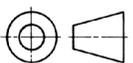


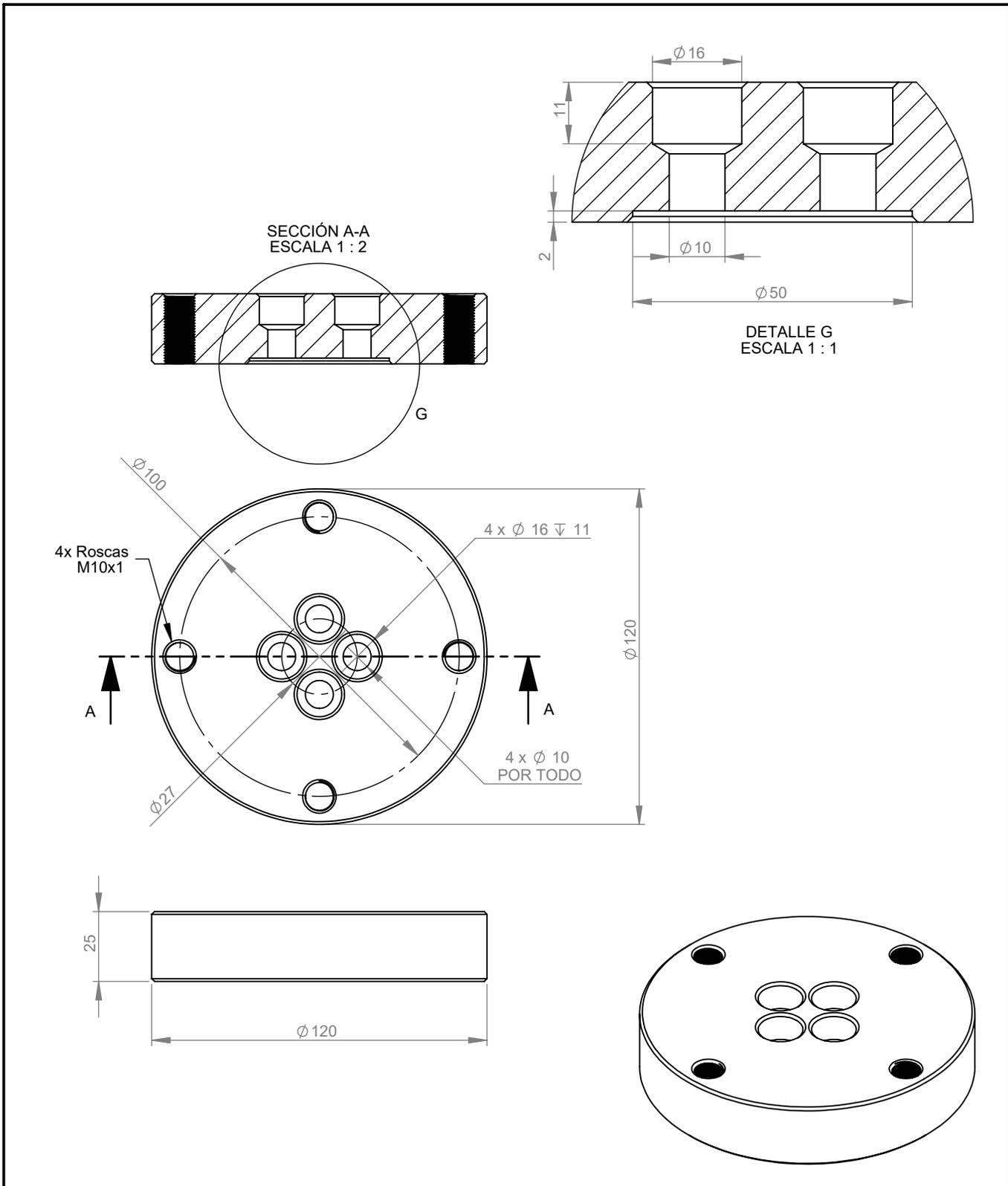
DETALLE G  
ESCALA 1:1

Punto de tangencia con la vertical e intersección con la horizontal

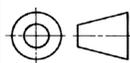


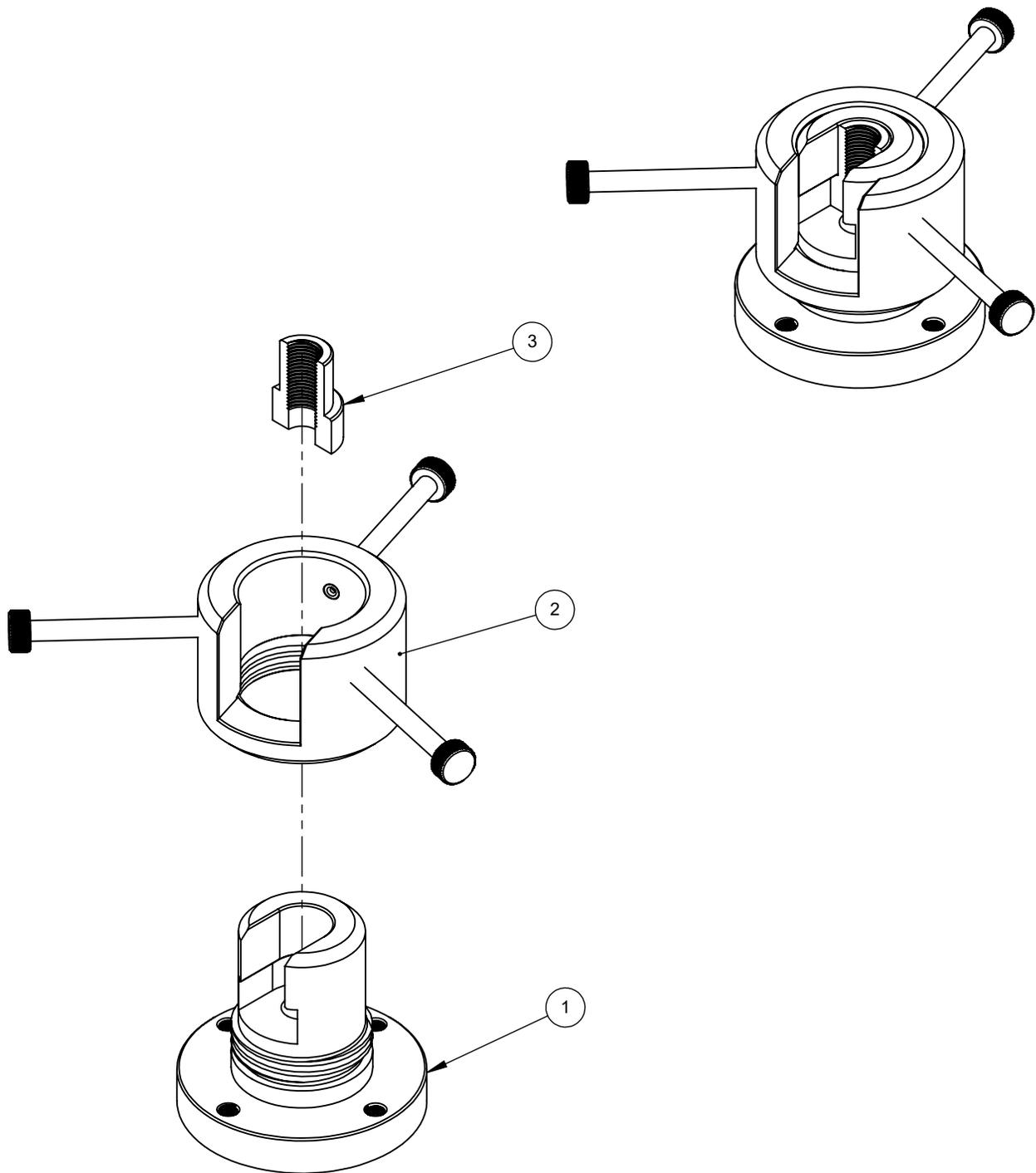
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S4-P1-TF-TF-Eje con asiento esférico		1 de 1	A5-S4-P1-TF-TF			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Alineador de soportes		2 de 3	A5-S4		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		17 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:2	MATERIAL Acero AISI 1040	CANTIDAD	1		
NOTAS GENERALES						





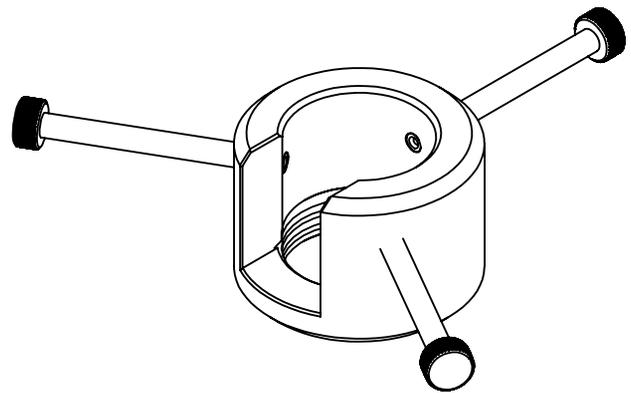
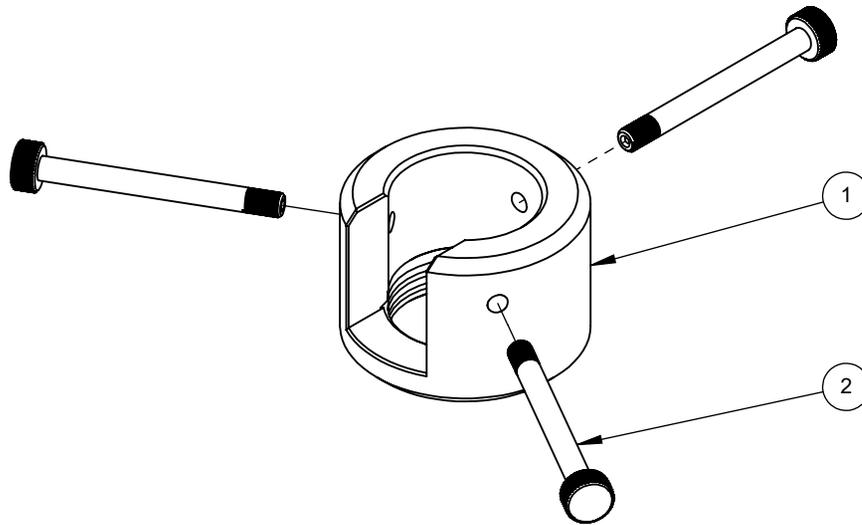
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S4-P2-F-Disco base de soportes		1 de 1	A5-S4-P2-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Alineador de soportes		3 de 3	A5-S4		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		18 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:2	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	1		
NOTAS GENERALES						





3	A5-S5-P2-F-Portaprobeta fijo		1
2	A5-S5-PC1-Collar sujetador		1
1	A5-S5-P1-F-Soporte fijo		1
N.º	NOMBRE DE PIEZA	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
DISEÑO Y DIBUJO		UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
N/A		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
A3	ESCALA 1:2	MATERIAL N/A	CANTIDAD 2
NOTAS GENERALES			





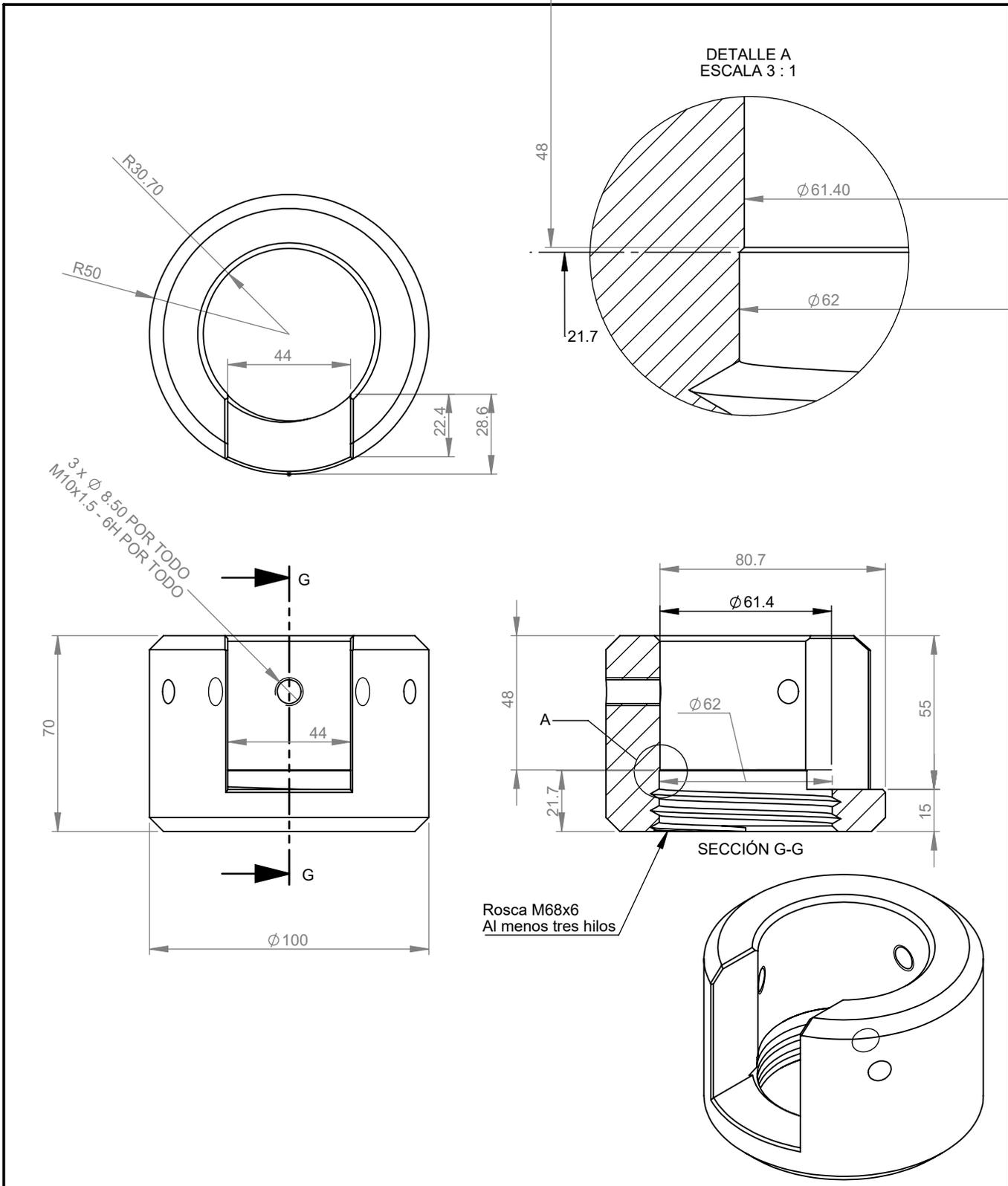
2	A5-S5-PC1-C2-T-Mango		3
1	A5-S5-PC1-C1-FO-Collar roscado		1
N.º	NOMBRE DE COMPONENTE	OBSERVACIÓN	CANTIDAD
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE	FIRMA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		FECHA	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO
PIEZA COMPUESTA			
SISTEMA			
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN			
A4	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD
1:3		N/A	2
NOTAS GENERALES			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

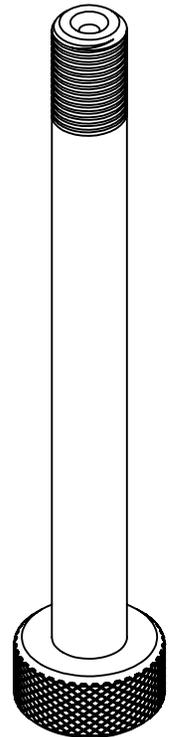
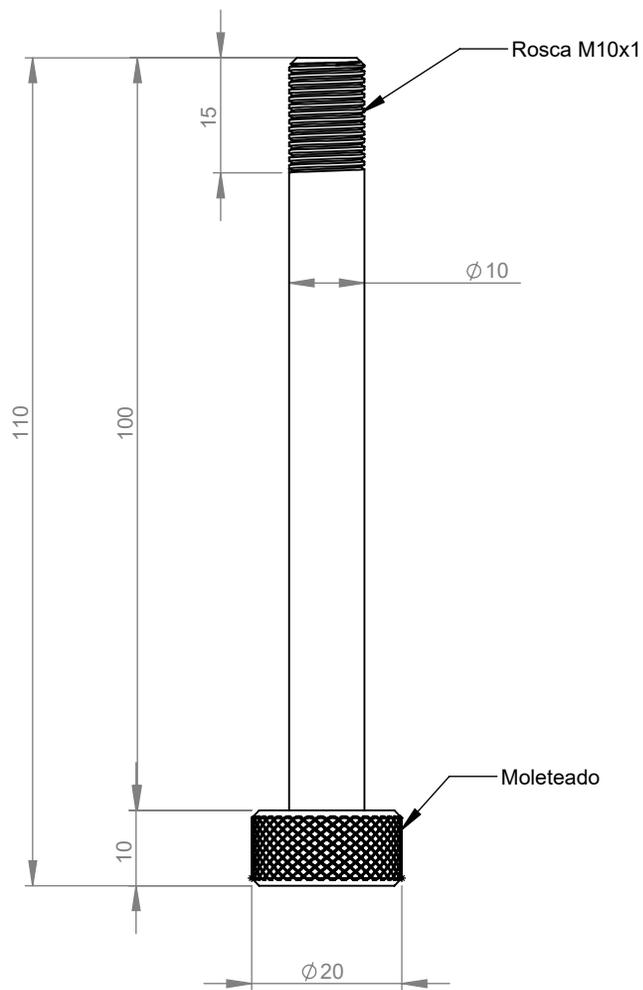
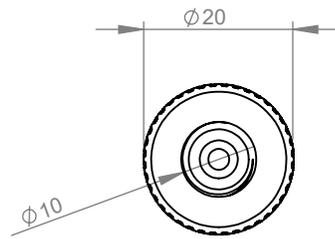
TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DE INGENIERÍA MECÁNICA:  
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE  
ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO  
AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN  
MILÍMETROS



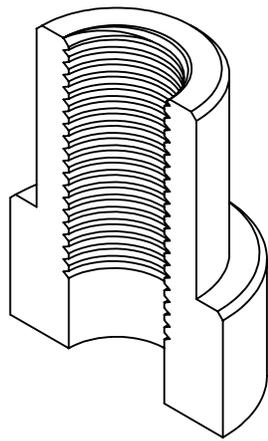
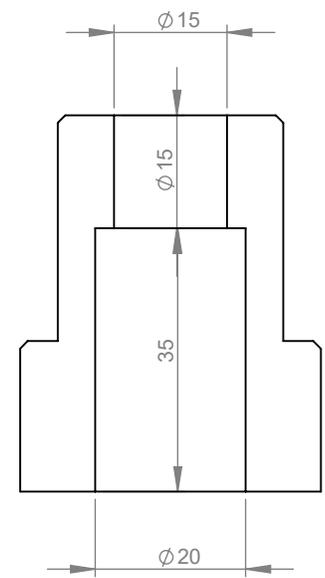
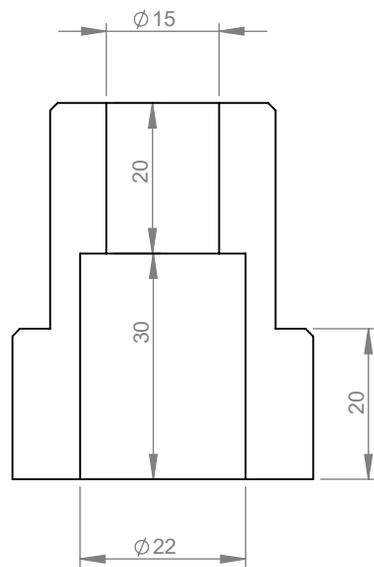
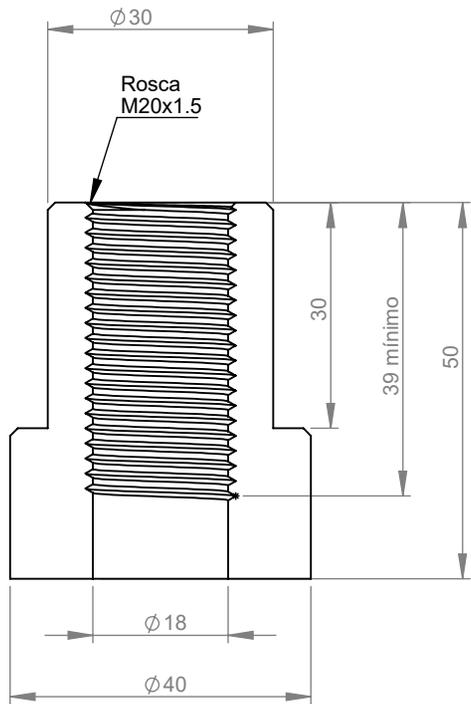
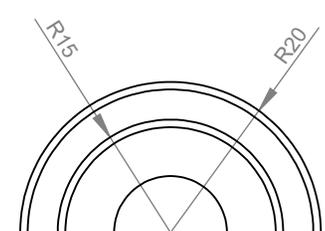
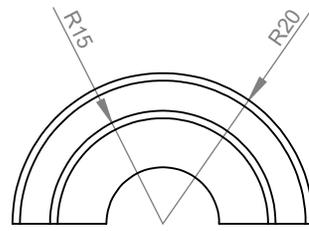
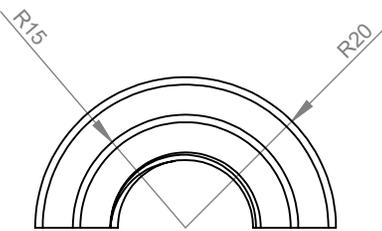


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos					
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA		
A5-S5-PC1-C1-FO-Collar roscado		1 de 1	A5-S5-PC1-C1-FO				
PIEZA COMPUESTA							
Collar sujetador		2 de 3	A5-S5-PC1				
SISTEMA							
Soporte de portaprobeta		4 de 6	A5-S5				
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS		
MTPR-XN		22 de 50	A5				
A3	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD			
	1:2	NOTAS GENERALES					

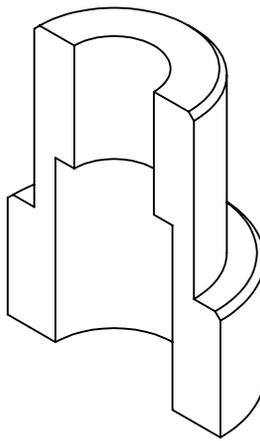


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO			
A5-S5-PC1-C2-T-Mango		1 de 1	A5-S5-PC1-C2-T			
PIEZA COMPUESTA						
Collar sujetador		3 de 3	A5-S5-PC1			
SISTEMA						
Soporte de portaprobeta		5 de 6	A5-S5			
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		23 de 50	A5			SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
A4	ESCALA 1:1	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	6		
NOTAS GENERALES						

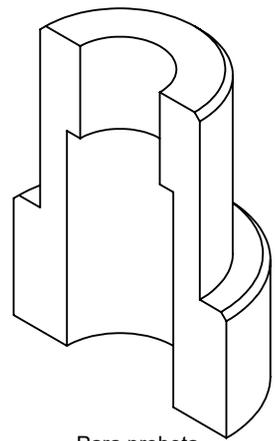




Para probeta redonda tipo 1 y tipo 2

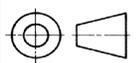


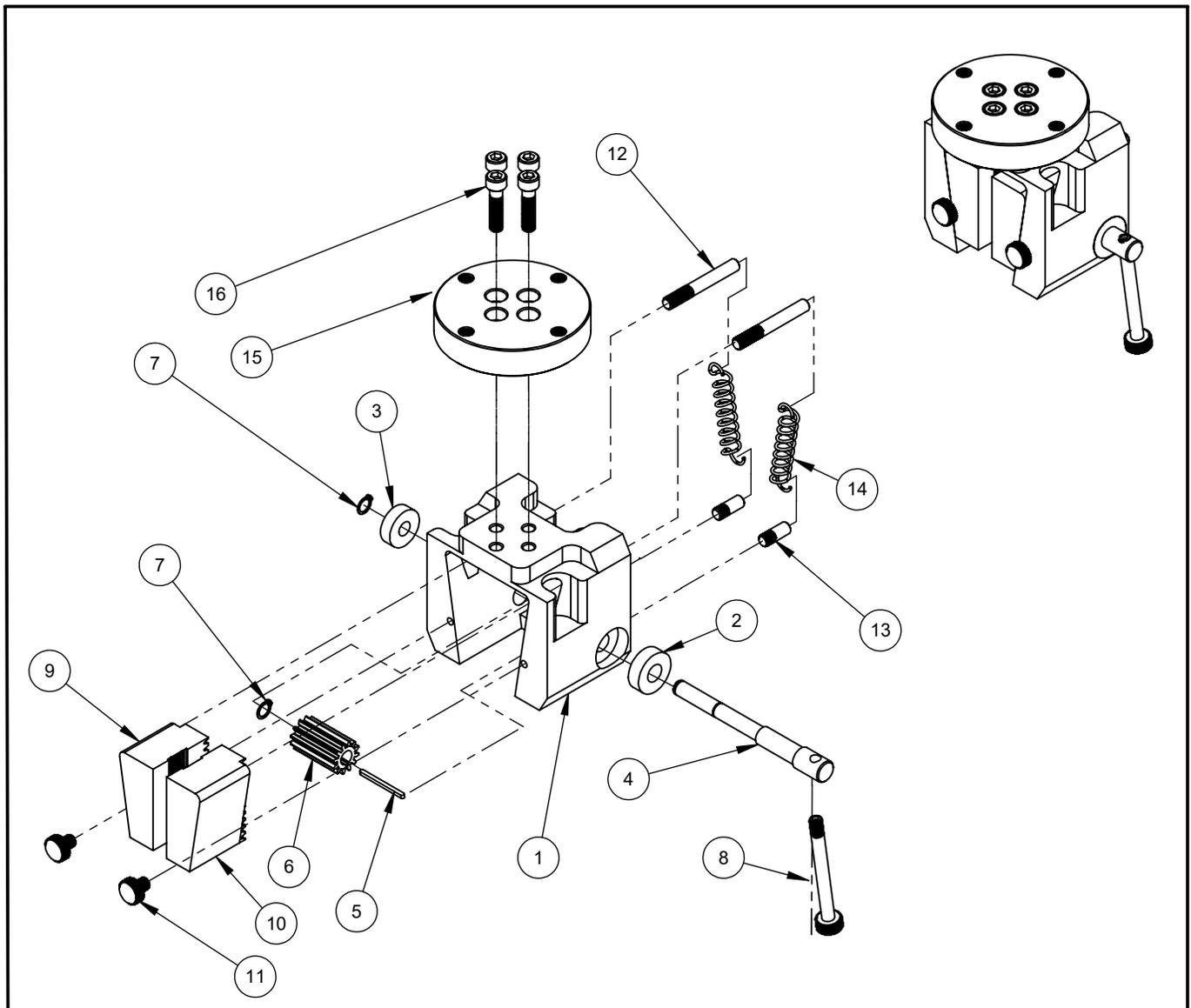
Para probeta redonda tipo 4



Para probeta redonda tipo 5

		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO			
A5-S5-P2-F-Portaprobeta fijo		1 de 1	A5-S5-P2-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Soporte de portaprobeta		6 de 6	A5-S5			
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		24 de 50	A5			
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	2 de c/u	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
	1:1	NOTAS GENERALES		Aquellas dimensiones que se muestran solo una vez, son comunes a todas.		

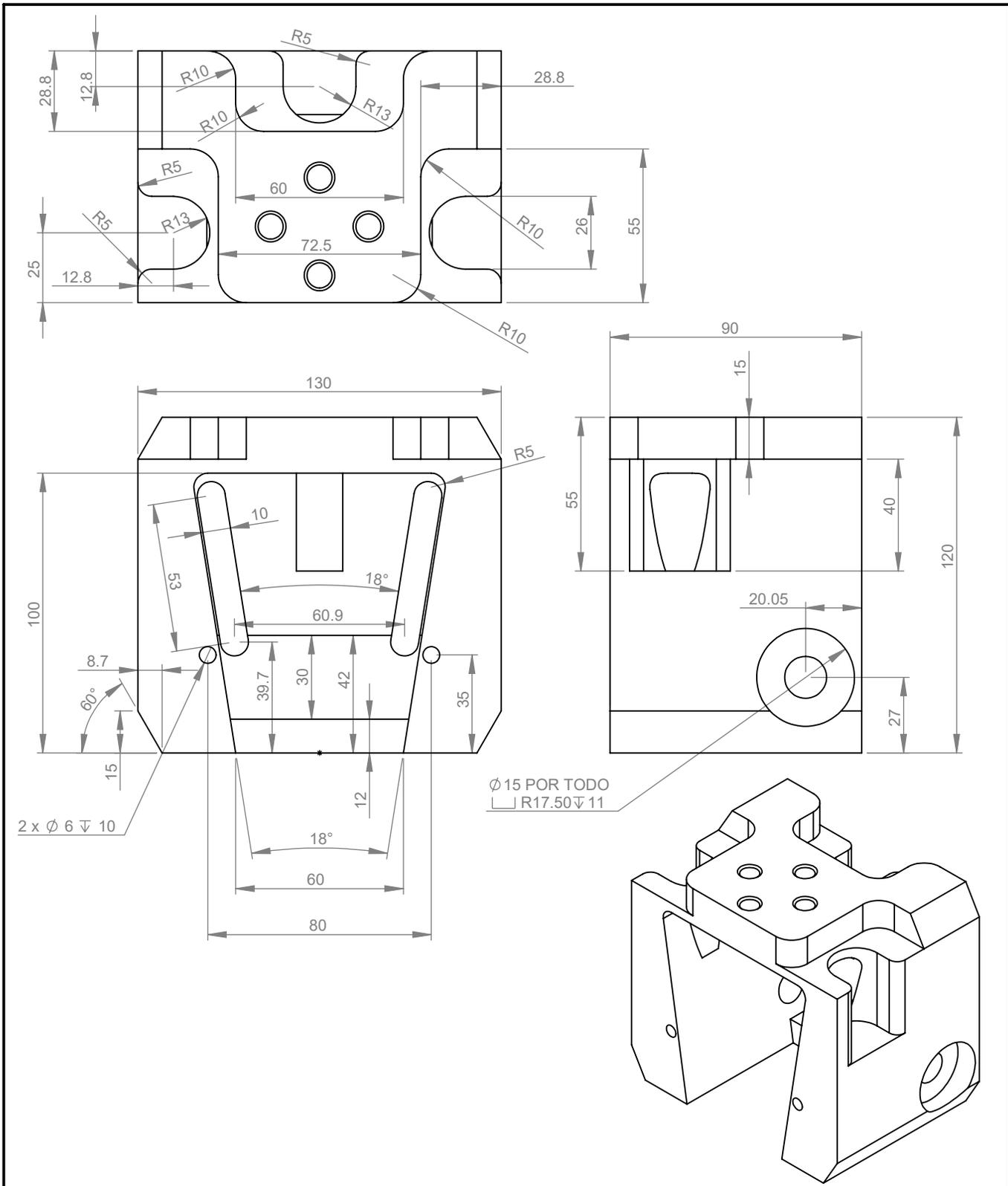




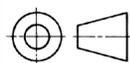
16	A5-S6-PA5-Perno Allen M10x1 B9.0			4
15	A5-S6-P10-F-Disco para anclaje			1
14	A5-S6-PAC1-Resorte tensor			2
13	A5-S6-P9-T-Pin soporte de resorte			2
12	A5-S6-P8-T-Pin de mordaza			2
11	A5-S6-P7-F-Sujetador de mordazas			2
10	A5-S6-P6-F-Mordaza derecha			1
9	A5-S6-P6-F-Mordaza izquierda			1
8	A5-S6-P4-T-Manivela			1
7	A5-S6-PA4- Anillo de retención 5100 D12.0			2
6	A5-S6-P3-TF-TF-Engrane			1
5	A5-S6-PA3-Cuña cuadrada 1L8 3.175mm			1
4	A5-S6-P2-TF-TF-Eje de engrane			1
3	A5-S6-PA2- Rodamiento de bolas 6201			1
2	A5-S6-PA1- Rodamiento de bolas 6202			1
1	A5-S6-P1-F-Pieza C			1
N.º	NOMBRE DE PIEZA	OBSERVACIÓN	CANTIDAD	

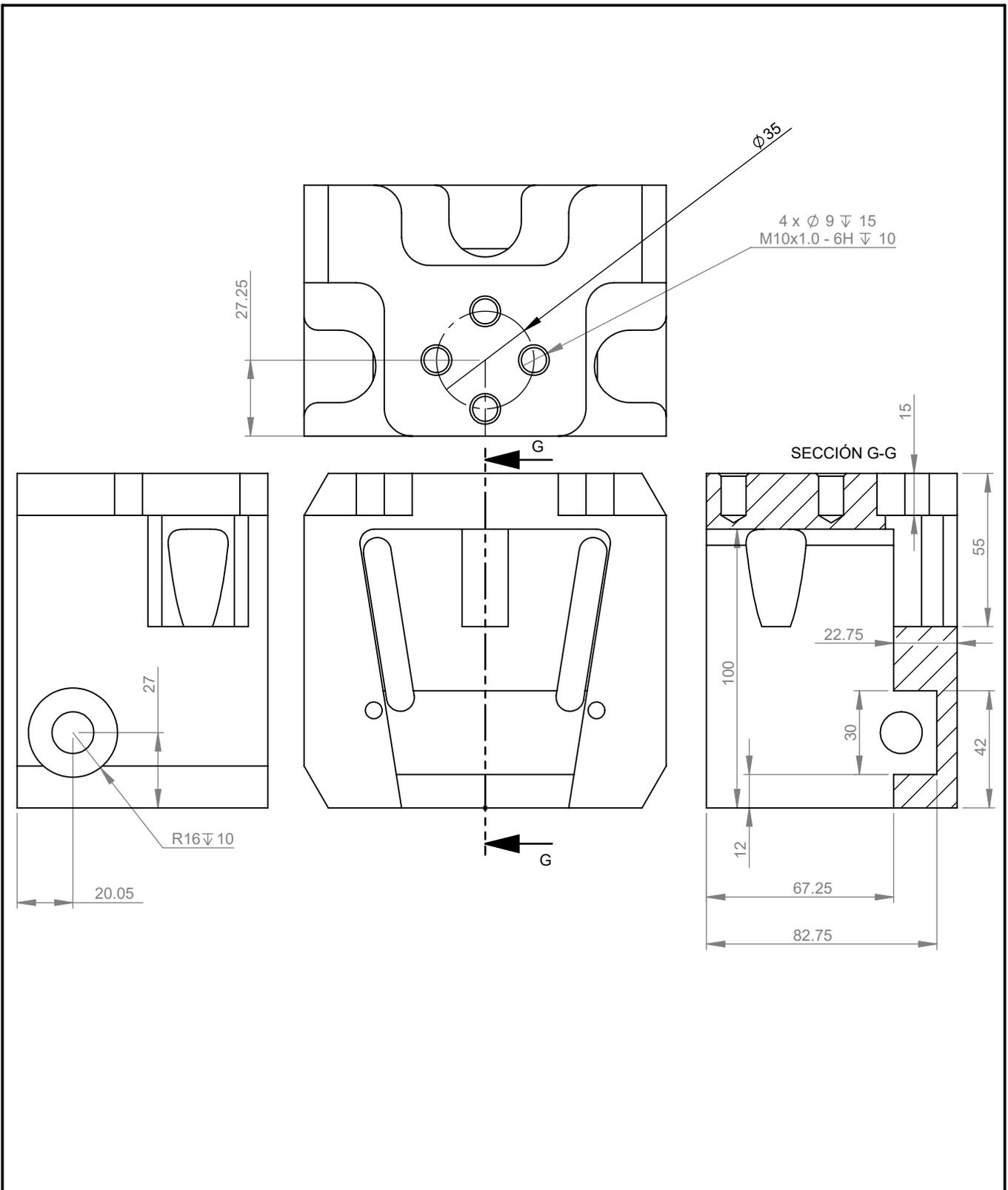
DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		17/11/2017	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-S6-Soporte de mordazas		1 de 1	A5-S6		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
Soporte de mordazas		1 de 16	A5-S6		
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		25 de 50	A5		
A3	ESCALA 1:3	MATERIAL N/A	CANTIDAD	2	
NOTAS GENERALES					





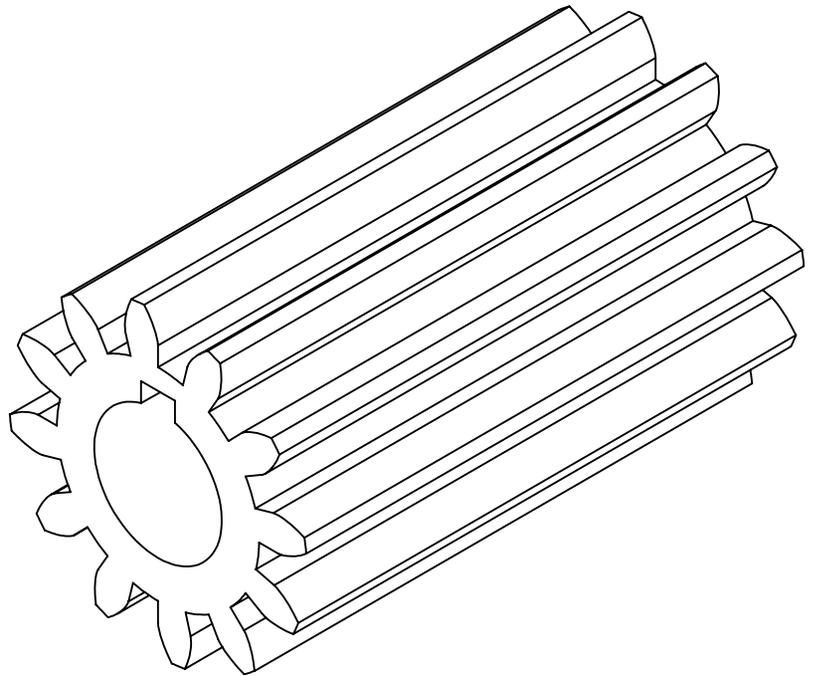
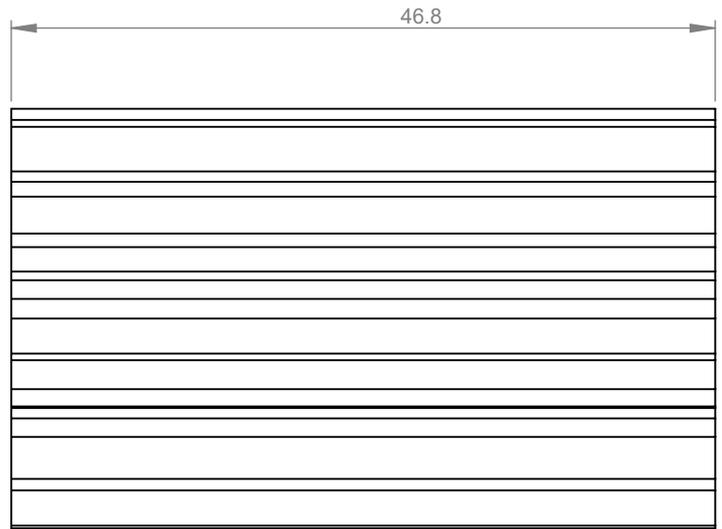
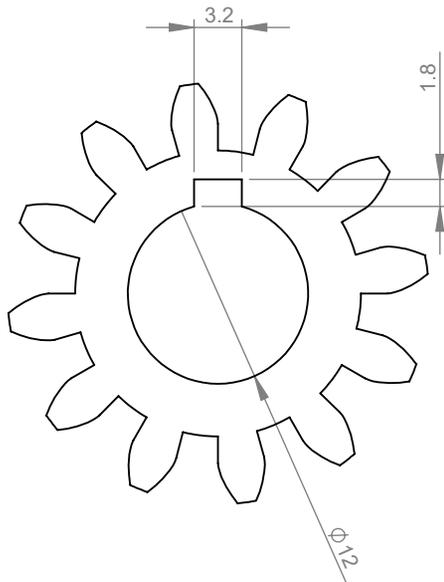
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO			TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-S6-P1-F-Pieza C		1 de 2	A5-S6-P1-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Soporte de mordazas		2 de 16	A5-S6			
MODELO DE MÁQUINA						SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		26 de 50	A5			
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	2	
1:2		NOTAS GENERALES				



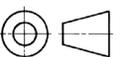


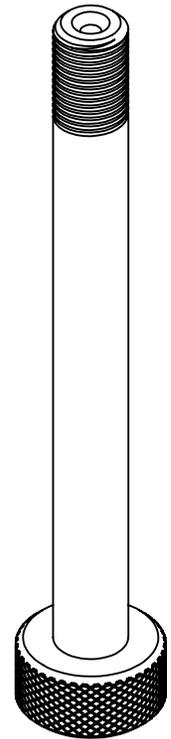
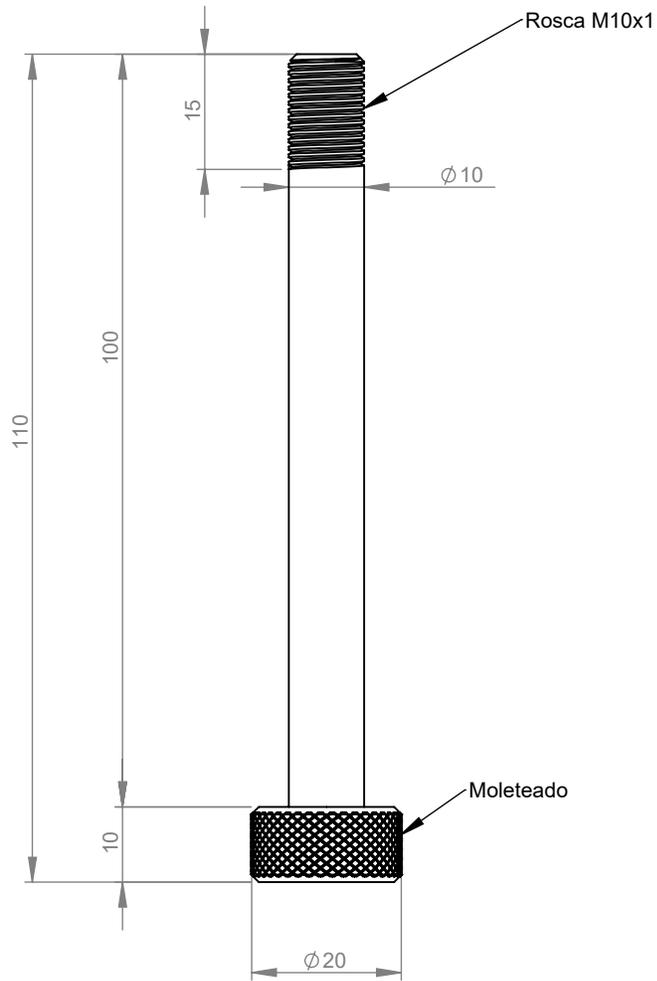
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S6-P1-F-Pieza C		2 de 2	A5-S6-P1-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Soporte de mordazas		3 de 16	A5-S6		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		27 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:2	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	2		
NOTAS GENERALES						



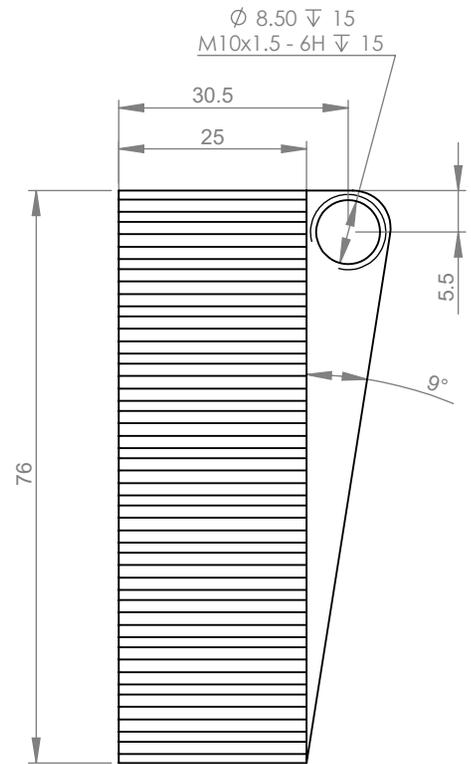
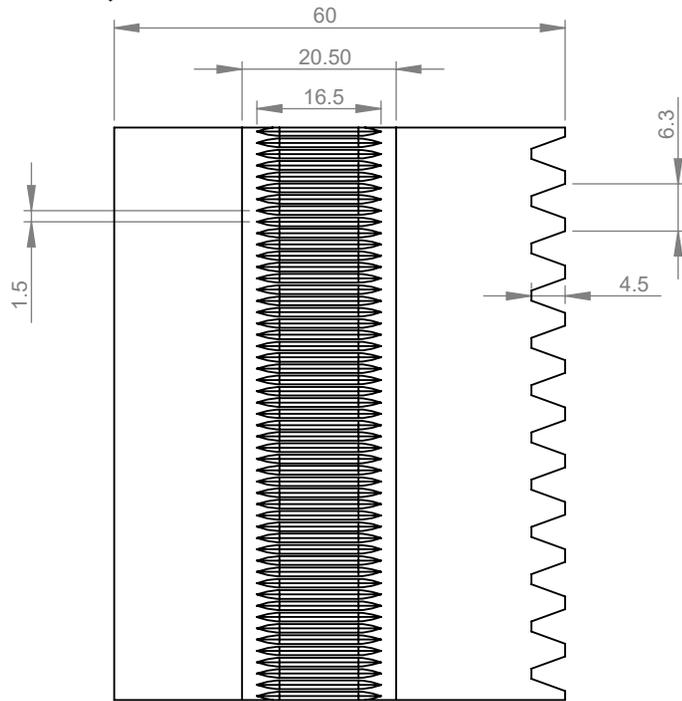
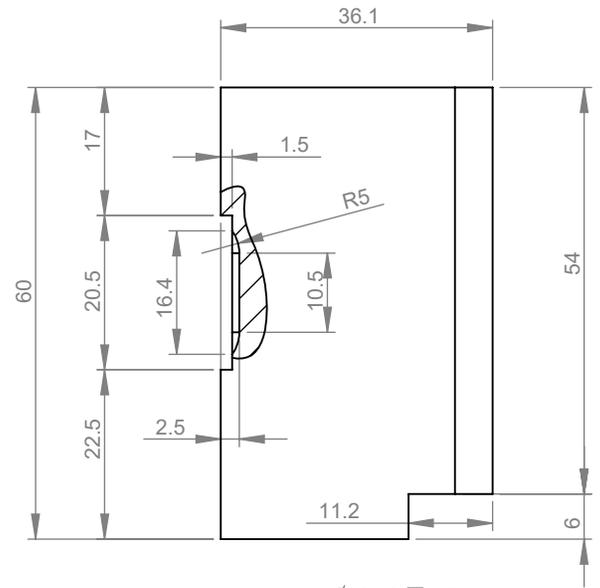
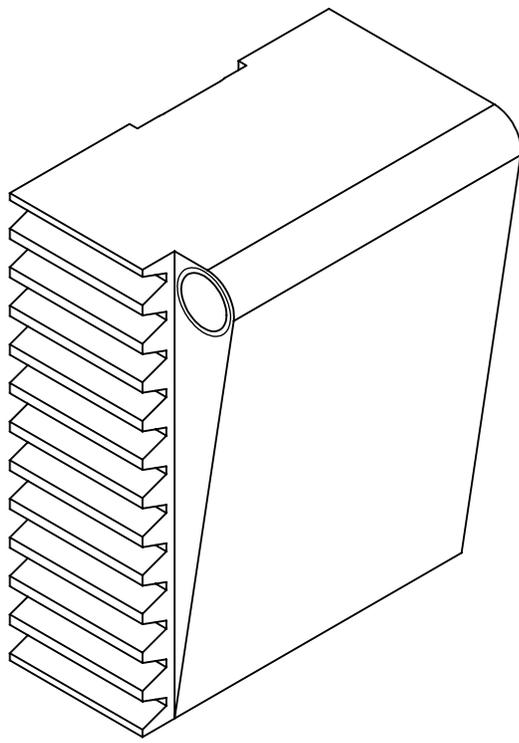


Módulo	2.0 mm		
Número de dientes	12		
Diámetro exterior	28.0 mm		
Angulo de presión	20°		
Altura del diente	4.5 mm		
Diámetro de paso	24.0 mm		
DESCRIPCIÓN		VALOR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona		21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-S6-P3-TF-TF-Engrane	1 de 1	A5-S6-P3-TF-TF	
PIEZA COMPUESTA			
N/A	N/A	N/A	
SISTEMA			
Soporte de mordazas	5 de 16	A5-S6	
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN	29 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020
	2:1	NOTAS GENERALES	
		CANTIDAD	2
			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERIA MECÁNICA
			TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
			SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS





		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA	
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO				
A5-S6-P4-T-Manivela		1 de 1	A5-S6-P4-T				
PIEZA COMPUESTA							
N/A		N/A	N/A				
SISTEMA							
Soporte de mordazas		6 de 16	A5-S6				
MODELO DE MÁQUINA							
MTPR-XN		30 de 50	A5			SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
A4	ESCALA 1:1	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	2			
NOTAS GENERALES							



MORDAZA PARA PROBETA PLANA DE ANCHO 12.5 mm

Módulo	2.0 mm		
Paso	6.3 mm		
Altura del diente	4.5 mm		
DESCRIPCIÓN		VALOR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona		21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-S6-P5-F-Mordaza izquierda	1 de 3	A5-S6-P5-F	
PIEZA COMPUESTA			
N/A	N/A	N/A	
SISTEMA			
Soporte de mordazas	7 de 16	A5-S6	
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN	31 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1040
	1:1	CANTIDAD	1
NOTAS GENERALES			

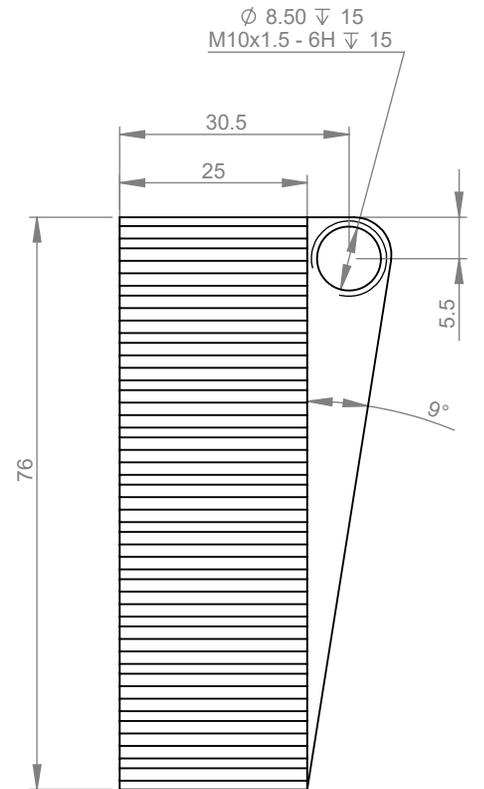
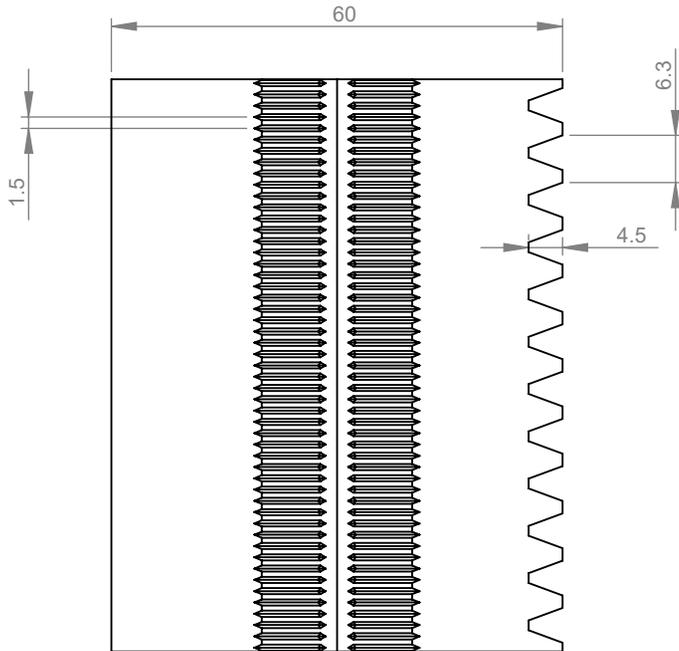
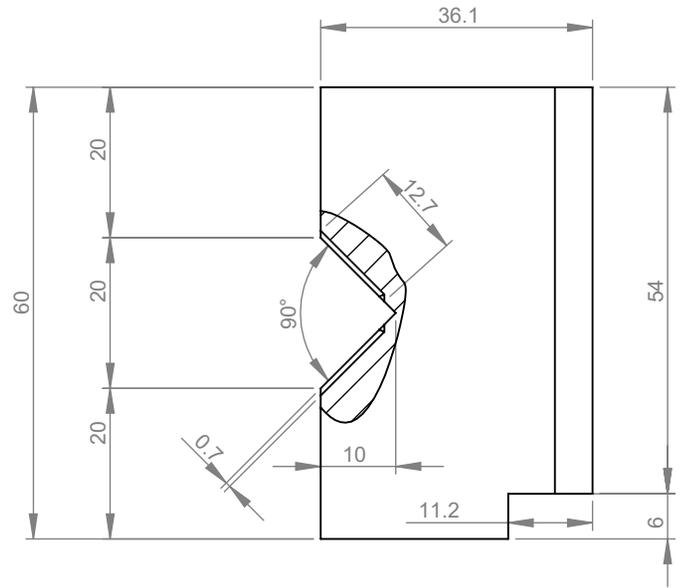
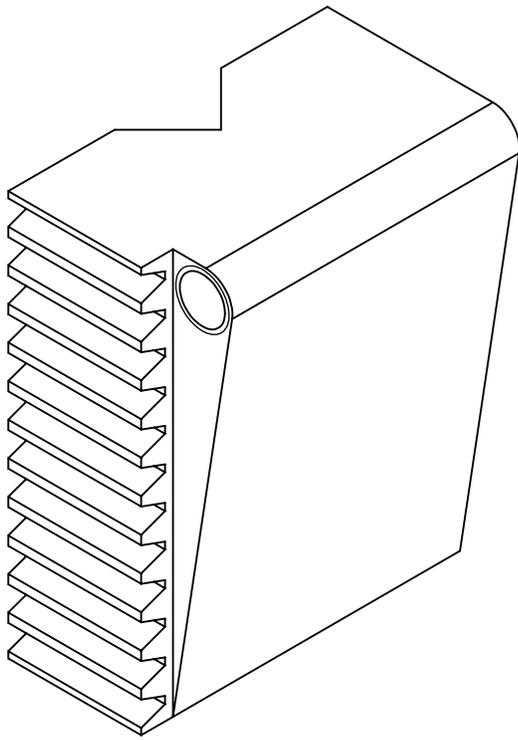
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DE INGENIERÍA MECÁNICA:

PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE  
ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO  
AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

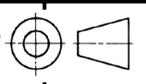
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN  
MILÍMETROS

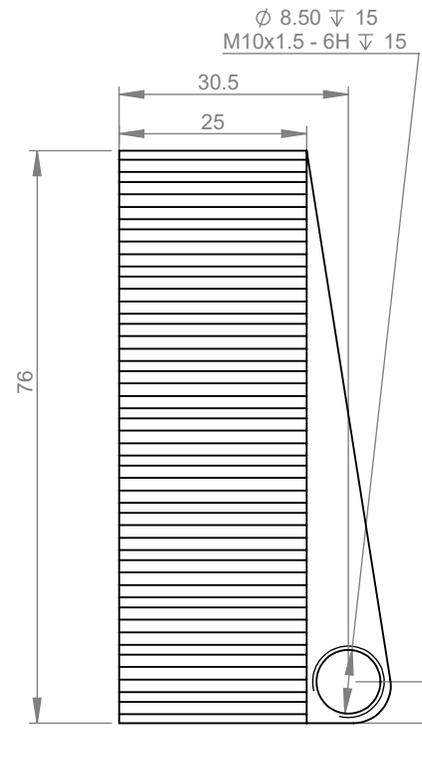
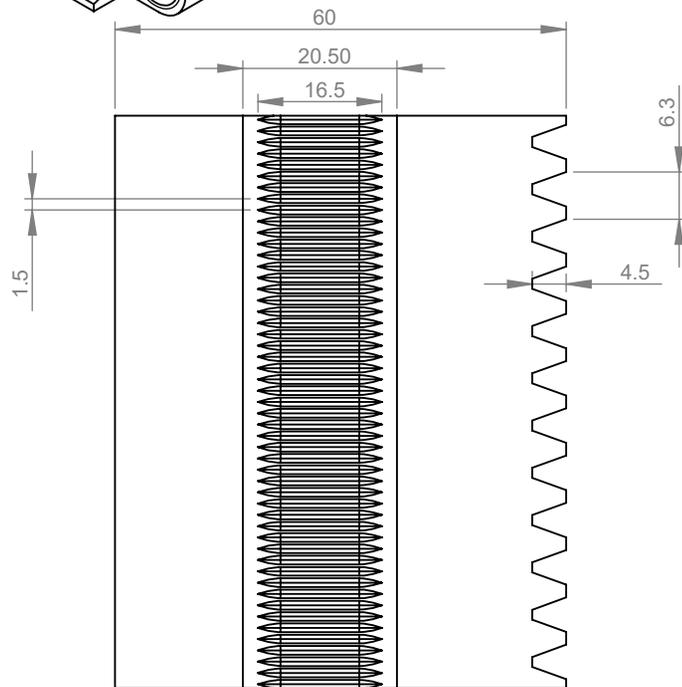
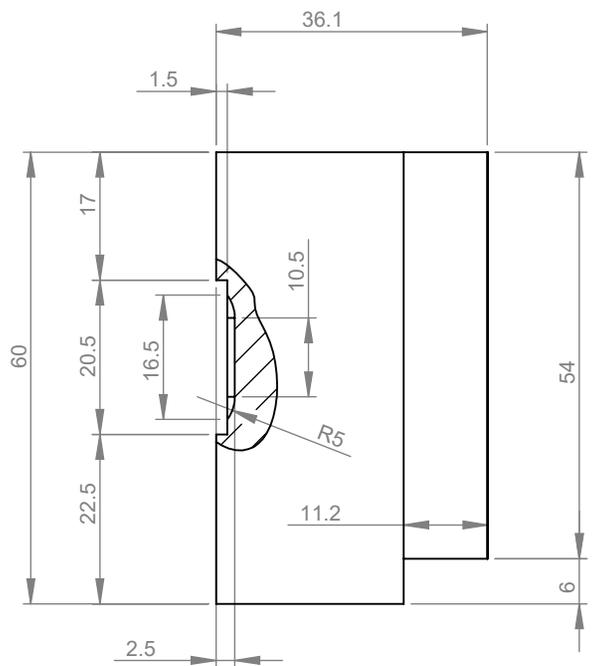
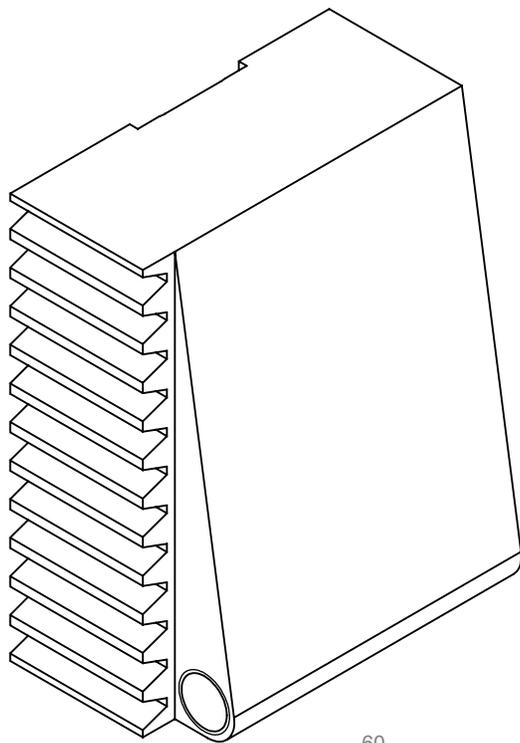




MORDAZA PARA PROBETA REDONDA DE ENTRE 15.0 y 24.0 mm DE DIÁMETRO

Módulo				2.0 mm
Paso				6.3 mm
Altura del diente				4.5 mm
DESCRIPCIÓN				VALOR
	NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona		21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berrios			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-S6-P5-F-Mordaza izquierda	3 de 3	A5-S6-P5-F		
PIEZA COMPUESTA				
N/A	N/A	N/A		
SISTEMA				
Soporte de mordazas	9 de 16	A5-S6		
MODELO DE MÁQUINA				
MTPR-XN	33 de 50	A5		
A4	ESCALA 1:1	MATERIAL Acero AISI 1040	CANTIDAD 1	SI NO SE INDICA LO CONTRA LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
NOTAS GENERALES				





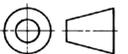
MORDAZA PARA PROBETA PLANA DE ANCHO 12.5 mm

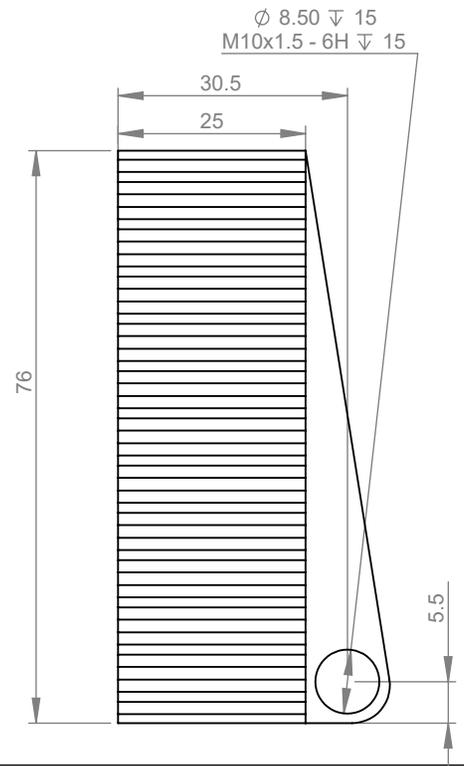
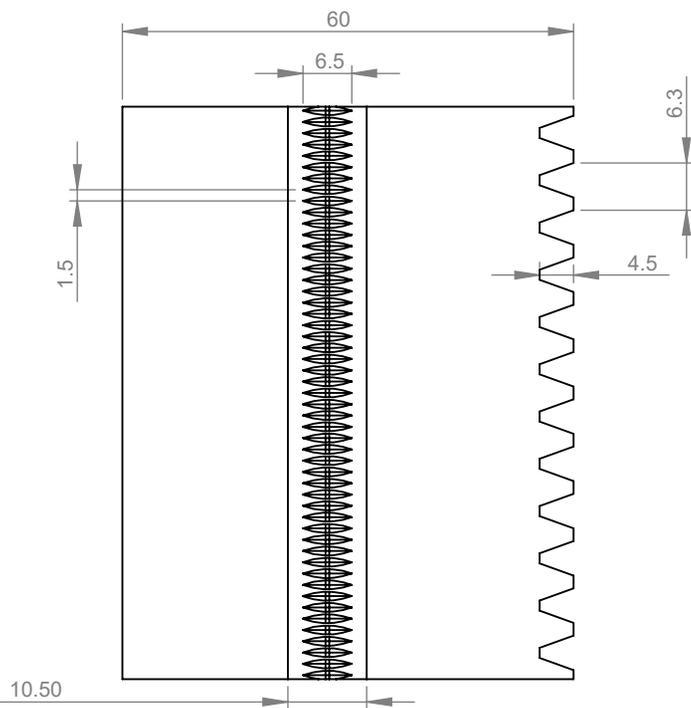
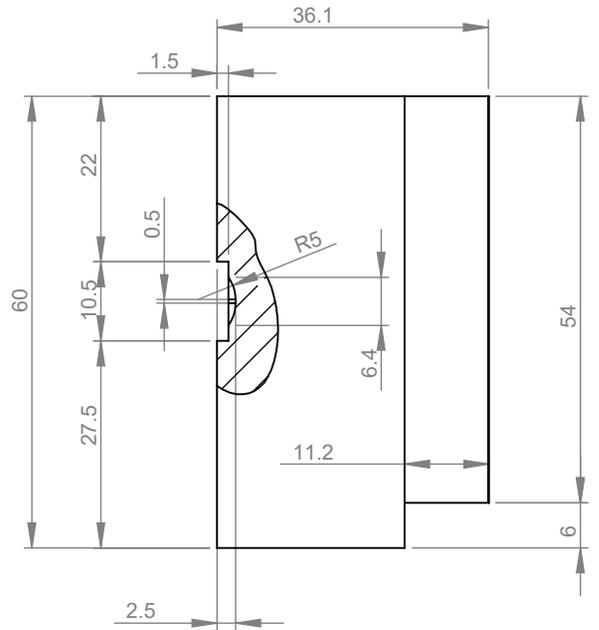
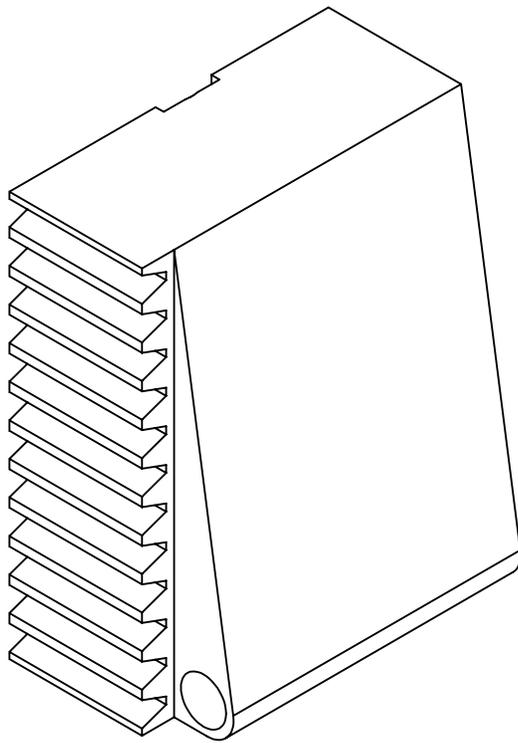
Módulo	2.0 mm		
Paso	6.3 mm		
Altura del diente	4.5 mm		
DESCRIPCIÓN		VALOR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona		21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-S6-P6-F-Mordaza derecha	1 de 3	A5-S6-P6-F	
PIEZA COMPUESTA			
N/A	N/A	N/A	
SISTEMA			
Soporte de mordazas	10 de 16	A5-S6	
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN	34 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1040
	1:1	CANTIDAD	1
NOTAS GENERALES			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DE INGENIERÍA MECÁNICA:  
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE  
ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO  
AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN  
MILÍMETROS





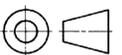
MORDAZA PARA PROBETA PLANA DE ANCHO 6.0 mm

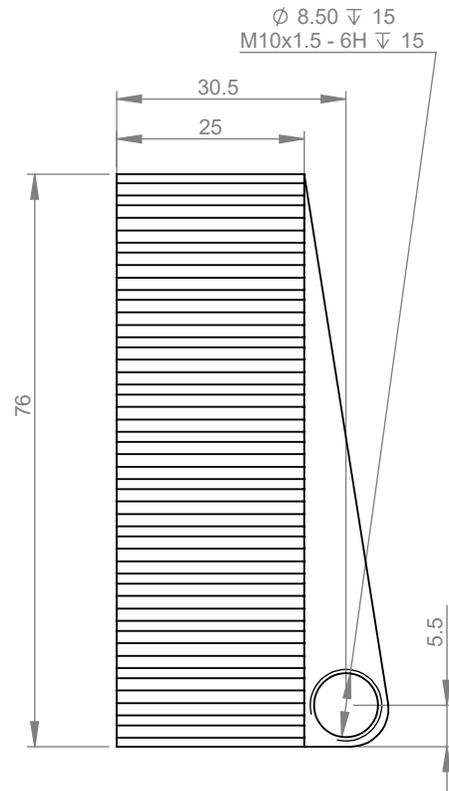
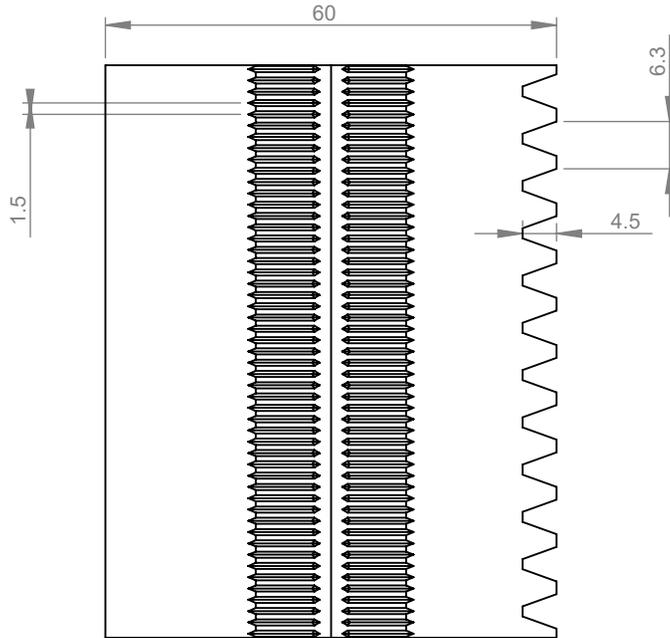
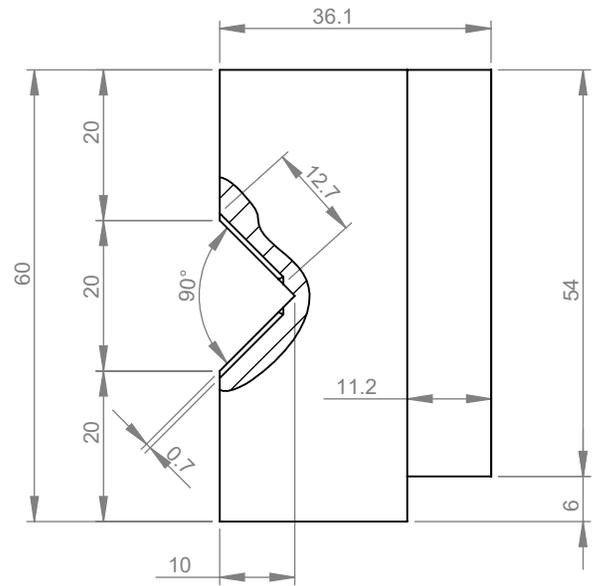
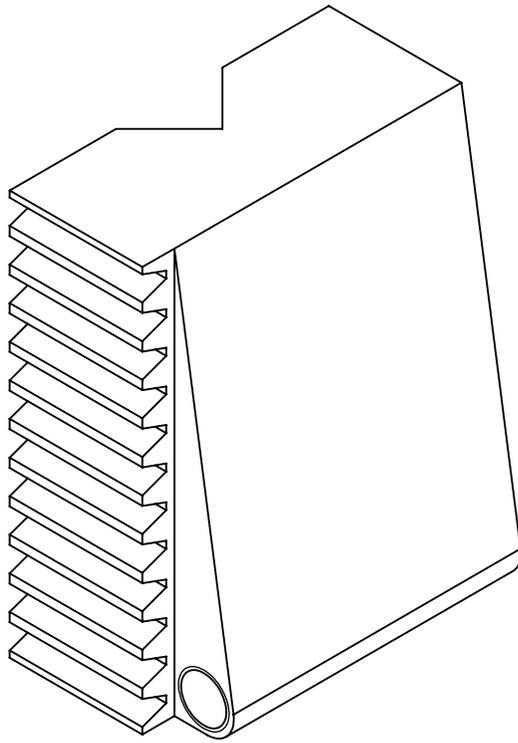
Módulo	2.0 mm		
Paso	6.3 mm		
Altura del diente	4.5 mm		
DESCRIPCIÓN		VALOR	
DISEÑO Y DIBUJO	NOMBRE	FIRMA	FECHA
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Angel Gómez Bayona		21/10/2017
Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-S6-P6-F-Mordaza derecha	2 de 3	A5-S6-P6-F	
PIEZA COMPUESTA			
N/A	N/A	N/A	
SISTEMA			
Soporte de mordazas	11 de 16	A5-S6	
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN	35 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD
1:1	Acero AISI 1040	1	
NOTAS GENERALES			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DE INGENIERÍA MECÁNICA:  
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE  
ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO  
AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN  
MILÍMETROS

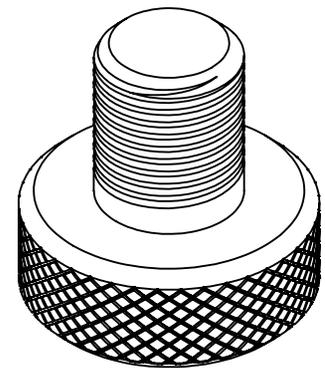
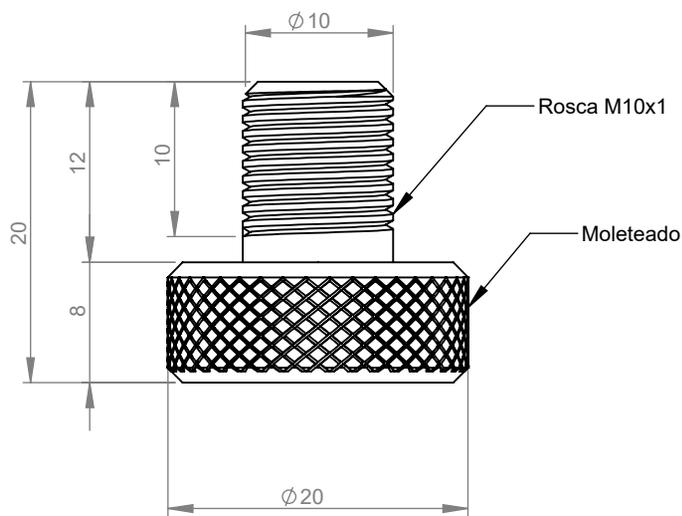
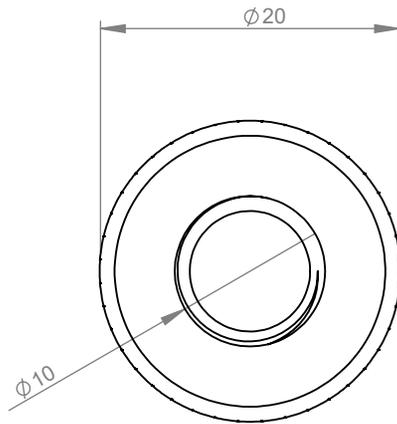




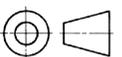
MORDAZA PARA PROBETA REDONDA DE ENTRE 15.0 y 24.0 mm DE DIÁMETRO

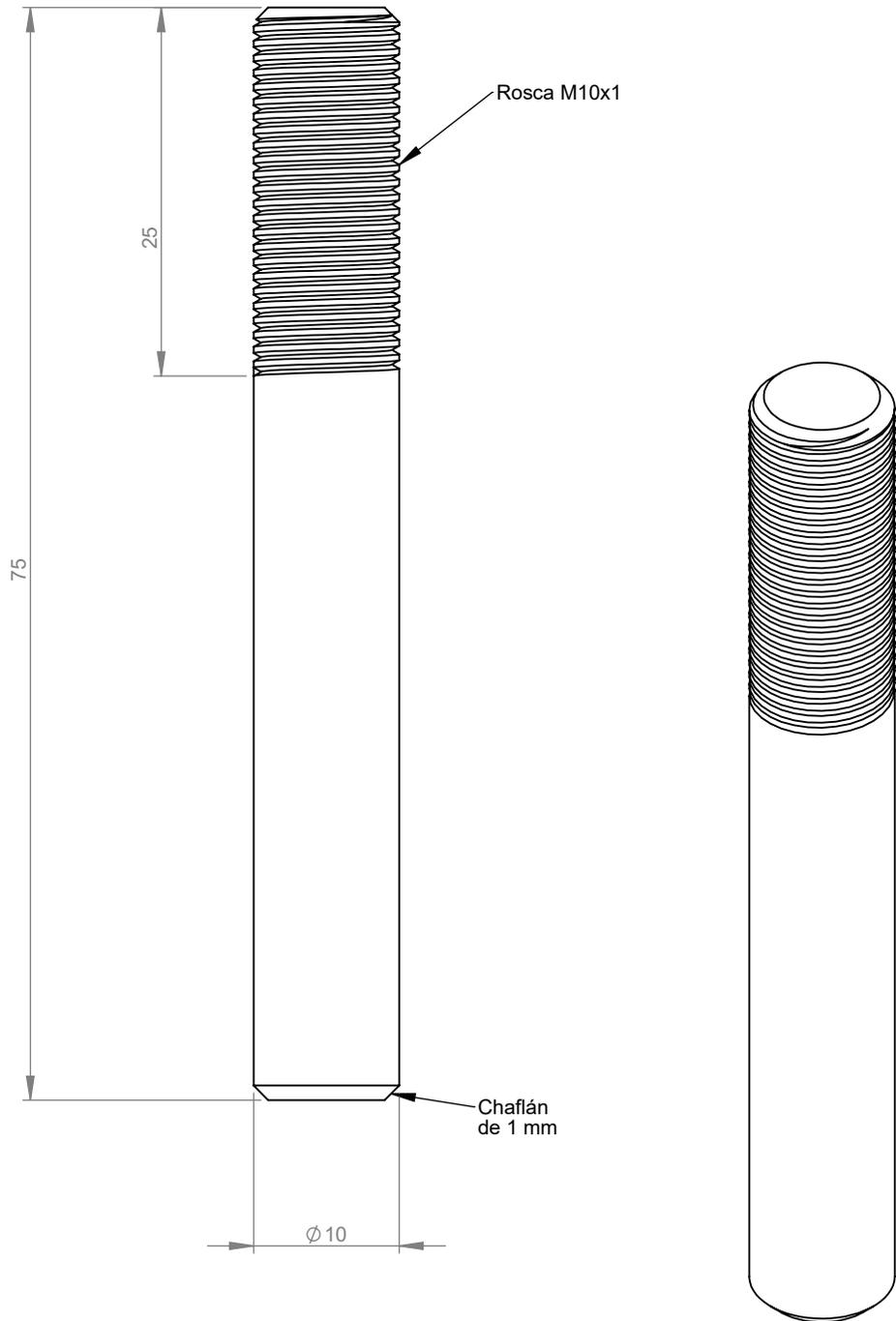
Módulo	2.0 mm		
Paso	6.3 mm		
Altura del diente	4.5 mm		
DESCRIPCIÓN		VALOR	
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona		21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-S6-P6-F-Mordaza derecha	3 de 3	A5-S6-P6-F	
PIEZA COMPUESTA			
N/A	N/A	N/A	
SISTEMA			
Soporte de mordazas	12 de 16	A5-S6	
MODELO DE MÁQUINA			
MTPR-XN	36 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1040
	1:1	NOTAS GENERALES	
		CANTIDAD	1
			UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
			TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
			SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS



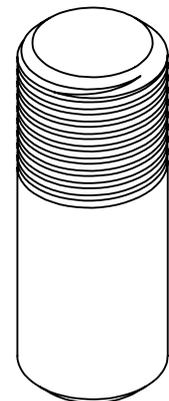
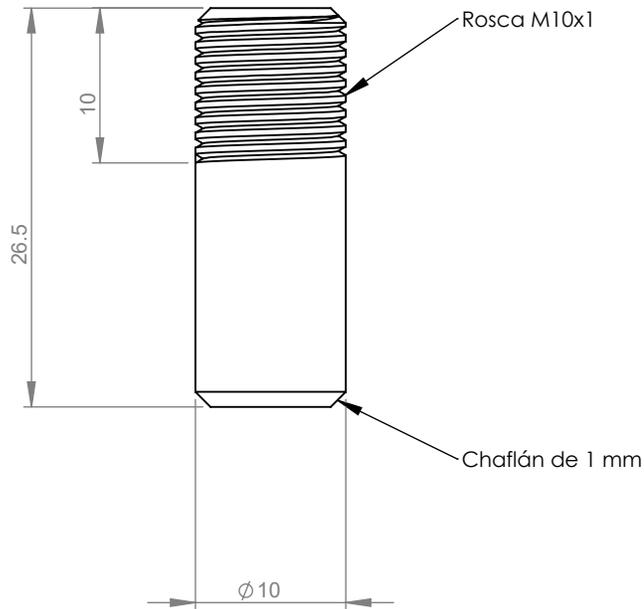


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO			
A5-S6-P7-F-Sujetador de mordazas		1 de 1	A5-S6-P7-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Soporte de mordazas		13 de 16	A5-S6			
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		37 de 50	A5			
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	4	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
	2:1	NOTAS GENERALES				

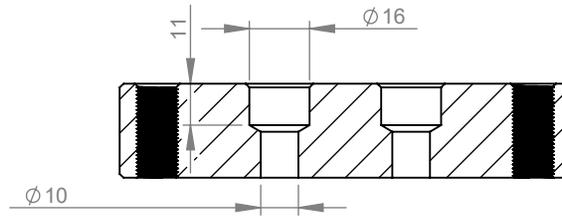




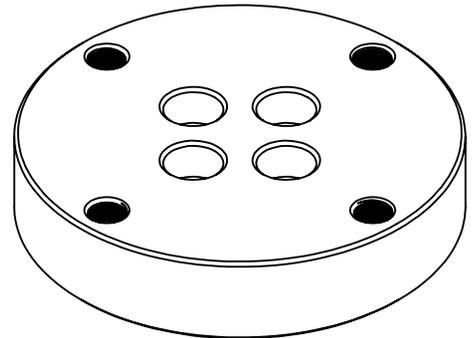
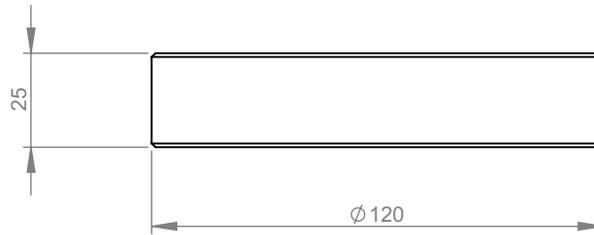
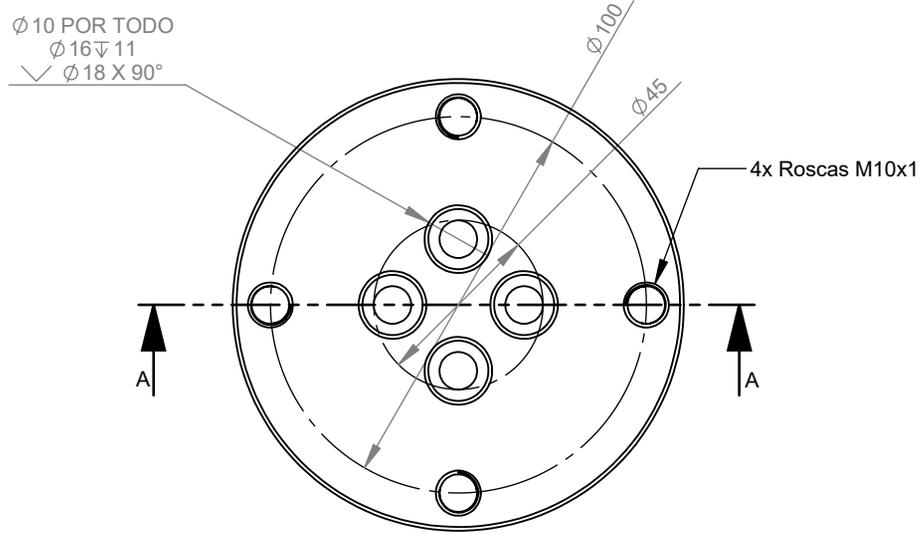
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S6-P8-T-Pin de mordaza		1 de 1	A5-S6-P8-T			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
Soporte de mordazas		14 de 16	A5-S6			
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		38 de 50	A5			
A4	ESCALA 2:1	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	4		
NOTAS GENERALES						



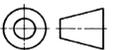
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			17/11/2017	TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA		
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos						
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO					
A5-S6-P9-T-Pin soporte de resorte		1 de 1	A5-S6-P9-T					
PIEZA COMPUESTA								
N/A		N/A	N/A					
SISTEMA								
Soporte de mordazas		15 de 16	A5-S6					
MODELO DE MÁQUINA								
MTPR-XN		39 de 50	A5		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS			
A4	ESCALA 2:1	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	4				
NOTAS GENERALES								

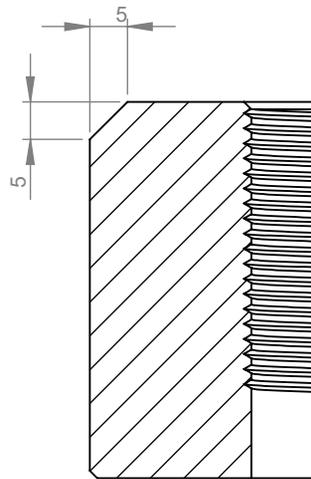
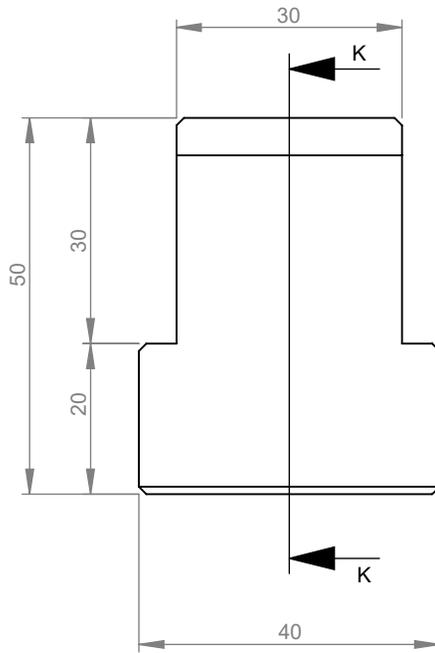
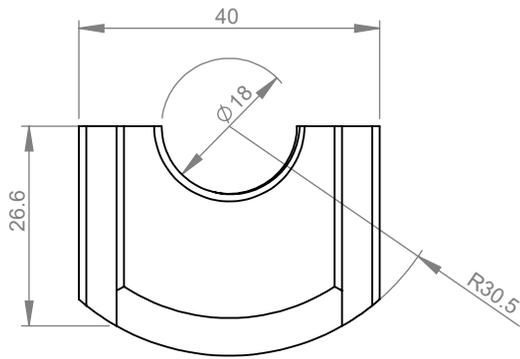


SECCIÓN A-A  
ESCALA 1 : 2

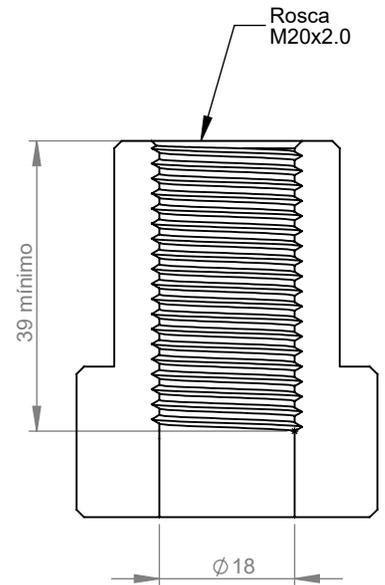


		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-S6-P10-F-Disco para anclaje		1 de 1	A5-S6-P10-T			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
Soporte de mordazas		16 de 16	A5-S6		SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		40 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:5	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD	2		
NOTAS GENERALES						

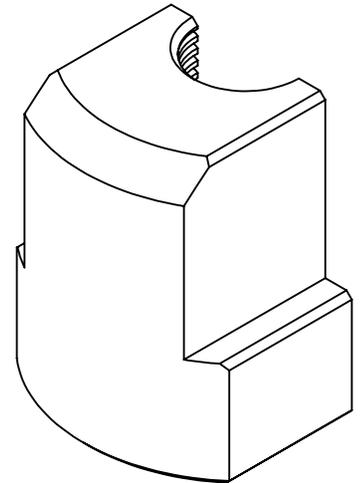




SECCIÓN K-K



Para probeta redonda tipo 1 y tipo 2

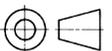


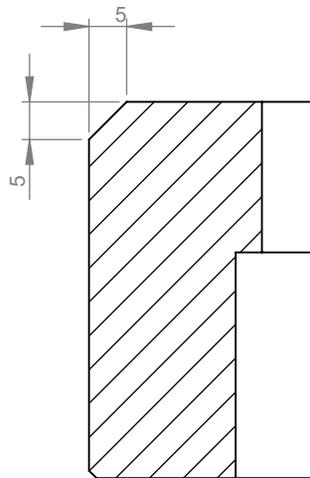
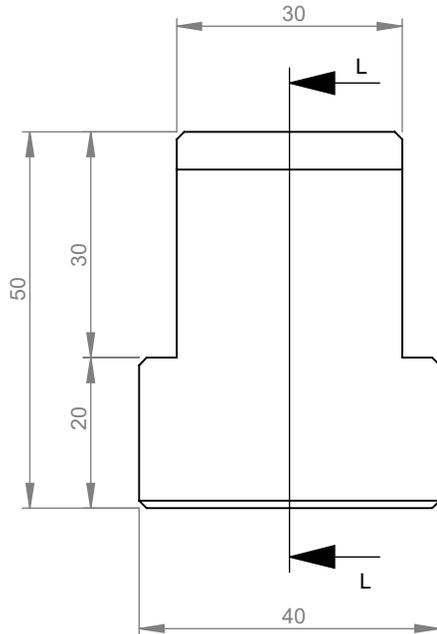
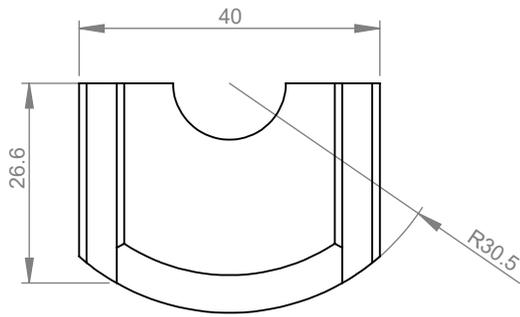
		NOMBRE		FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		
A5-N1-P1-F-Portaprobeta desmontable		1 de 3	A5-N1-P1-F		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
N/A		N/A	N/A		
MODELO DE MÁQUINA					
MTPR-XN		41 de 50	A5		
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	2
	1:1	NOTAS GENERALES			

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

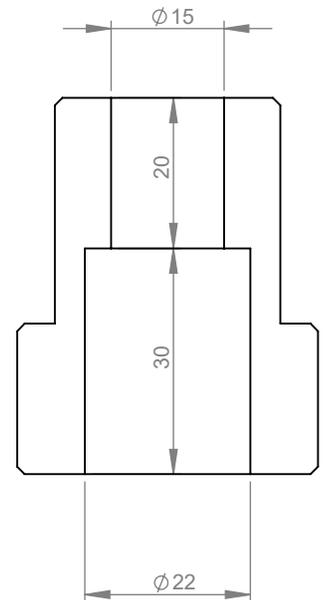
TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DE INGENIERÍA MECÁNICA:  
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE  
ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO  
AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN  
MILÍMETROS

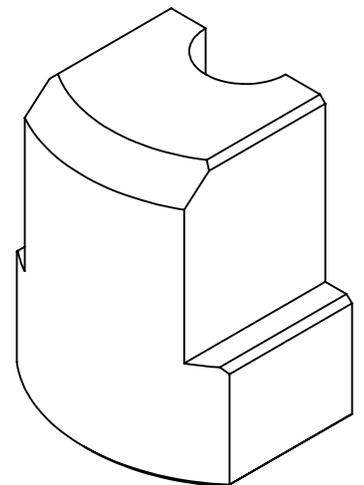




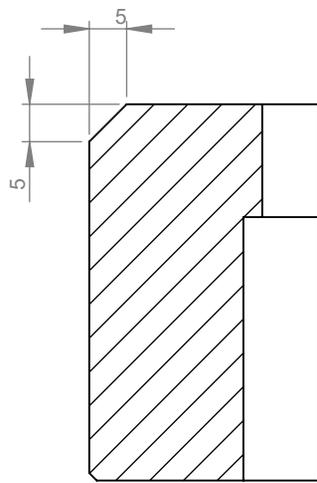
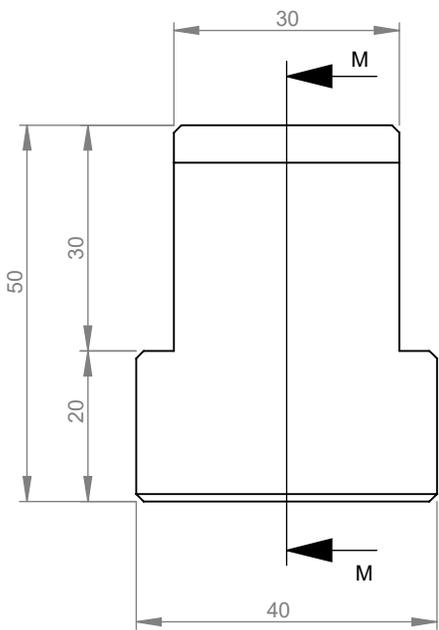
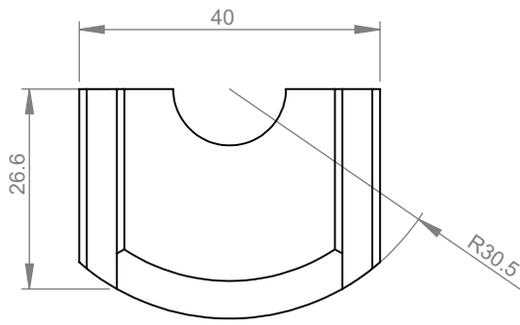
SECCIÓN L-L



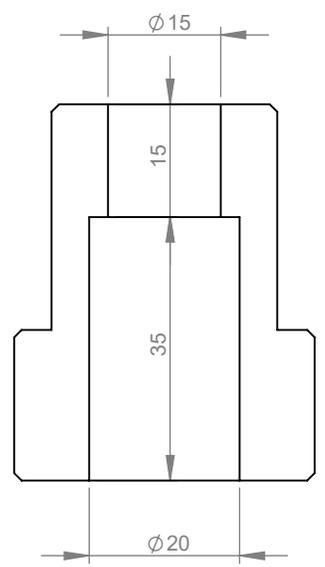
Para probeta redonda tipo 4



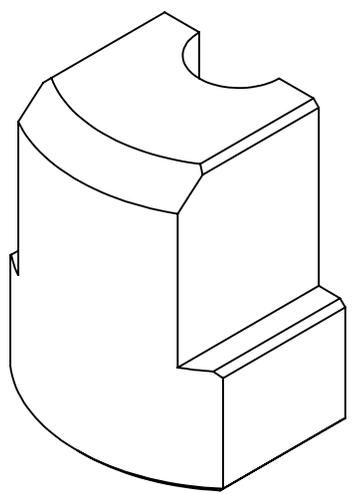
		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona			21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos				
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-N1-P1-F-Portaprobeta desmontable		2 de 3	A5-N1-P1-F			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA						
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
MTPR-XN		42 de 50	A5			
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD		
1:1		NOTAS GENERALES				



SECCIÓN M-M



Para probeta redonda tipo 5

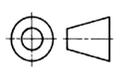


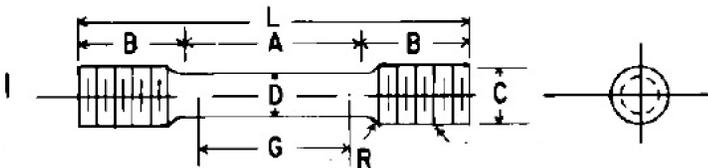
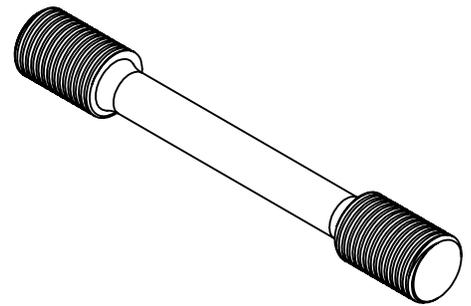
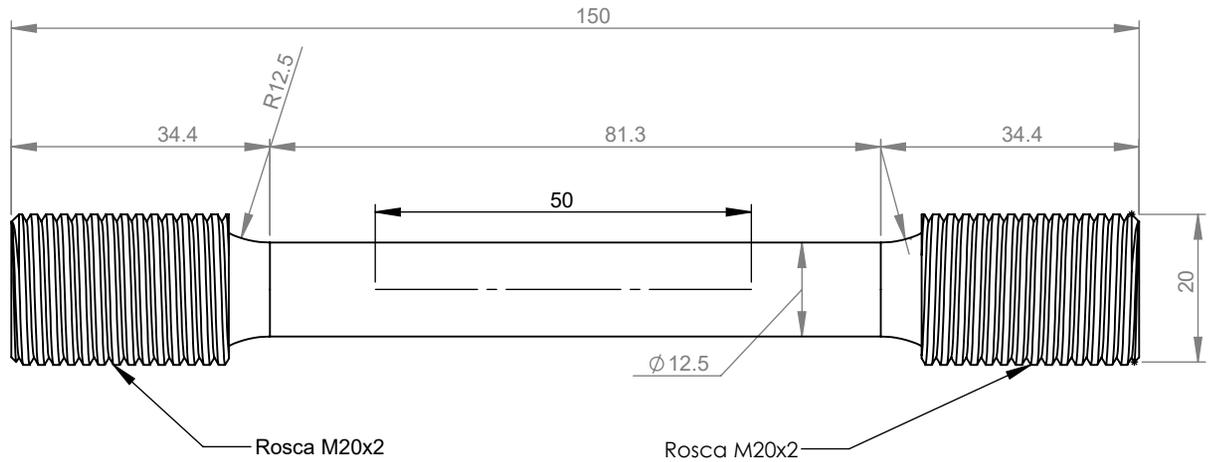
	NOMBRE		FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO	Angel Gómez Bayona			21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN	Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO	
A5-N1-P1-F-Portaprobeta desmontable		3 de 3	A5-N1-P1-F	
PIEZA COMPUESTA				
N/A		N/A	N/A	
SISTEMA				
N/A		N/A	N/A	
MODELO DE MÁQUINA				
MTPR-XN		43 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD
	1:1	NOTAS GENERALES		2

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

TRABAJO DE GRADUACIÓN  
DE INGENIERÍA MECÁNICA:  
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE  
ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO  
AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA

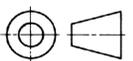
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO  
LAS COTAS SE EXPRESAN EN  
MILÍMETROS

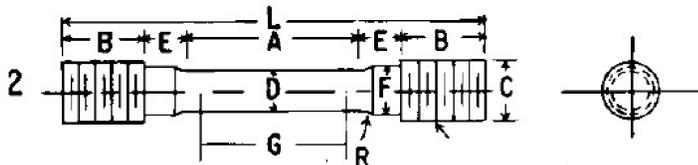
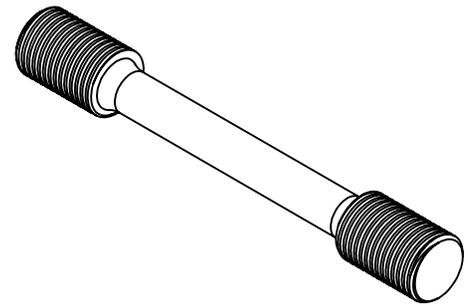
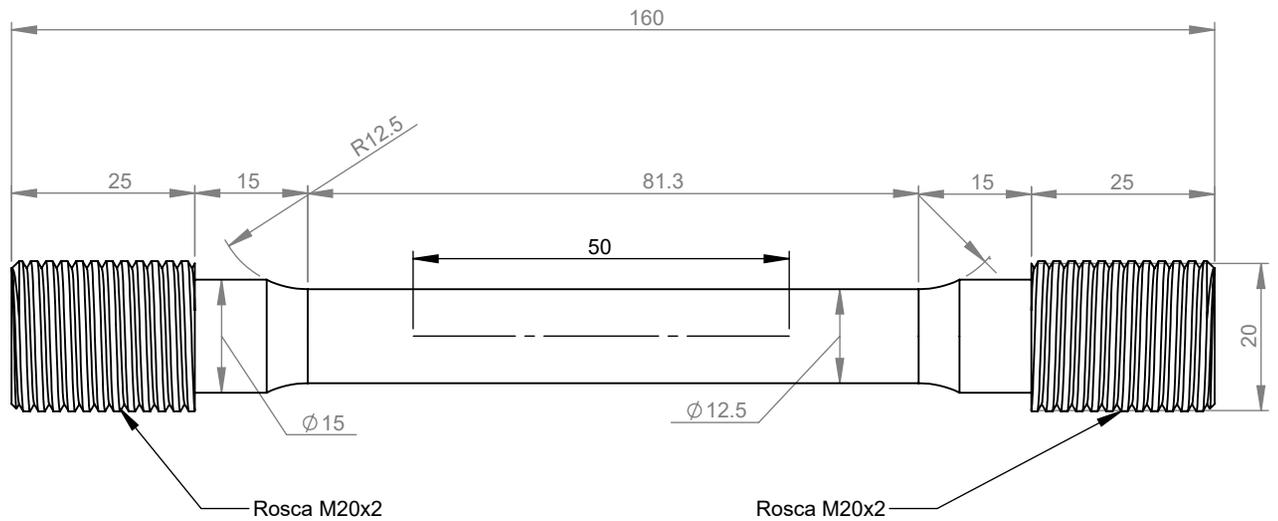




Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.25	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	El valor aproximado es 25
C	20	1.6D	El valor según norma 20. Rosca en extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

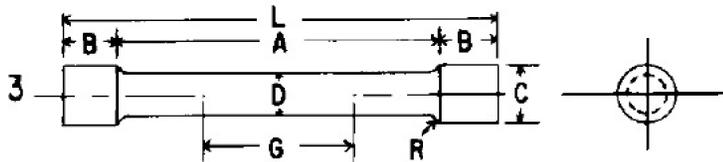
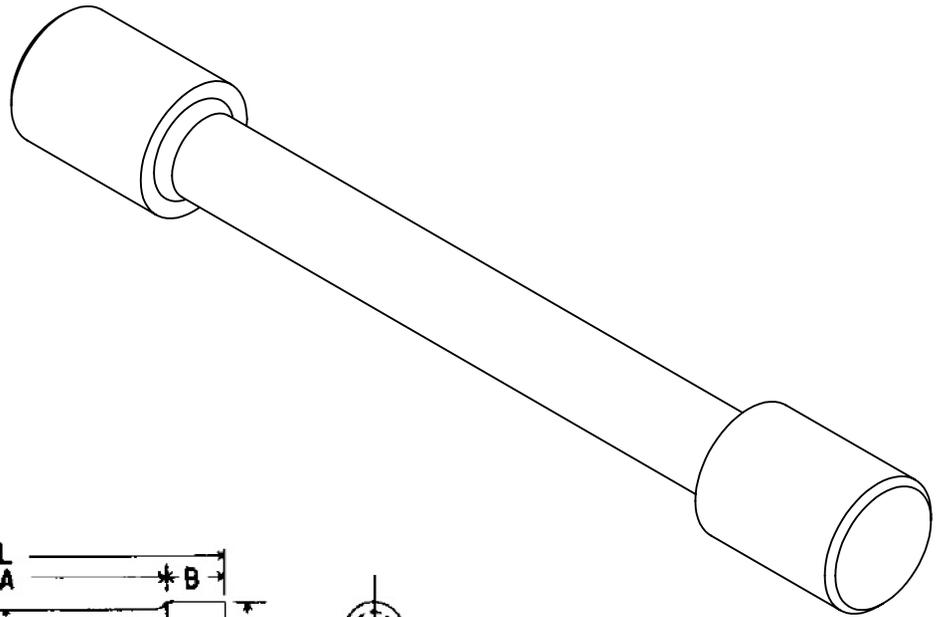
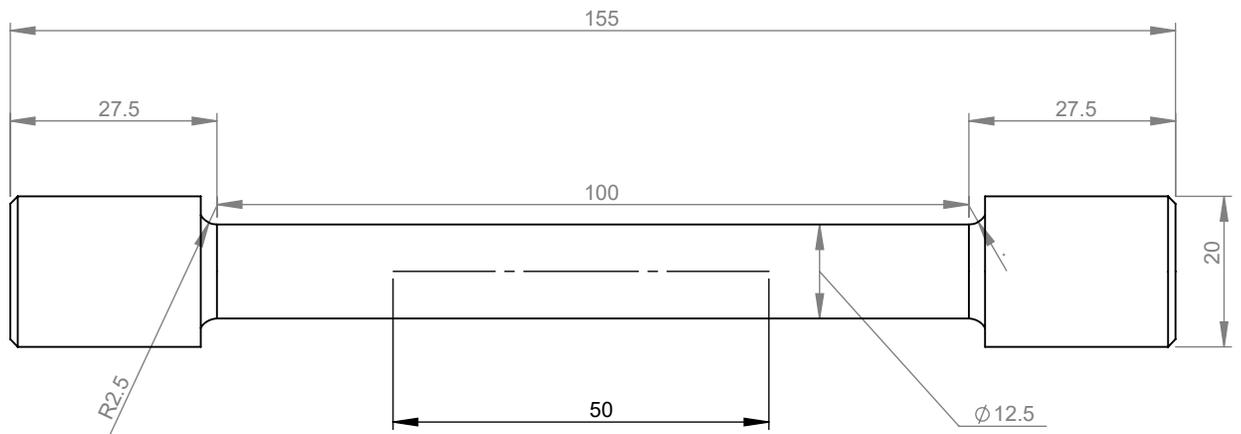
		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona		21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		
A5-N1-P2-T-Probeta redonda D12.5 T1 y T2		1 de 2	A5-N1-P2-T		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
N/A		N/A	N/A		
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		44 de 50	A5		
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	
1:2		NOTAS GENERALES			Se fabrica la cantidad necesaria para cada ensayo





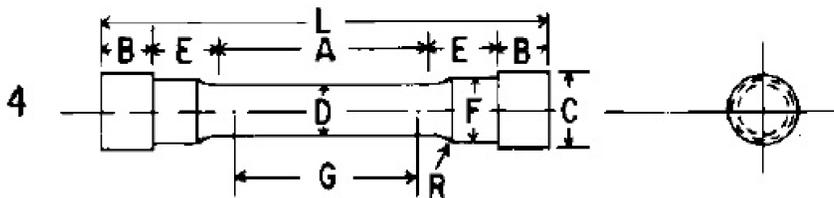
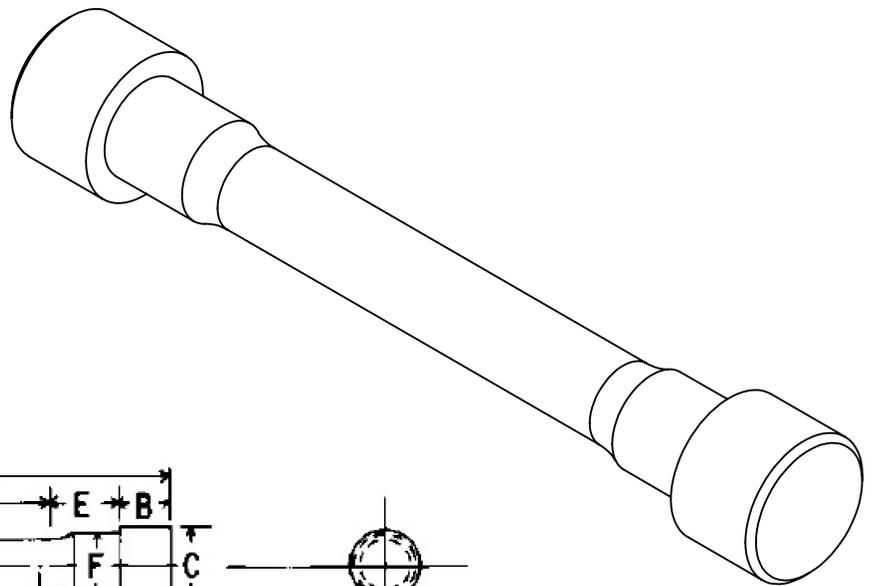
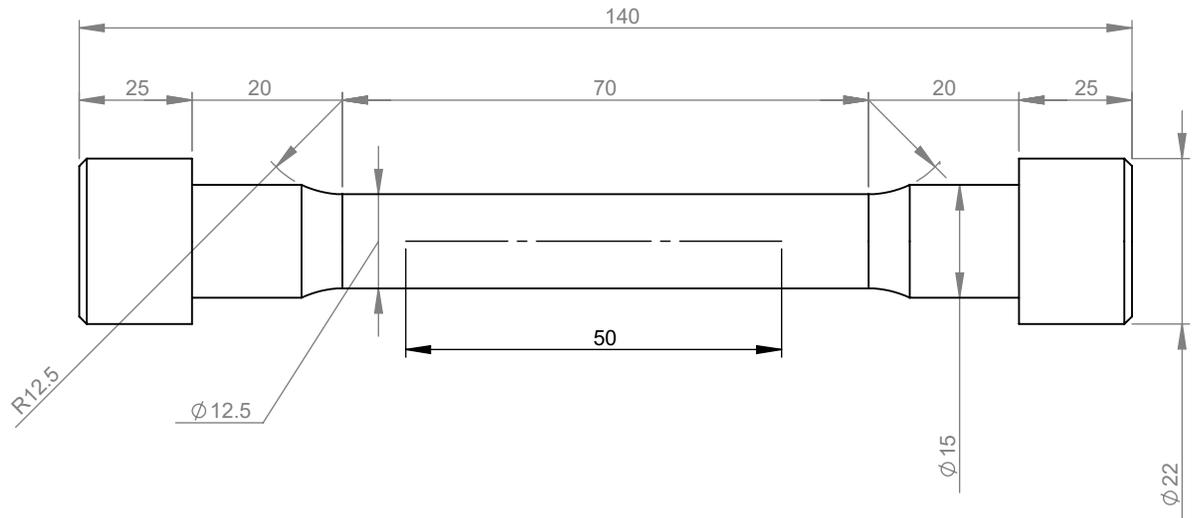
Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.3	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	Valor aproximado según norma es 25
C	20	1.6D	Valor según norma 20. Rosca en el extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona	21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos		
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO	TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-N1-P2-T-Probeta redonda D12.5 T1 y T2		2 de 2	A5-N1-P2-T	
PIEZA COMPUESTA				
N/A		N/A	N/A	
SISTEMA				SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
N/A		N/A	N/A	
MODELO DE MÁQUINA				
MTPR-XN		45 de 50	A5	
A4	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD	
	1:2	Acero AISI 1020		
NOTAS GENERALES		Se fabrica la cantidad necesaria para cada ensayo		



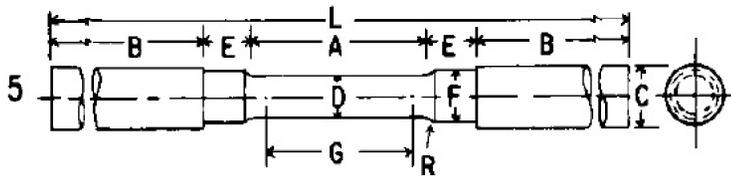
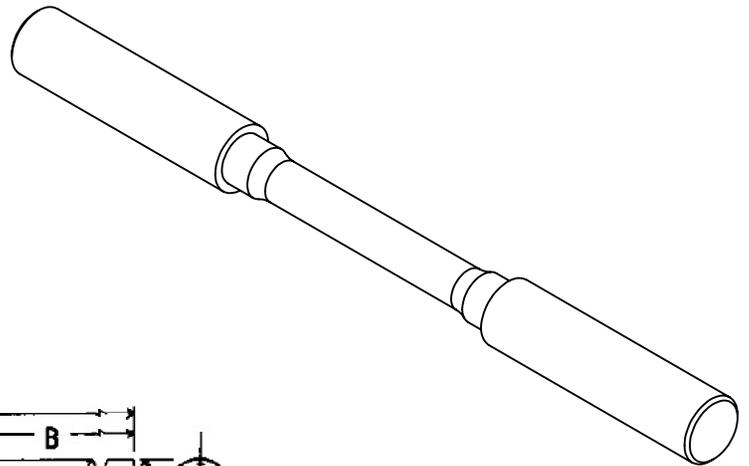
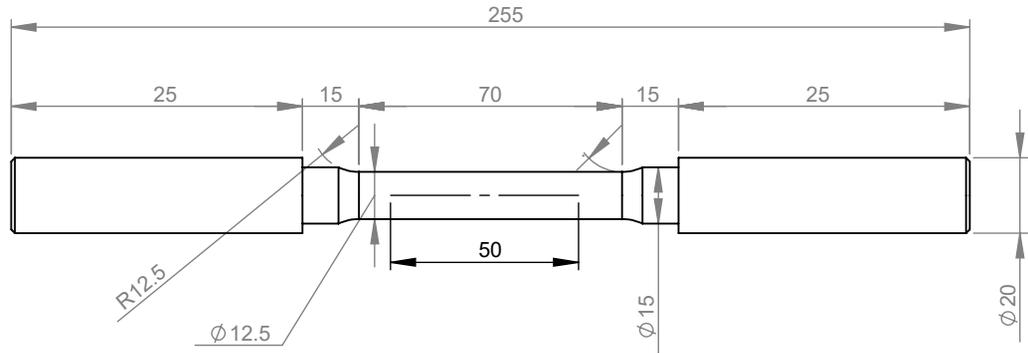
Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.25	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	El valor aproximado es 25
C	20	1.6D	El valor según norma 20. Rosca en extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

DISEÑO Y DIBUJO		NOMBRE		FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			21/10/2017	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA	
A5-N1-P3-T-Probeta redonda D12.5 T3, T4 y T5		1 de 3	A5-N1-P2-T			
PIEZA COMPUESTA						
N/A		N/A	N/A			
SISTEMA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS	
N/A		N/A	N/A			
MODELO DE MÁQUINA						
MTPR-XN		46 de 50	A5			
A4	ESCALA 1:1	MATERIAL Acero AISI 1020	CANTIDAD			
NOTAS GENERALES		Se fabrican las necesarias para cada ensayo.				



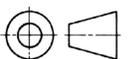
Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.3	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	Valor aproximado según norma es 25
C	20	1.6D	Valor según norma 20. Rosca en el extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

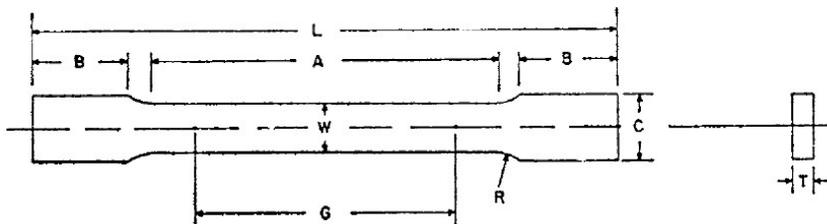
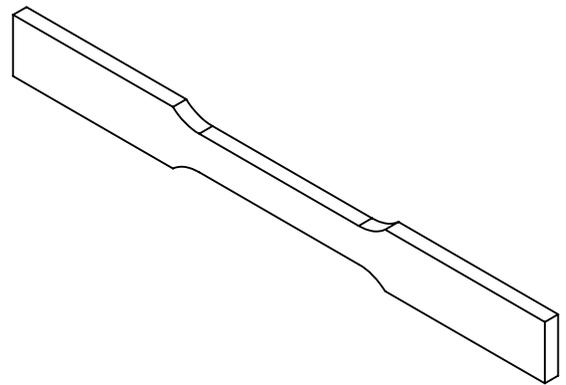
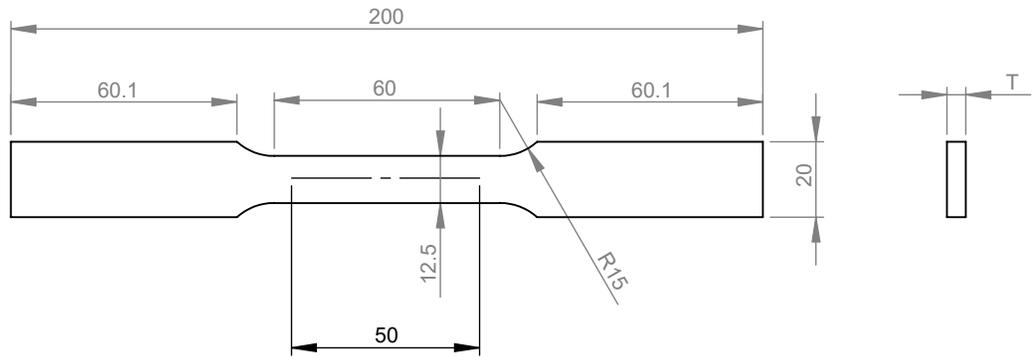
NOMBRE		FIRMA	FECHA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona	21/10/2017
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos	
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO	HOJA	CÓDIGO	
A5-N1-P3-T-Probeta redonda D12.5 T3, T4 y T5	2 de 3	A5-N1-P2-T	
TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:			
PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA			
MODELO DE MÁQUINA			SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		47 de 50	
A4	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD
	1:1	Acero AISI 1020	
NOTAS GENERALES		Se fabrican las necesarias para cada ensayo.	



Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
D	12.5		Es el parámetro base
G	50	4D	Valor según norma
R	12.5	D	Aumentado, el valor mínimo es 10
A	81.3	6.5D	Aumentado, el valor mínimo es 56
L	160	12.8D	Aumentado, el valor aproximado es 155
B	25	2D	Valor aproximado según norma es 25
C	20	1.6D	Valor según norma 20. Rosca en el extremo M20x2.
E	15	1.2D	Valor aproximado según norma es 15
F	15	1.2D	Valor según norma 15

		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona		21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-N1-P3-T-Probeta redonda D12.5 T3, T4 y T5		3 de 3	A5-N1-P2-T		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
N/A		N/A	N/A		
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		48 de 50	A5		
A4	ESCALA	MATERIAL	CANTIDAD		
	1:2	Acero AISI 1020			
NOTAS GENERALES		Se fabrican las necesarias para cada ensayo.			

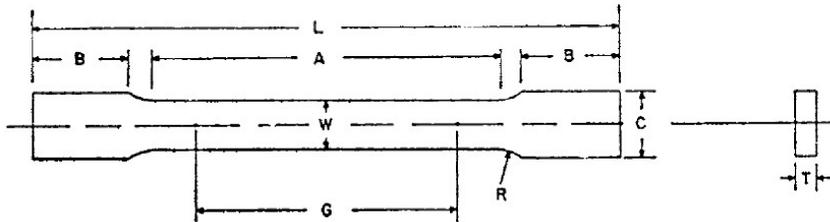
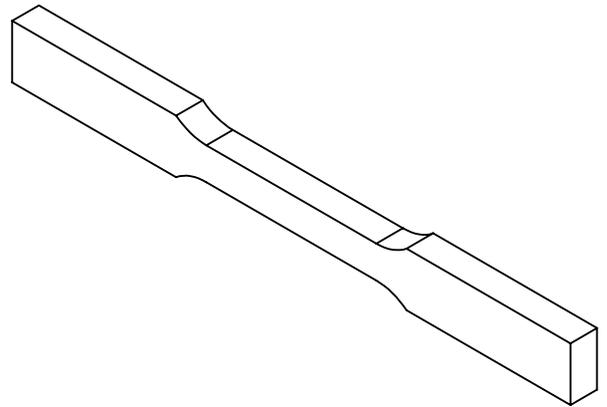
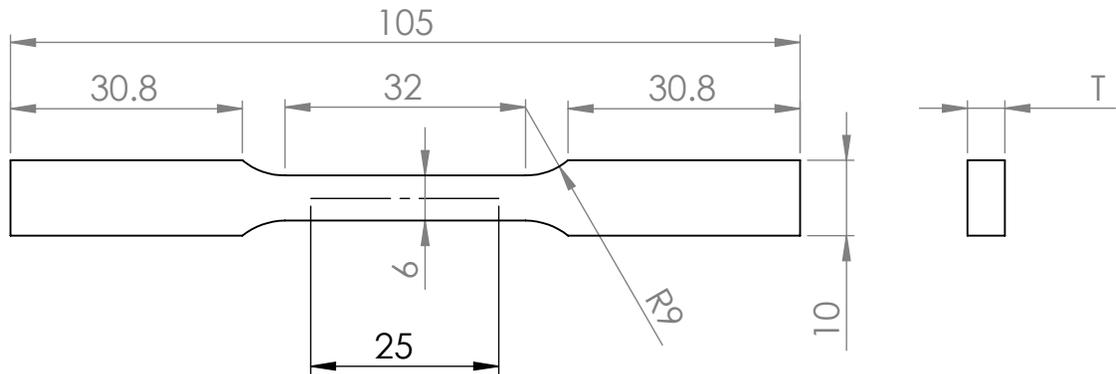




Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
W	12.5		Es el parámetro base
G	50	4W	Valor según norma
T	De 5 a 19		El valor máximo es 19
R	15	1.2W	Aumentado, el valor mínimo es 12.5
L	200	16W	El valor mínimo es 200
A	60	4.8W	Aumentado, el valor mínimo es 57
B	50	4W	El valor mínimo es 50
C	20	1.6W	Valor según norma

		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona		21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		TRABAJO DE GRADUACIÓN DE INGENIERÍA MECÁNICA:  PROPUESTA DE INTEGRACIÓN DE ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS DE MECANIZADO AL DIBUJO ASISTIDO POR COMPUTADORA
A5-N1-P4-F-Probeta plana W12.5		1 de 1	A5-N1-P4-F		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
MODELO DE MÁQUINA					SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
MTPR-XN		49 de 50	A5		
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	
1:2		NOTAS GENERALES		Se fabrican según lo requerido para cada ensayo.	





Dimensión, mm	Valor establecido, mm	Ecuación de parametrización, mm	Observación
W	6		Es el parámetro base
G	25.02	$4.17W$	Valor según norma
T	De 5 a 6		El valor máximo es 6 según la norma
R	9	$1.5W$	Aumentado, el valor mínimo es 6
L	100.02	$16.67W$	El valor mínimo es 100
A	31.98	$5.33W$	Aumentado, el valor mínimo es 32
B	30	$5W$	El valor mínimo es 30
C	10.02	$1.67W$	Valor según norma

		NOMBRE	FIRMA	FECHA	UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA
DISEÑO Y DIBUJO		Angel Gómez Bayona		21/10/2017	
REVISIÓN Y APROBACIÓN		Dr. y M.Sc. Jonathan Berríos			
NOMBRE DE COMPONENTE, PIEZA O PLANO		HOJA	CÓDIGO		
A5-N1-P5-F-Probeta plana W6.0		1 de 1	A5-N1-P5-F		
PIEZA COMPUESTA					
N/A		N/A	N/A		
SISTEMA					
N/A		N/A	N/A		
MODELO DE MÁQUINA					
MTPR-XN		50 de 50	A5		
A4	ESCALA	MATERIAL	Acero AISI 1020	CANTIDAD	SI NO SE INDICA LO CONTRARIO LAS COTAS SE EXPRESAN EN MILÍMETROS
	1:2	NOTAS GENERALES			

