



# ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL



## FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

**TEMA: “DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MATRIZ PARA  
FABRICACIÓN DE MASCARILLAS MEDIANTE TERMOFORMADO  
USANDO SOFTWARE CAD/CAM Y TECNOLOGÍA CNC”**

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

**PINEDA RIBERA RICHARD DARWIN**  
richard.pineda@epn.edu.ec

**SAMBACHE SALAZAR AXEL JESÚS**  
axel.sambache@epn.edu.ec

**DIRECTOR: ING. EDGAR SARMIENTO M.Sc.**  
edgar.sarmiento@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. MARIO CESÉN M.Sc.**  
mario.cesen@epn.edu.ec

Quito, octubre 2021

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por **RICHARD DARWIN PINEDA RIBERA** y **AXEL JESÚS SAMBACHE SALAZAR**, bajo mi supervisión.

---

Ing. Edgar Sarmiento M.Sc.

**DIRECTOR DE PROYECTO**

---

Ing. Mario Cesén M.Sc.

**CODIRECTOR DE PROYECTO**

## DECLARACIÓN

Nosotros, **Richard Darwin Pineda Ribera** y **Axel Jesús Sambache Salazar**, declaramos bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de nuestra autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que hemos consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedemos nuestros derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.



---

Richard Darwin Pineda Ribera



---

Axel Jesús Sambache Salazar

## DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi madre, quien es mi inspiración para seguir adelante ya que gracias a ella pude cursar mis estudios; hoy logro culminar esta etapa gracias a todo su esfuerzo y amor incondicional.

***Richard Darwin Pineda Ribera***

Todo el esfuerzo entregado en este proyecto se lo dedico de todo corazón a mis dos abuelos, Marcelo Sambache y Carlos Salazar, esto es un sueño cumplido para los tres, porque sé que ellos anhelaban con la llegada del día en que pudieran ver llenos de orgullo a alguien de su misma sangre culminando con esta importante etapa y a pesar de no poder verlos junto a mí sé que me seguirán guiando y cuidando.

***Axel Jesús Sambache Salazar***

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por ser mi guía y mi fortaleza, por cuidarme durante toda esta etapa universitaria y permitirme culminarla con éxito.

A mi querida madre Sonia y a mis hermanas quienes siempre me han dado su apoyo incondicional en todo momento y que hoy gracias a ellas puedo alcanzar este objetivo.

Quiero agradecer a los estimados ingenieros Edgar Sarmiento, Mario Cesén y Javier Valverde por brindarnos sus conocimientos y ayuda en este proyecto, y estar pendientes del desarrollo exitoso del mismo a pesar de las dificultades por la pandemia.

***Richard Darwin Pineda Ribera***

Agradezco primeramente a mis padres por darme la vida y la oportunidad de cumplir con una meta más en mi vida. Omar y Pilar gracias por su bendición y apoyo incondicional, que a pesar de todas las dificultades que se presentaron siempre estuvieron junto a mí mostrándome su valentía y perseverancia.

También me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento a mi hermana María Paz por siempre estar recalcando mis fallas y mis aciertos, que sirven como motivación para seguir mejorando cada día, además de que su ayuda ha sido importante a lo largo de mi vida estudiantil. A mis tías Jimena, Gabriela, y Miriam que han estado apoyándome y cuidándome desde que era pequeño logrando enseñarme que el trabajo duro siempre dará frutos, permitiéndome así demostrar el gran profesional y ser humano que puedo llegar a ser.

A los ingenieros Edgar Sarmiento y Javier Valverde, y al técnico Luis Guamán gracias por su apoyo y colaboración en este trabajo, demostrando los buenos profesionales que se tiene dentro de la institución, permitiéndonos crecer de manera profesional a lo largo de la carrera.

***Axel Jesús Sambache Salazar***

# ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo general .....	2
Objetivos específicos.....	2
1. MARCO TEÓRICO.....	3
1.1. Proceso de Termoformado .....	3
1.1.1. Conceptos básicos .....	3
1.1.2. Componentes del proceso de termoformado .....	4
1.2. Requerimientos de las mascarillas.....	8
1.2.1. Grupos y tipos de Mascarillas .....	9
1.3. Conformado de mascarillas mediante termoformado .....	11
1.4. Proceso CAD/CAM en un centro de mecanizado .....	13
1.5. Fabricación de matrices.....	15
2. METODOLOGÍA.....	17
2.1. Diseño concurrente de la matriz.....	17
2.1.1. Benchmarking.....	17
2.1.2. Casa de la calidad.....	21
2.1.3. Voz del Usuario .....	21
2.1.4. Voz del Ingeniero .....	21
2.1.4.1. Dimensiones del área de trabajo .....	22
2.1.4.2. Temperatura y presiones de trabajo para termoformado de mascarillas .....	23
2.1.4.3. Material del molde .....	25
2.1.4.4. Ensamble de la matriz.....	25
2.1.5. Resultados y conclusiones de la Casa de la Calidad.....	26
2.1.6. Especificaciones Técnicas .....	26
2.1.7. Análisis Funcional .....	27
2.1.8. Módulos .....	29
2.2. Planteamiento de alternativas .....	31

2.2.1.	Alternativas Módulo 1 (M1) .....	31
2.2.1.1.	Soluciones y matriz morfológica para M1 .....	32
2.2.1.2.	Evaluación y selección del M1 .....	36
2.2.2.	Alternativas Módulo 2 (M2) .....	39
2.2.2.1.	Soluciones y matriz morfológica para M2 .....	39
2.2.2.2.	Evaluación y selección del M2 .....	41
2.2.3.	Alternativas Módulo 3 (M3) .....	43
2.2.3.1.	Soluciones y matriz morfológica para M3 .....	44
2.2.3.2.	Evaluación y selección del M3 .....	46
2.2.4.	Alternativas Módulo 4 (M4) .....	48
2.2.4.1.	Soluciones y matriz morfológica para M4 .....	48
2.2.4.2.	Evaluación y selección del M4 .....	50
2.2.5.	Solución Final del Sistema .....	52
2.3.	Diseño de la matriz .....	56
2.3.1.	Diseño y dimensionamiento de la mascarilla .....	56
2.3.1.1.	Diseño de los moldes .....	64
2.3.2.	Diseño de la estructura .....	67
2.3.2.1.	Criterios de diseño .....	67
2.3.2.2.	Simulación estructural .....	68
2.3.2.3.	Diseño de la cubierta .....	74
2.3.2.4.	Selección del amortiguador y guías .....	77
2.3.2.5.	Diseño de la base .....	82
2.3.2.6.	Diseño de la columna .....	84
2.3.2.7.	Diseño de vigas .....	86
2.3.3.	Diseño y análisis térmico del sistema de calentamiento .....	88
2.3.3.1.	Requerimientos básicos .....	88
2.3.3.2.	Requerimientos de los moldes .....	89
2.3.3.3.	Requerimientos de la mascarilla .....	91
2.3.3.4.	Componentes y funcionamiento del sistema de calentamiento .....	92

2.4.	Elaboración de CAD/CAM de la matriz .....	93
2.4.1.	Diseño de los archivos CAD .....	93
2.4.2.	Obtención de las piezas en CAM.....	99
2.4.2.1.	Cálculo de parámetros de mecanizado .....	104
2.4.3.	Información extra para el maquinado de piezas en el centro de mecanizado...	107
2.4.3.1.	Centro de mecanizado VCM3-M400AC .....	108
2.4.3.2.	Cargar el código .....	109
2.4.3.3.	Alineamiento de herramientas .....	113
2.4.3.4.	Sentido de giro de las herramientas y de la trayectoria .....	115
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	117
3.1.	Construcción de la matriz en el centro de mecanizado .....	117
3.1.1.	Construcción de los moldes de duraluminio 7075.....	120
3.1.1.1.	Preparación del material .....	122
3.1.1.2.	Operaciones en el centro de mecanizado .....	124
3.1.2.	Análisis de costos.....	127
3.1.2.1.	Análisis de costos directos.....	127
3.1.2.2.	Análisis de costos indirectos .....	130
3.1.2.3.	Costo total de la máquina .....	131
3.2.	Montaje y pruebas de la matriz .....	131
3.2.1.	Montaje de las matrices y del sistema de calentamiento.....	133
3.2.2.	Pruebas para verificación de apertura y cierre.....	135
3.2.3.	Verificación de dimensiones y de aspecto de la termoformadora .....	136
3.2.4.	Verificación de dimensiones y de aspecto de las mascarillas .....	137
3.3.	Pruebas de conformado y resultados.....	143
3.4.	Discusión de resultados.....	145
4.	CONCLUSIONES.....	147
	Referencias bibliográficas .....	149
	ANEXOS.....	154
	ANEXO I. HOJAS TÉCNICAS DE MATERIALES .....	154



ANEXO II. HOJAS TÉCNICAS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS .....	160
ANEXO III. CASA DE LA CALIDAD.....	162
ANEXO IV. DIAGRAMA DE GANTT.....	163
ANEXO V. PLANOS DE CONJUNTO Y DE TALLER .....	164
ANEXO VI. HOJAS DE PROCESOS.....	165

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. 1. Instituciones y empresas con equipo CNC.....	14
Tabla 1. 2. Ventajas y desventajas de algunos materiales para matrices.....	16
Tabla 2. 1. Temperaturas para termoformado de materiales poliméricos.....	24
Tabla 2. 2. Especificaciones técnicas de la máquina.....	27
Tabla 2. 3. Matriz morfológica M1.....	36
Tabla 2. 4. Funciones y componentes para M1.....	37
Tabla 2. 5. Evaluación de alternativas con respecto a la conductividad para M1.....	37
Tabla 2. 6. Evaluación de alternativas con respecto a la durabilidad para M1.....	37
Tabla 2. 7. Evaluación de alternativas con respecto a la maquinabilidad para M1.....	38
Tabla 2. 8. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M1.....	38
Tabla 2. 9. Evaluación de alternativas con respecto al peso para M1.....	38
Tabla 2. 10. Evaluación de prioridad de alternativas para M1.....	38
Tabla 2. 11. Matriz morfológica M2.....	41
Tabla 2. 12. Funciones y componentes para M2.....	42
Tabla 2. 13. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M2.....	42
Tabla 2. 14. Evaluación de alternativas con respecto a la funcionalidad para M2.....	42
Tabla 2. 15. Evaluación de alternativas con respecto a la fiabilidad para M2.....	43
Tabla 2. 16. Evaluación de alternativas con respecto a la seguridad para M2.....	43
Tabla 2. 17. Evaluación de prioridad de alternativas para M2.....	43
Tabla 2. 18. Matriz morfológica M3.....	45
Tabla 2. 19. Funciones y componentes para M3.....	46
Tabla 2. 20. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M3.....	46
Tabla 2. 21. Evaluación de alternativas con respecto a la independencia para M3.....	47
Tabla 2. 22. Evaluación de alternativas con respecto a la uniformidad para M3.....	47
Tabla 2. 23. Evaluación de alternativas con respecto a la funcionalidad para M3.....	47
Tabla 2. 24. Evaluación de prioridad de alternativas para M3.....	47
Tabla 2. 25. Matriz morfológica M4.....	50
Tabla 2. 26. Funciones y componentes para M4.....	51
Tabla 2. 27. Evaluación de alternativas con respecto a la seguridad para M4.....	51
Tabla 2. 28. Evaluación de alternativas con respecto a la durabilidad para M4.....	51
Tabla 2. 29. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M4.....	51
Tabla 2. 30. Evaluación de alternativas con respecto a la funcionalidad para M4.....	52
Tabla 2. 31. Evaluación de prioridad de alternativas para M4.....	52
Tabla 2. 32. Evaluación de prioridad de alternativas para M4.....	52

Tabla 2. 33. Rendimientos en función del diámetro del cilindro.....	79
Tabla 2. 34. Propiedades para distintos materiales poliméricos.....	89
Tabla 2. 35. Lista de herramientas para el centro de mecanizado.....	120
Tabla 2. 36. Resumen de operaciones y parámetros aplicados para los moldes.....	127
Tabla 2. 37. Costos directos.....	129
Tabla 2. 38. Costos Indirectos.....	131
Tabla 2. 39. Costo total de la máquina.....	131
Tabla 2. 40. Montaje de la matriz.....	133
Tabla 2. 41. Pruebas para verificación de apertura y cierre.....	135
Tabla 2. 42. Verificación de dimensiones y de aspecto de la termoformadora.....	136
Tabla 2. 43. Verificación de dimensiones y de aspecto de las mascarillas.....	137
Tabla 2. 44. Porcentaje de error entre mascarillas propuestas y obtenidas.....	143

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. 1. Hoja que adquiere una nueva forma mediante termoformado mecánico. ....	7
Figura 1. 2. Grupos de Mascarillas. ....	9
Figura 1. 3. Información de etiquetado. ....	10
Figura 1. 4. Tipos de mascarillas. ....	11
Figura 1. 5. Rolado de capas de material que constituyen una mascarilla.....	12
Figura 1. 6. Molde que aplica fuerza sobre láminas para conformar mascarillas.....	12
Figura 1. 7. Sistemas CAD/CAM.....	13
Figura 2. 1. Competencia A “Rotary cup type mask machine”.....	18
Figura 2. 2. Competencia B “N95 Mask Thermoforming Machine”.....	19
Figura 2. 3. Medidas de mascarillas 3M 1860 de tamaño regular. ....	23
Figura 2. 4. Análisis Funcional. ....	28
Figura 2. 5. Análisis Funcional separado por niveles. ....	28
Figura 2. 6. Análisis Funcional separado por módulos.....	29
Figura 2. 7. Módulo 1 (M1). ....	30
Figura 2. 8. Módulo 2 (M2). ....	30
Figura 2. 9. Módulo 3 (M3). ....	31
Figura 2. 10. Módulo 4 (M4). ....	31
Figura 2. 11. Estampadora con estructura giratoria. ....	32
Figura 2. 12. Termoformadora FormBox Mayku.....	33
Figura 2. 13. Alineamiento de moldes mediante marcas. ....	34
Figura 2. 14. Caja y espiga. ....	34
Figura 2. 15. Palancas de termofijadoras. ....	35
Figura 2. 16. Termoformadora FormBox Mayku.....	35
Figura 2. 17. Matriz cara cuadrada. ....	39
Figura 2. 18. Matriz cara circular.....	40
Figura 2. 19. Matriz en forma de medialuna. ....	40
Figura 2. 20. Pistola Para Termoformado.....	44
Figura 2. 21. Resistencias eléctricas. ....	45
Figura 2. 22. Presión generada manualmente. ....	48
Figura 2. 23. Componentes básicos de un sistema neumático.....	49
Figura 2. 24. Componentes básicos de un sistema hidráulico. ....	49
Figura 2. 25. Esquema de solución final (moldes unidos).....	53
Figura 2. 26. Esquema de solución final (moldes separados). ....	53
Figura 2. 27. Medios de accionamiento de la termoformadora.....	54

Figura 2. 28. Medios de deslizamiento de la termoformadora. ....	54
Figura 2. 29. Dispositivo para posicionamiento inicial de la termoformadora. ....	55
Figura 2. 30. Medios de aseguramiento para el conjunto de moldes. ....	55
Figura 2. 31. Dimensiones entre pómulos del sólido obtenido previamente. ....	56
Figura 2. 32. Dimensiones entre quijada y nariz del sólido obtenido previamente. ....	57
Figura 2. 33. Dimensiones entre nariz y pómulos del sólido obtenido previamente. ....	57
Figura 2. 34. Croquis que permite definir la base de la mascarilla. ....	58
Figura 2. 35. Punto establecido como referencia para diseño en el eje Z. ....	59
Figura 2. 36. Diseño de la zona donde se ubica la nariz en la mascarilla. ....	59
Figura 2. 37. Diseño de la zona donde se ubica el mentón en la mascarilla. ....	60
Figura 2. 38. Croquis principal seleccionado como "Límites de parche". ....	60
Figura 2. 39. Líneas curvas seleccionadas como "Curvas de restricción". ....	61
Figura 2. 40. Superficie obtenida con la geometría de la mascarilla deseada. ....	61
Figura 2. 41. Sólido final con la geometría deseada. ....	62
Figura 2. 42. Visualización conjunto usuario-mascarilla. ....	62
Figura 2. 43. Dimensiones del sólido obtenido previamente. ....	65
Figura 2. 44. Configuración final tentativa (diámetro final externo del molde negativo). ...	66
Figura 2. 45. Cargas externas en estado estático. ....	69
Figura 2. 46. Estructura mallada correctamente. ....	70
Figura 2. 47. Criterio de von Mises en la estructura. ....	71
Figura 2. 48. Análisis de desplazamientos en la estructura. ....	72
Figura 2. 49 Factor de seguridad en la estructura. ....	73
Figura 2. 50. Cubierta de la estructura con zonas soldadas. ....	74
Figura 2. 51. DCL de los pernos (en V, V', W y W') que unen a la placa con la pletina. ...	74
Figura 2. 52. Esquema de soldadura. ....	77
Figura 2. 53. Conjunto móvil de la estructura. ....	78
Figura 2. 54. Fijación de cilindro libre y extremos articulados. ....	79
Figura 2. 55. Base de la estructura. ....	82
Figura 2. 56. DCL de la base de la estructura. ....	82
Figura 2. 57. Diagramas a partir de la vista frontal. ....	83
Figura 2. 58. Columnas principales. ....	84
Figura 2. 59. DCL de la columna. ....	84
Figura 2. 60. Diagramas de la columna. ....	85
Figura 2. 61. Perfiles 30x30x3 mm funcionando de vigas. ....	86
Figura 2. 62. DCL de la viga. ....	87
Figura 2. 63. Diagramas de normal y de momento de la columna. ....	87

Figura 2. 64. Cocineta eléctrica usada como sistema de calentamiento.....	89
Figura 2. 65. Diagrama de bloques del sistema de calentamiento. ....	93
Figura 2. 66. Operación de líneas de separación.....	94
Figura 2. 67. Superficie donde se dividirán los moldes generados.....	95
Figura 2. 68. Croquis definido con el contorno de la base de la mascarilla.....	96
Figura 2. 69. Operación núcleo/cavidad para la vista previa de los moldes.....	96
Figura 2. 70. Nuevo sólido obtenido. ....	97
Figura 2. 71. Molde negativo (izquierda) y positivo (derecha) .....	97
Figura 2. 72. Moldes positivo y negativo con la configuración final. ....	98
Figura 2. 73. Distancia entre superficies de los moldes de 1,02 mm.....	98
Figura 2. 74. Pestaña de selección de parámetros para el nuevo archivo.....	99
Figura 2. 75. Pestaña “Datos de la pieza a fresar” definida correctamente.....	100
Figura 2. 76. Representación del tocho a partir del cual se obtendrá la geometría final. 101	
Figura 2. 77. Representación del tocho a partir del cual se obtendrá la geometría final. 102	
Figura 2. 78. Molde positivo y negativo luego del desbaste (simulado en SolidCAM). ....	102
Figura 2. 79. Trayectoria de la herramienta generada por SolidCAM en los moldes.....	103
Figura 2. 80. Velocidad y avance por diente para fresado.....	104
Figura 2. 81. Centro de Mecanizado CNC.....	108
Figura 2. 82. Menú principal del controlador “F2”.....	109
Figura 2. 83. Menú para cargar archivos.....	110
Figura 2. 84. Menú de selección de ubicación de archivos.....	110
Figura 2. 85. Menú de selección de carpetas de archivos. ....	111
Figura 2. 86. Menú de selección de archivos. ....	111
Figura 2. 87. Visualización de código. ....	112
Figura 2. 88. Edición de códigos existentes. ....	112
Figura 2. 89. Ingreso del nuevo código.....	113
Figura 2. 90. Menú principal del controlador “F1”.....	113
Figura 2. 91. Ingreso a la Biblioteca de herramientas. ....	114
Figura 2. 92. Biblioteca de herramientas. ....	114
Figura 2. 93. Palpador “CENTROID TT-1 S/N 01573”. ....	115
Figura 2. 94. Sentidos de giro en el molde positivo.....	115
Figura 2. 95. Sentidos de giro en el molde negativo. ....	116
Figura 2. 96. Madera para moldes de prueba. ....	117
Figura 2. 97. Elementos usados en el centro de mecanizado. ....	118
Figura 2. 98. Trabajo en madera con una fresa de 19 mm.....	118
Figura 2. 99. Trabajo en madera con una fresa de 8 mm.....	119

Figura 2. 100. Molde positivo y negativo terminado. ....	119
Figura 2. 101. Molde positivo y negativo de madera encajados. ....	120
Figura 2. 102. Refrentado del molde positivo. ....	123
Figura 2. 103. Línea de tronzado. ....	123
Figura 2. 104. Corte con sierra del molde positivo. ....	124
Figura 2. 105. Antes y después de usar la fresa de 30 mm. ....	124
Figura 2. 106. Desbaste con fresa de 19 mm y de 8 mm para el molde positivo. ....	125
Figura 2. 107. Acabado final del molde positivo. ....	125
Figura 2. 108. Desbaste con fresa de 19 mm y de 8 mm para el molde negativo. ....	126
Figura 2. 109. Acabado con fresa plana de 3 mm y redonda de 6 mm. ....	126
Figura 2. 110. Máquina termoformadora ensamblada (Moldes separados). ....	132
Figura 2. 111. Máquina termoformadora ensamblada (Moldes unidos). ....	132
Figura 2. 112. Alineamiento de los moldes y montaje de los moldes con la estructura. .	134
Figura 2. 113. Sistema de calentamiento colocado dentro del molde positivo. ....	134
Figura 2. 114. Verificación de cierre de moldes. ....	135
Figura 2. 115. Verificación de cierre de moldes con material en medio. ....	136
Figura 2. 116. Preparación de las telas para mascarillas. ....	138
Figura 2. 117. Termoformado de mascarillas. ....	138
Figura 2. 118. Mascarillas obtenidas. ....	139
Figura 2. 119. Mascarillas cortadas. ....	139
Figura 2. 120. Mascarillas con capa externa de poliéster antifluido. ....	140
Figura 2. 121. Mascarilla expuesta a una temperatura mayor a 150°C. ....	140
Figura 2. 122. Mascarilla termoformada por tiempo prolongado. ....	141
Figura 2. 123. Mascarilla expuesta a una temperatura menor a 150°C. ....	141
Figura 2. 124. Mascarilla propuesta vs mascarilla KN95. ....	142
Figura 2. 125. Mascarilla Vista trasera y vista frontal. ....	142
Figura 2. 126. Prueba de mascarilla en una persona de 23 años. ....	143
Figura 2. 127. Ancho de la mascarilla. ....	144
Figura 2. 128. Largo de la mascarilla. ....	144
Figura 2. 129. Altura de la mascarilla. ....	145

## RESUMEN

El presente trabajo, emplea la ingeniería concurrente como principal metodología para el desarrollo de una matriz de termoformado mecánico para moldeo de mascarillas, tomando en cuenta así las principales funciones con las que deben cumplir el conjunto de moldes y la máquina de termoformado. También se usó herramientas CAD/CAM que permitieron la elaboración del prototipo de la mascarilla además de la generación del código G, mismo que permitió la construcción de las geometrías de las matrices en el centro de mecanizado del laboratorio de Máquinas-Herramientas. Al lograr maquinar “Duraluminio 7075”, que es el material a partir del cual se fabricó los moldes, se insertó una resistencia eléctrica para generar calor y termoformar materiales poliméricos (el polipropileno y el poliéster los cuales son los más usados en el mercado actual de mascarillas). Todo esto permitió obtener un producto que cumple con la geometría propuesta y es capaz de cubrir zonas que van desde la nariz hasta el mentón, esto debido a que se enfocó al uso del público en general.

**Palabras clave:** CNC, CAD/CAM, termoformado, ingeniería concurrente, matrices, polipropileno, poliéster, mascarillas, aluminio.



## ABSTRACT

The present work uses concurrent engineering as the methodology for the development of a mechanical thermoforming die for mask molding, considering the main functions that the set of molds and the thermoforming machine must fulfill. CAD/CAM tools were also used to develop the mask prototype and generate the G-code, which allowed the construction of the geometries of the dies in the machining center of the Machine-Tools laboratory. Once "Duraluminium 7075" was machined, which is the material from which the molds were made, an electrical resistance was inserted to generate heat and thermoform polymeric materials (polypropylene and polyester, which are the most used in the current mask market). All this allowed us to obtain a product that complies with the proposed geometry and can cover areas ranging from the nose to the chin since it was focused on the use of the public.

**Keywords:** CNC, CAD/CAM, thermoforming, concurrent engineering, dies, polypropylene, polyester, masks, aluminum.

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MATRIZ PARA FABRICACIÓN DE MASCARILLAS MEDIANTE TERMOFORMADO USANDO SOFTWARE CAD/CAM Y TECNOLOGÍA CNC.**

## **INTRODUCCIÓN**

Hablando del mercado local del Ecuador, este no abastece la demanda local de mascarillas hechas por procesos automatizados o de termoformado; dejando al país dentro de una clara dependencia de importaciones de esta clase, o viéndose forzado a usar procesos manuales para la fabricación de estos, este escenario puede llegar a convertirse en un punto estratégico para que las industrias dedicadas a la elaboración de insumos médicos puedan aumentar sus ingresos. Resumiendo, datos del INEN [1], Ecuador ha importado hasta el mes de junio del 2020 alrededor de 203 millones de mascarillas aproximadamente, donde el 53% de estas son mascarillas desechables de uso hospitalario y el 47% a respiradores de uso general o industrial. Teniendo en cuenta todo lo anterior se expone la fabricación de un matriz de mascarillas, para cubrir estos pequeños vacíos existentes en lo que puede llegar a ser una fabricación semiautomatizada de mascarillas.

En el presente año 2021 aún no se confirman fechas para la culminación del proceso de vacunación total del pueblo ecuatoriano, lo que indica que posiblemente la situación se mantendrá o prolongará por varios meses más e incluso posiblemente llegar a prolongarse hasta parte del 2022, por lo que las medidas de bioseguridad se mantendrán presentes. Analizando este contexto se ve que es viable generar maquinaria automática para la fabricación de implementos, o al menos generar sistemas semiautomáticos o manuales para abastecer en lo mínimo posible a las industrias locales para que puedan mantener sus actividades y estas a su vez, ayuden a la economía del país. Cabe recalcar que, en el Ecuador sí existe fabricación de mascarillas, pero estas son artesanales o simplemente cocidas, por lo que se presentan costos por mano de obra.

Por lo tanto, este trabajo buscará recopilar información a través de material bibliográfico sobre máquinas termoformadoras, mascarillas y libros de diseño para poder identificar los requisitos necesarios para el diseño de la matriz de termoformado mecánico, también haciendo consulta con tutores internos de la Escuela Politécnica Nacional para el uso de maquinaria CNC y poder cubrir con información sobre materiales, maquinaria, procedimientos de montaje y pruebas finales. Todo el proceso realizado se encuentra en el cronograma del ANEXO IV.

## **Objetivo general**

- Diseñar y construir una matriz para fabricación de mascarillas mediante el proceso de termoformado.

## **Objetivos específicos**

- Recopilar información sobre el estado del arte de la fabricación de mascarillas por termoformado.
- Realizar el estudio concurrente de las matrices a elaborar.
- Aplicar la metodología de ingeniería concurrente para el diseño de la matriz.
- Obtener el CAD y el CAM para la matriz diseñada.
- Construir la matriz.
- Realizar el protocolo de pruebas del termoformado obtenido.

# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1. Proceso de Termoformado

### 1.1.1. Conceptos básicos

El proceso de termoformado es uno de los más empleados en la industria ya que, permite obtener piezas continuas de distintas geometrías de manera rápida y manteniendo bajos costos para distintos materiales; básicamente los dos factores que siempre están presentes en este proceso son la temperatura y la presión; ya que mediante al aumento de la temperatura el material llega a un estado de mayor susceptibilidad de deformación, lo que le permite adoptar una nueva geometría sin sufrir fisuras o daños en su superficie y mediante la presión se obliga el material a adquirir esta nueva forma dada por los moldes o por la matriz en sí.

Los elementos principales que intervienen en este proceso son:

- Material a ser termoformado.
- Sistemas de calentamiento.
- Matriz (macho y hembra).
- Fuerza aplicada de conformado.

Básicamente el proceso de termoformado emplea matrices conformadas por macho o molde positivo y hembra o molde negativo, entre las cuales existe una separación lo suficientemente holgada para albergar el material a termoformar; la geometría de las matrices debe evitar las aristas vivas ya que las mismas pueden causar cortes en el material a trabajar además de que en estos puntos se concentra más el calor y por ende se puede quemar el material en estas zonas.

J. Florian [3] afirma que: “El proceso de termoformado ofrece un conformado uniforme y rápido y, por lo tanto, se presta a la automatización y a la producción a largo plazo; con sus ciclos de moldeo relativamente rápidos y costos de moldes comparativamente económicos, el proceso de termoformado a menudo se elige el proceso de fabricación más rentable”, es por esta razón que es un proceso apto e ideal para la fabricación masiva de mascarillas, convirtiéndose así en uno de los procesos más usados por la industria de este sector de insumos.

## **1.1.2. Componentes del proceso de termoformado**

### **Material para conformar**

Uno de los componentes que determina las condiciones con las cuales se va a desarrollar el proceso de termoformado es el material de trabajo ya que dependiendo de la tipología y las características de cada material, se establecen tiempos de conformado, temperatura de trabajo, fuerza necesaria a aplicar para que el material adopte una nueva geometría y la configuración de los moldes para permitir la salida de gases y evitar acabados superficiales no deseados; en la industria se trabajan varios materiales entre los cuales los más comunes son:

- Polímeros.
- Telas de fibra natural o sintética.
- Cartón.
- Papel.
- Fibra de vidrio.

En la industria los materiales más empleados son los polímeros (termoplásticos) ya que este tipo de material presenta una buena deformación a temperaturas no tan elevadas, que según J. Florian [3] son generalmente de entre 65 a 120°C en el molde; lo que se traduce como un material que no necesita gran cantidad de energía para ser deformado y por ende el proceso es económico; algunos ejemplos de productos termoformados con este material son: recubrimientos internos de refrigeradores, paneles internos de vehículos, envases o recipientes plásticos, juguetes, entre otros; así mismo otro material ampliamente empleado es el cartón el cual es termoformado para elaborar productos tales como envases pre doblados, contenedores de distintas formas, recipientes de cartón para huevos, etc.; ocupando así estos dos materiales el 85% del total de productos generados por termoformado según J. Florian [3].

### **Medios de Calentamiento**

Un elemento fundamental en el desarrollo del termoformado es el medio o método por el cual se va a transmitir el calor para llegar a un punto o a un rango de temperaturas específicos donde los distintos materiales a usarse puedan adquirir nuevas geometrías con mayor facilidad; dentro de los medios de calentamiento más empleados se encuentran los siguientes:

- Calentamiento por conducción: Es uno de los métodos menos complicado ya que el material a conformar entra en contacto con el molde el cual se encuentra a una temperatura mayor y luego de un determinado tiempo de precalentamiento entre estas superficies se realiza el proceso de termoformado. Este método es ampliamente utilizado para producción de artículos pequeños y de espesores menores. A menudo para calentar los moldes se emplea resistencias térmicas en uno de ellos o en ambos; esto depende de la cantidad de detalles que se desean obtener, del lugar donde se encuentra el detalle, del espesor y de la temperatura deseada para el proceso, esta será una de las opciones o alternativas que se presentará más adelante para el sistema de calentamiento.
- Calentamiento mediante inmersión: Es un método generalmente empleado en procesos con materiales poliméricos; donde el material es sumergido en un líquido que se encuentra a mayor temperatura el cual transfiere calor al material para su posterior termoformado; este medio de calentamiento se emplea básicamente para piezas de gran volumen y pocos detalles debido a cuestiones de limpieza que se pueden presentar.
- Calentamiento por convección: Este método de calentamiento emplea típicamente uno de los dos métodos descritos a continuación; el primero es mediante hornos de convección el cual permite obtener superficies con una temperatura uniforme así como también permite tener un mejor control de la superficie a trabajar, este método se usa para termoformar superficies amplias; el segundo método es mediante el uso de pistolas de calor las cuales tienen la capacidad de calentar superficies a temperaturas de entre 450°C a 500°C según J. Throne [4]; sin embargo se emplean para calentar superficies más específicas es decir no tan extensas y que no serán producidas en serie ya que el tiempo que toma el proceso es mayor; pero a su vez es un método económico.
- Calentamiento por radiación: Es un método empleado para materiales que requieren de mayores temperaturas de trabajo generalmente en este medio se alcanzan temperaturas de hasta 706°C según el manual de Plastiglas [14]; para lo cual en la industria se emplean básicamente lámparas de cuarzo así como también resistencias metálicas o a su vez cerámicas; mediante este medio de calentamiento se debe considerar la absorción del material a trabajar ya que puede ser más o menos efectivo dependiendo de las propiedades del material.

## Matriz

La matriz es uno de los elementos más importantes en el desarrollo del termoformado debido a que es el conjunto de elementos que dan forma al producto; está conformado por dos componentes generalmente denominados macho (geometría convexa) y hembra (geometría cóncava) los cuales se acoplan de manera que obligan al material a adquirir la forma deseada; la matriz debe tener una buena resistencia a la compresión debido a que no se debe deformar al momento de aplicar presión durante el proceso de conformado; además debe estar construida en un material que permita una buena transferencia de calor es decir con una elevada conductividad térmica como por ejemplo el aluminio, el cobre o ciertas aleaciones precautelando siempre la opción más económica; además al elegir un material adecuado el gasto energético para calentar el material a conformar será mucho menor.

Así mismo se pueden denominar moldes positivos y negativos a la parte convexa y cóncava respectivamente; en M. Groover [6] se afirma “Sus ventajas son: un mejor control dimensional y la oportunidad de detallar la superficie de la pieza por ambas caras. La desventaja es que se requieren dos mitades de molde lo que puede representar un costo elevado para fabricar dichos moldes”; sin embargo, para una producción en serie el costo de los moldes no es significativo considerando su durabilidad, así como también considerando las cantidades de unidades producidas en cortos periodos de tiempo; a continuación, en la Figura 1. 1 se presenta el molde positivo y negativo donde se puede apreciar que el molde positivo es el que ejerce una fuerza obligando a la hoja de plástico calentada para que adopte una nueva geometría; así mismo es importante observar como el molde negativo tiene un escape de aire con la finalidad de que el aire pueda fugar ya que caso contrario se podría generar deformaciones en la superficie del material a conformar por las burbujas que se producen por el aire atrapado intentando salir al aplicar presión; sin embargo, para el presente caso de estudio de conformado de mascarillas este escape de aire no es necesario ni va a ser aplicado ya que solo se aplican en procesos de termoformado que trabajen con aire a presión o con equipos que trabajen con la fuerza de vacío. También se da el uso de estos orificios que ventilan el aire atrapado para mejorar las tolerancias dimensionales, consiguiendo asimismo evitar arrugas y formados deficientes en piezas muy grandes cuyos ángulos entre aristas sean cercanos a los 90°. Por lo que solamente se opta por usar ángulos de salida mayores a 3° para sustituir esta salida de aire y así se evitan arrugas o formados deficientes en el material, como se lo indica en el manual de Plastiglas [14].

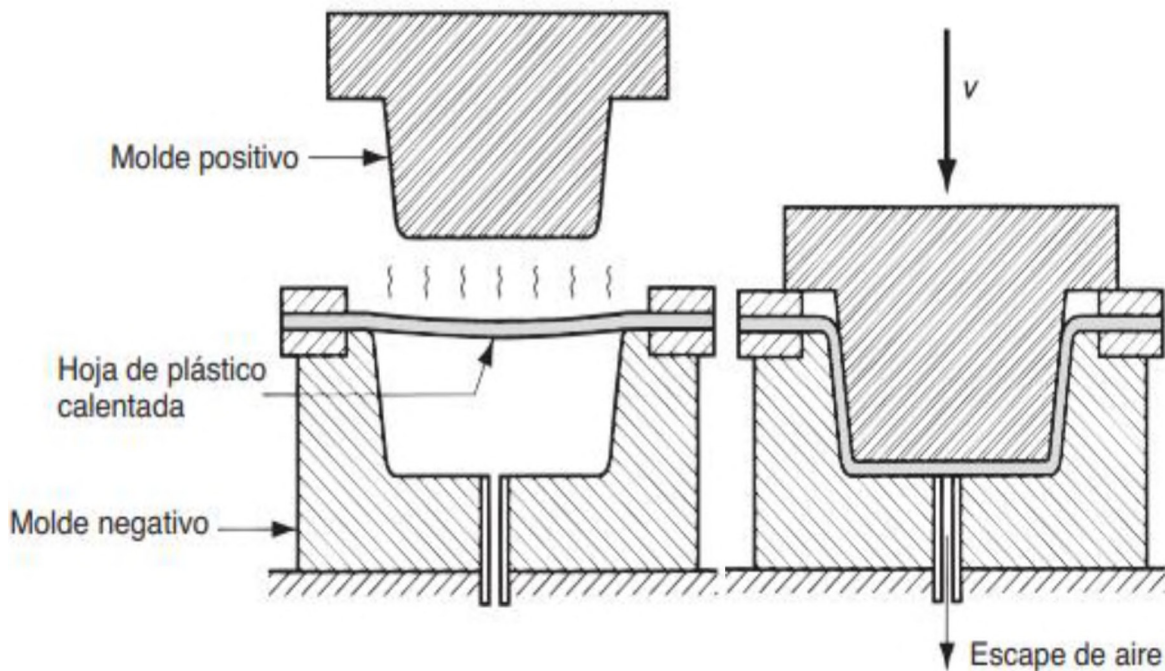


Figura 1. 1. Hoja que adquiere una nueva forma mediante termoformado mecánico.  
(Fuente: [6])

Para el diseño de los moldes negativo y positivo se deben considerar los siguientes aspectos los cuales son determinantes para obtener productos con especificaciones deseadas; dichos aspectos son:

- La técnica de termoformado a emplear; la cual para el presente caso es mecánica.
- Las dimensiones, forma, características particulares de la pieza que se desea fabricar.
- La apariencia en el acabado superficial que se desea obtener.
- El efecto de recuperación elástica del material.
- Ángulos de salida que se aplican para facilitar la extracción de piezas endurecidas una vez enfriadas.
- Volumen de producción.

Estos aspectos previamente descritos son los que determinarán si el conjunto de moldes conformará con éxito al material o no. Por lo general, de ser el caso, los ángulos de salida están comprendidos de entre  $3^\circ$  a  $5^\circ$  lo cual permite la extracción de la pieza sin dificultad y sin alterar la forma de esta según el manual de Plastiglas [14], es importante considerar estos ángulos ya que caso contrario se dificulta la extracción de las piezas de los moldes generando incluso roturas en el caso de usar ángulos de salida menores a  $3^\circ$ .



## **Presión aplicada de conformado**

Mediante la presión de conformado se obliga al material a tomar la geometría deseada; esta puede ser aplicada sobre el molde positivo o negativo dependiendo de las características que se desea dar al elemento a conformar; la presión necesaria es directamente proporcional al tipo de material a conformar y a la temperatura de trabajo, con estos datos se podrá saber si es necesario usar un sistema de presión manual, neumático o incluso hidráulico, estos dos últimos se los usará en el caso de requerir presiones que no se pueda generar solo con el peso del molde.

Para el proceso de termoformado por moldes combinados (positivo y negativo), las presiones más comúnmente empleadas para termoformado varían desde los 45 psi (0.3 MPa) hasta los 150 psi (1 MPa) según J. Throne [4], pero la misma va a depender de la temperatura de trabajo.

## **1.2. Requerimientos de las mascarillas**

La mascarilla es uno de los medios de protección impuestos como medida preventiva para evitar contagios de enfermedades de transmisión por la propagación de pequeñas partículas que son líquidas y son expulsadas por un ser infectado a través orificios como la boca o la nariz al momento de toser, estornudar y hablar según la información obtenida de la Organización Mundial de la Salud [7], por lo que es importante mencionar las características básicas de cada una de los diferentes tipos de mascarillas, sus materiales y diferentes tamaños, ya que se debe tomar en cuenta varios aspectos de la persona como por ejemplo, su edad, peso, he incluso si el individuo está sano, enfermo o si este desempeña una determinada actividad.

Para la fabricación de estos artículos, según el Ministerio de Consumo y Sanidad de España [8] el reglamento europeo no establece obligaciones concretas sobre el modo de fabricación, pero si se necesita de varios pasos, los cuales pueden ser automáticos, manuales o ambos. Al principio se necesita de varias capas de material, como por ejemplo: filtrante de polipropileno, capas repelente y capa intermedia de poliéster, estas deben ser roladas y alienadas, para ser luego pasadas por las termoformadoras que moldearán al material adecuándolas al rostro de la persona según la talla, luego por selladoras de ultrasonido y cortadoras para individualizar cada producto, finalmente se ingresa el clip de aluminio para ajuste de la nariz y las correas elásticas que van en la orejas.

### 1.2.1. Grupos y tipos de Mascarillas

Según el Ministerio de Consumo del Gobierno de España [9], se tiene tres distintitos grupos de mascarillas: las higiénicas, las quirúrgicas y las EPI, estos tres tipos se las puede ver en la Figura 1. 2.



Figura 1. 2. Grupos de Mascarillas.  
(Fuente: [9])

#### Grupo 1: Mascarillas higiénicas

En el primer grupo de mascarillas según el Ministerio de Consumo del Gobierno de España [9] se encuentran las higiénicas, estas las usan preferente las personas sanas para cubrir boca, nariz y barbilla, además, estas están equipadas de un arnés que rodea la cabeza o que las sujeta con las orejas, suelen estar conformadas por una o más capas de material textil que pueden volverlas reutilizables o de un solo uso, esto último depende del fabricante, el cual especifica el número de máximo de lavados que se puede dar para mantener la eficacia. De estas se encuentran 3 tipos: las que cumplen con especificaciones UNE 0064 Y 0065, las que poseen otras especificaciones ajenas a las UNE y las sin especificaciones, en el caso de existir un etiquetado, este debe presentar la información relevante como: duración, talla, instrucciones, composición del material, mantenimiento, porcentaje de eficacia de filtración bacteriana (EFB), y la respirabilidad medida en Pa/cm<sup>2</sup>.

#### Grupo 2: Mascarillas quirúrgicas

En el segundo grupo están las quirúrgicas, las cuales están presentes más en ambientes clínicos u hospitalarios, para evitar que se transmitan agentes infecciones entre el personal del hospital y los pacientes, esto gracias a los materiales que la conforman y a un mecanismo que permite ceñir estrechamente la mascarilla sobre la nariz, boca y barbilla.

Solo hay dos tipos de mascarillas quirúrgicas según el Ministerio de Consumo del Gobierno de España [9], la Tipo I y la Tipo II, que básicamente se diferencian por su eficacia de filtración siendo la de Tipo II mayor a la de Tipo I. Este tipo de mascarillas debe incluir un etiquetado obligatorio con toda la información que mostraban las mascarillas higiénicas, además deben mostrar un marcado CE que asegura el cumplimiento de legislación, la norma que cumple.

### Grupo 3: Mascarillas EPI

Por último, se tiene a las EPI, estas mascarillas se las fabrica mediante el proceso de termoformado mecánico, tienen como propósito filtrar las partículas al inhalar aire, se pueden clasificar según su grado de protección y según el filtro que se use. Dependiendo del grado de protección existen las FFP1, FFP2 y las FFP3, según el tipo de filtro para partículas se tiene: P1, P2 y P3, siendo la FFP1 y P1 de menor protección y las FFP3 junto a las P3 las de mayor protección o de filtración según el Ministerio de Consumo del Gobierno de España [9]. Muestran la misma información en el etiquetado como el de la Figura 1. 3. Aquí se encuentran las conocidas N95 y KN95, las cuales serán relevantes más adelante en el diseño.

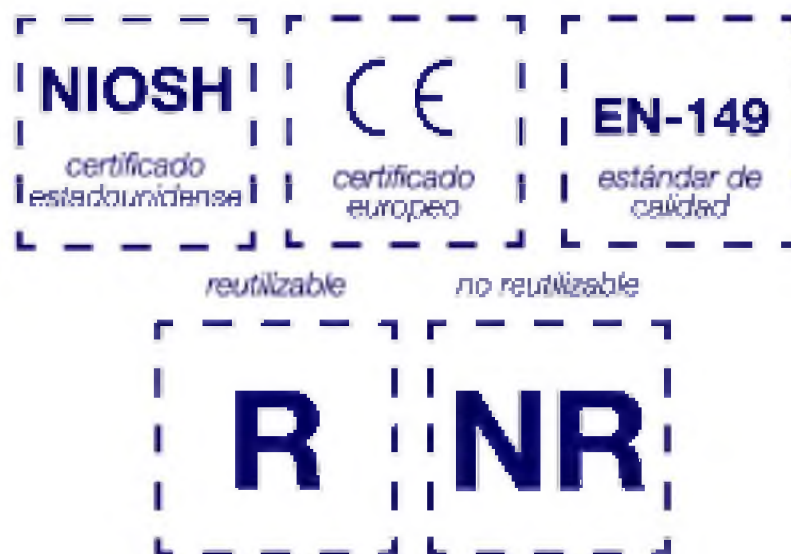


Figura 1. 3. Información de etiquetado.  
(Fuente: [9])

También están las mascarillas industriales, pero para el proceso de termoformado se tratará de centrarse en las del grupo EPI. En Figura 1. 4 se puede apreciar ejemplos de las distintas mascarillas antes mencionadas para tener una idea de la forma que poseen, tomado de A. Rubiera [28].





















EQUIPO	TIPO	Para no contagiarse	Para no contagiar	PROPIEDADES
<p><b>Mascarillas autofiltrantes desechables</b></p> <p>Protegen de fuera hacia dentro y sirven para prevenir el contagio</p> <p>SIGUEN LA NORMA EN 149</p> <p> LAS REUTILIZABLES LLEVAN UNA "R"</p> <p> LAS NO REUTILIZABLES SERVIRÍAN PARA UN ÚNICO TURNO. MARCADAS CON "NR"</p>	<p><b>FFP 1 sin válvula de exhalación</b></p> 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipo de protección pero con filtración mínima</li> <li>• No protege frente a organismos infecciosos.</li> <li>• Limita la propagación del contagio</li> </ul>
	<p><b>FFP 2 y FFP 3 sin válvula de exhalación</b></p> 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protege y limita la propagación del contagio</li> </ul>
	<p><b>FFP 2 y FFP 3 con válvula de exhalación</b></p> 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Protege pero no limita la propagación del contagio</li> </ul>
<p><b>Quirúrgicas y caseras</b></p> <p>Protegen de dentro hacia afuera</p> <p>Sirven para que alguien enfermo no contagie. En este grupo se incluyen las fabricadas en casa, aunque estas sin ninguna homologación</p>	<p><b>Mascarilla quirúrgica desechable</b></p> 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es un equipo de protección</li> <li>• No protege pero limita la propagación del contagio</li> </ul>
	<p><b>Mascarilla higiénica desechable</b></p> 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• No es un equipo de protección</li> <li>• No protege pero limita la propagación del contagio</li> <li>• Algunas sujetas a norma y otras no (eficacia no testada)</li> </ul>
<p><b>Industriales</b></p> <p>Protegen de fuera hacia dentro</p> <p>SIGUEN LA NORMA EN 140</p>	<p><b>Semimáscara buconasal con filtros</b></p> 			<ul style="list-style-type: none"> <li>• Todas disponen de válvulas de exhalación</li> <li>• Protege pero no limita la propagación del contagio</li> <li>• Reutilizable</li> </ul>

Figura 1. 4. Tipos de mascarillas.  
(Fuente: [28])

### 1.3. Conformado de mascarillas mediante termoformado

El proceso de conformado de mascarillas inicia con la recepción de las distintas capas de material; mismo que se dispone en rollos lo cual facilita el proceso; las distintas capas pasan por un primer proceso de rolado en el cual mediante varios rodillos se busca

compactar y alinear las mismas con la finalidad de obtener una sola lámina como se observa en la Figura 1. 5 para su posterior termoformado.

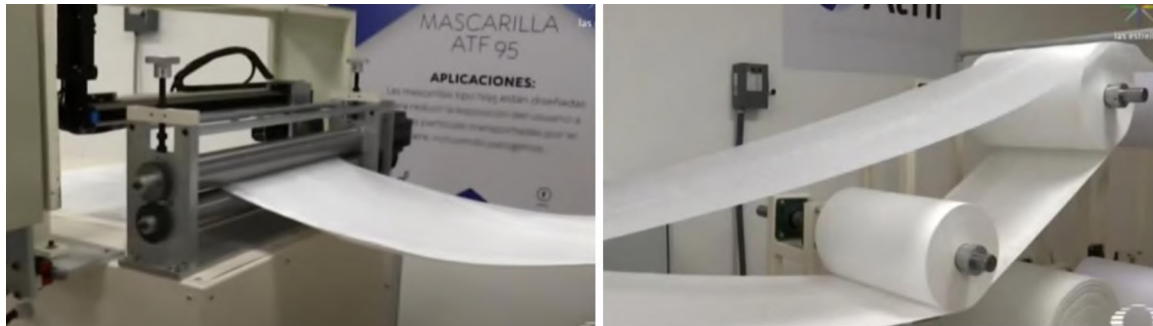


Figura 1. 5. Rolado de capas de material que constituyen una mascarilla.  
(Fuente: [10])

Una vez obtenida una sola capa uniforme dependiendo del tipo de producción y el volumen de esta, esta capa debe ser cortada según la cantidad de mascarillas a producir; posteriormente es calentada entre los moldes positivo y negativo los cuales al aplicar presión en conjunto con una temperatura adecuada obligan a la capa compuesta a adoptar una nueva geometría como se ve en la Figura 1. 6.

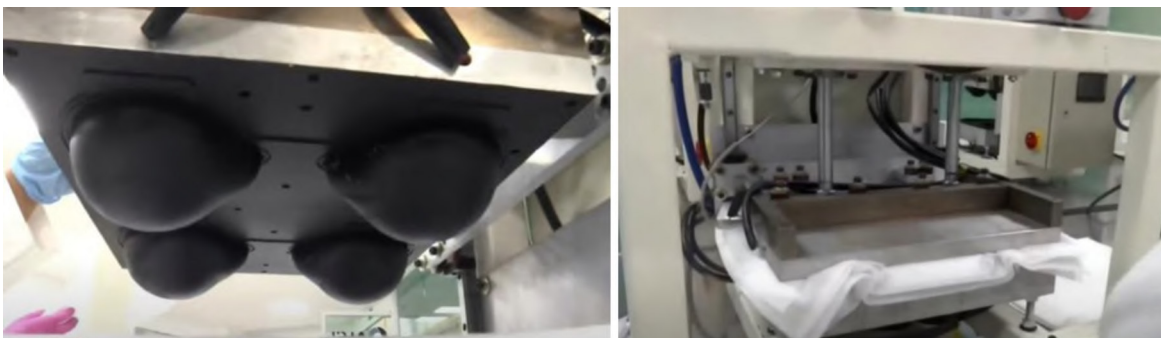


Figura 1. 6. Molde que aplica fuerza sobre láminas para conformar mascarillas.  
(Fuente: [10])

Según las noticias de la fundación UNAM [10], una vez obtenida la geometría deseada se realiza un sellado por ultrasonido con lo cual se define los límites finales de la mascarilla y se garantiza que los distintos materiales que la constituyen se encuentren unidos en estas zonas; posteriormente se realiza el corte por la periferia de la mascarilla, obteniendo así cada unidad; una vez finalizado el corte se colocan los accesorios como los lazos elásticos de poliamida/spandex mediante presión y ultrasonido los cuales permiten asegurar la mascarilla al usuario y finalmente se coloca la tira de aluminio que permite la adaptación en la zona de la nariz, de esta forma se crea un sello entre la nariz y el mentón del usuario permitiendo así brindar una mayor protección al mismo.

## 1.4. Proceso CAD/CAM en un centro de mecanizado

El primer proceso en maquinaria CNC comenzó en el Instituto de Massachusetts (MIT), a inicios de los años cincuenta al automatizar una fresadora, ya que en ese tiempo existía mayores restricciones tecnológicas, al compararlas con tiempos actuales donde se puede automatizar varios equipos CNC o equipos de manufactura en sí, es lo que se podría resumir de J. Valverde [11]. Aquí es donde entran los procesos CAD/CAM, para facilitar la programación en los equipos industriales y convertirse en una nueva tecnología a partir de la década de los 70's según J. Orejuela [12].

El sistema CAD o Diseño Asistido por Computadora sirve para diseñar piezas a través de herramientas de dibujo y modelado sólido presentes en el ordenador. En CAM o Manufactura asistida por computadora toma el diseño y genera la ruta la cual debe ser seguida por la herramienta para fabricar la pieza diseñada a través del CAD, como se lo puede resumir de J. Valverde [11]. Esto permite brindar calidad en el producto, reducir tiempos de diseño, reducir costos de producción y hace que se disponga nuevas capacidades de control de acceso a bases de datos que relacionan los productos con el centro de producción, según se lo presenta como ventajas en la aplicación de estos sistemas en L. Juiña [13].

Como se puede ver en la Figura 1. 7 se pasa del modelo en 2D al 3D se genera el código de programación G por medio de CAM y se copia en un dispositivo externo para pasarlo a la máquina de fabricación.

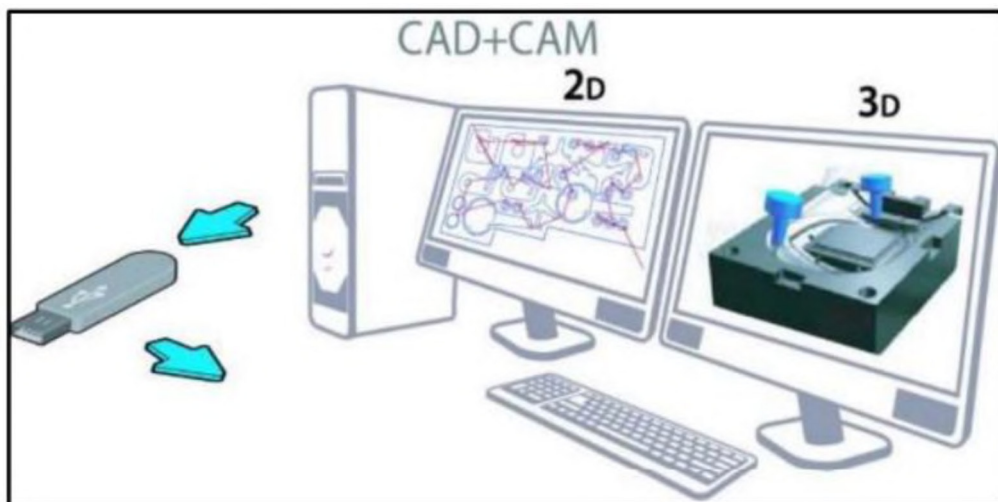


Figura 1. 7. Sistemas CAD/CAM.  
(Fuente: [11])

Actualmente en Ecuador existen varios lugares donde ya se ocupa esta tecnología, no solamente el trabajador es beneficiado, sino también estudiantes o instituciones en sí que se les ha facilitado el conocimiento de estos programas de diseño y manufactura, resultando con procesos de simulación y fabricación accesibles para la creación de productos o piezas según J. Orejuela [12]. Algunas de las instituciones y empresas que disponen de equipos CNC se las puede ver en la Tabla 1. 1.

Tabla 1. 1. Instituciones y empresas con equipo CNC.

Institución/Empresa	Maquinaria
EPN	Torno CNC y Centro de mecanizado vertical
ESPE	Torno CNC y Centro de mecanizado vertical
FV AREA ANDINA	Torno MAZAK, Torno multi-husillo, Centro de mecanizado vertical y rectificadora cilíndrica
MECANICA DON BOSCO	Fresadora y Torno
METALTRONIC	Torno CNC, Centro de mecanizado vertical y Cortadora Láser
TECNIMATRIC	Centro de Mecanizado

(Fuente: [12])

Retornando al CAD, este dispone de 4 etapas para poder desarrollar una pieza según [13, pp. 32-34]. Entre ellas está el modelado geométrico donde a través de comandos se crean las dimensiones, líneas, superficies y el sólido en sí ya que puede ser bidimensional o tridimensional. Luego está la representación lineal donde se crea los planos mostrando bordes con las líneas sólidas. Después está el modelo de superficies donde solo se muestra el contorno o el modelo sin espesor. Y finalmente está el modelo sólido donde se le agregan los detalles y propiedades físicas del elemento a diseñar según L. Juiña [13]. Después de estos 4 pasos también se puede seguir con un análisis, optimización, revisión, evaluación, documentación y finalmente con una formación de base de datos para culminar de manera virtual con el proyecto.

Ahora centrándose en el CAM, según J. Orejuela [12] se lo puede clasificar en tres grupos: máquinas herramientas dependiendo del equipo a usar, como por ejemplo se tiene a los tornos, fresas, erosionadoras, punzonadoras, corte láser, etc., también según el número de dimensiones o grados de libertad (2D, 2.5D, 3D, 4D, 5D), y por último a los tipos de proceso según su forma como desbastes, maquinado especial o incluso engranajes, esto permite la generación de programas de CNC, hace posible la transferencia de programación, obtiene códigos para la realización de distintos procesos, simula las trayectorias de corte para visualizar el recorrido de la herramienta.

Antes de comenzar con la fabricación real del producto, se necesita de un intermediario entre el software de CAD/CAM y el centro de mecanizado, esa función la cumple el código G, el cual es un código normalizado, que hace que la maquinaria ejecute acciones según determinadas instrucciones. En J. Orejuela [12] se encuentra toda la información sobre lenguaje de programación de control numérico y estructura de programas CNC. Finalmente se menciona algunos de los elementos básicos de un CNC, entre estos se tiene: la máquina-herramienta, la interfaz, el panel de control y el programa de la pieza que contiene toda la información.

## **1.5. Fabricación de matrices**

Para la fabricación de esta clase de moldes o matrices de termoformado de manera correcta según el manual de Plastiglas [14] se deben seguir los siguientes pasos:

### **Elección del tipo de técnica de termoformado**

Como primer paso se tiene la elección de la técnica a emplearse, debido a que si las características de la pieza son muy complejas simplemente se tendrán defectos que se traducirían en pérdidas de tiempo, dinero y recursos. Entonces para poder elegir el método se debe tener una idea de la apariencia final deseada o saber las dimensiones de la pieza a fabricar para estimar el volumen estimado de fabricación. En este caso se va a utilizar un termoformado mecánico.

### **Criterios para el diseño de productos termoformados**

Entre estos criterios de diseño, se tiene al fenómeno de adelgazamiento en el espesor del material (que se genera dependiendo del tamaño, forma o incluso de la técnica a emplearse), también se debe considerar varias cosas más como: el ángulo de salida de moldeo, la obtención de superficies lisas o con textura y la obtención de aristas generadas por alguna rasgadura en el material según el manual de Plastiglas [14].

### **Consideraciones en el diseño de la matriz de termoformado**

Como algunas consideraciones para el diseño están: adelgazamiento en el espesor del material, apariencia del molde, encogimiento y tolerancias dimensionales, orificios del



vacío, enfriamiento del molde, ayudas de moldeo, ayudas metálicas, ayudas de materiales térmicos, ayudas tipo esqueleto según el manual de Plastiglas [14].

### Materiales empleados para matrices de termoformado

Finalmente, como materiales empleados se tiene a la madera, resinas plásticas, metales y minerales, aquí existe una gran variedad debido a que estos procesos trabajan con temperaturas y presiones relativamente bajas, ahora solo depende verificar otras características como el tamaño de producción, conductividad térmica, número de cavidades y facilidad para el vaciado. Algunas ventajas y desventajas de presentan en la Tabla 1. 2.

Tabla 1. 2. Ventajas y desventajas de algunos materiales para matrices.

Materiales	Ventajas y desventajas	Desventajas
<b>Madera:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pino.</li> <li>- Caoba.</li> <li>- Cedro.</li> <li>- Maple.</li> <li>- Triplay.</li> <li>- Aglomerado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bajo costo.</li> <li>- Tiempo de construcción corto.</li> <li>- Buen acabado superficial.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de producción baja.</li> <li>- Deja marcas de moldeo y problemas con la humedad.</li> <li>- Tiene la necesidad de complementarse con otros materiales como resinas o metales.</li> </ul>
<b>Minerales:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Yeso o carbonato de calcio.</li> <li>- Fluosilicato de sodio.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de producción medio.</li> <li>- Alta resistencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necesidad de complementarse con otros materiales como resinas o metales.</li> </ul>
<b>Resinas Plásticas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resina poliéster.</li> <li>- Resina epóxica.</li> <li>- Resina fenólica.</li> <li>- Laminados plásticos.</li> <li>- Nylon.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de producción medio.</li> <li>- Mayor duración.</li> <li>- Estabilidad y superficies más tersas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son más costosos que las de madera o minerales.</li> </ul>
<b>Metálicos:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aluminio.</li> <li>- Cobre-berilio.</li> <li>- Acero.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Volumen de producción alta.</li> <li>- Funciona para altas presiones.</li> <li>- Especialmente adecuado para formado mecánico.</li> <li>- Bajo costo de mantenimiento.</li> <li>- Mejor estabilidad dimensional.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Son los más costosos.</li> <li>- Requiere sistema de enfriamiento.</li> </ul>

(Fuente: [14])

## **2. METODOLOGÍA**

### **2.1. Diseño concurrente de la matriz**

El diseño que se presenta en el proyecto trata de satisfacer, a través del proceso de diseño propuesto por el libro de C. Riba [45], parámetros presentados en Plastiglas [14], V: Boljanovic [20], Universal Plastics [22], SPE Thermoforming [23], Multifab Corporation [24] y Christopher Manufacturing [25], que son algunos ejemplares de manuales de termoformado, y de ciertos requerimientos propuestos por el personal que guarda relación con el Laboratorio de Máquinas Herramientas, el cual es presentar un trabajo detallado donde se indiquen todos los pasos y herramientas para el diseño de una matriz de termoformado mecánico manual.

El elemento más importante en el proceso de fabricación de mascarillas mediante termoformado es el conjunto de moldes positivo y negativo los cuales son los responsables de otorgar la nueva geometría al material trabajado; para lo cual dicho conjunto debe cumplir con varias características, como es el caso de:

- La geometría.
- Transferencia de calor.
- Tolerancias.
- Temperaturas de trabajo, entre otras.
- Garantizar que los detalles superficiales que se desea obtener en el producto termoformado sean visibles y no distorsionados.

A continuación, se realiza el diseño concurrente para la obtención de las especificaciones con las cuales debe cumplir la matriz, basándose en dos modelos más de termoformadoras mecánicas comerciales y proponiendo un diseño simple propio pero que cumpla con el tema del proyecto.

#### **2.1.1. Benchmarking**

En el mercado internacional se cuenta con algunos distribuidores de máquinas termoformadoras las cuales ofrecen diferentes características pero que se centran más para una producción en masa gracias a sus sistemas electrónicos y neumáticos semiautomatizados. Las competencias tomadas para la casa de la calidad se exponen a

continuación junto a sus características, descripciones y especificaciones más significativas:

### Competidor A “Hao Bang Machine”



Figura 2. 1. Competencia A “Rotary cup type mask machine”.  
(Fuente: [29])

#### Especificación técnica:

- Fabricante: Haobang.
- Denominación del bien o servicio: Turntable cup mask making machine.
- Denominación técnica de bien o servicio: Rotary cup type mask machine HB-KZ009.
- Familia a la que pertenece el bien o servicio: Ultrasonic mask making.

#### Descripción general:

- Tipo: Máquina de máscara tipo taza giratoria.
- Modelo: HB-KZ009.
- Capacidad: 15-25 pcs/min.
- Logo: HB.

#### Características principales:

- Dimensiones: 850 x 850 x 1750 mm.
- Peso neto: 530 kg.

#### Características del motor:

- Tensión: 220 V/380 V.

- Potencia: 5 kW.

Instrumentos:

- Termoformadora.
- Soldadura por vibración.

Uso para:

- Termoformado y corte de mascarillas.

Lugar de procedencia:

- Shenzhen o Guangzhou.

Garantía:

- 1 año de garantía y soporte técnico.

Precio Referencial:

- US \$ 3800.

### Competidor B “SIMAQ”



Figura 2. 2. Competencia B “N95 Mask Thermoforming Machine”.  
(Fuente: [30])

Especificación técnica:

- Fabricante: SKR.
- Denominación del bien o servicio: Cup-Type Mask Forming Machine.
- Denominación técnica de bien o servicio: Cup-Type Mask Thermoforming Machine N95 Mask Therm.
- Familia a la que pertenece el bien o servicio: N95 Mask Thermoforming Machine.

Descripción general:

- Tipo: Máquina termoformadora de mascarillas N95 tipo copa.
- Modelo: SKR-CMM01.
- Capacidad: 48 pcs/min.
- Logo: SKR.

Características principales:

- Calentamiento: matriz superior 3000 W + matriz inferior 2200 W.
- Presión de aire: 5 kg/cm<sup>2</sup>.

Características del motor:

- Tensión: 220V.
- Potencia: 2,2 kW.

Uso para:

- Termoformado de mascarillas.

Lugar de procedencia:

- Shenzhen, China.

Garantía:

- 1 año de garantía.

Precio Referencial:

- US \$ 9700-10000.

Hay que recordar que ambas máquinas, al ser procedentes de un país extranjero, pueden requerir un costo adicional para el envío e impuestos.

### **2.1.2. Casa de la calidad**

Las especificaciones técnicas de la máquina son determinadas empleando la herramienta QFD (ANEXO III) que tiene como objetivo principal establecer los requerimientos y deseos del cliente respecto al producto esperado.

### **2.1.3. Voz del Usuario**

Se obtuvo la información para poder satisfacer los requerimientos de los manuales de termoformado: Universal Plastics [22], SPE Thermoforming [23], Multifab Corporation [24] y Christopher Manufacturing [25], que están enfocados en el diseño de matrices para termoformado, y de otras características propuestas por algunos encargados del Laboratorio de Máquinas Herramientas, entre estas están:

- El equipo debe ser manual.
- Debe ser de material duradero para volúmenes de producción medio-alto.
- El material debe ser fácil de conseguir.
- Debe ser cómodo y fácil de usar.
- Debe ser estable.
- El diseño de los moldes debe permitir formar las mascarillas que cumplan con las dimensiones de productos genéricos en el mercado.
- Que requiera poco mantenimiento.
- El diseño debe ofrecer una matriz económica.

### **2.1.4. Voz del Ingeniero**

Los requerimientos del 2.1.3 se traducen en las siguientes características técnicas:

- Funcionamiento manual.
- Hecho a base de material resistente y comercial.
- Ligero y simple.
- Presentar estabilidad.
- Mascarillas de talla estándar para el ciudadano promedio de Quito.
- Elementos que requieran rápido mantenimiento preventivo.
- Diseño eficiente.

Por lo que se empieza a especificar de manera técnica la mayoría de estos parámetros:

#### **2.1.4.1. Dimensiones del área de trabajo**

Para obtener un conjunto de moldes positivo y negativo que permitan obtener un producto final con la geometría deseada y con los detalles superficiales requeridos, es necesario dimensionar correctamente dicho conjunto, ya sea para que el producto a obtener cumpla con las medidas finales, para garantizar que la separación entre moldes permitirá obtener detalles superficiales deseados en el producto, así como también para facilitar el desmolde o evitar variaciones en las dimensiones por contracción del material; en primer lugar se establecerá el área de trabajo con la cual debe contar el conjunto de moldes.

#### **Dimensiones de la mascarilla**

Las dimensiones de las mascarillas disponibles en el mercado son variadas ya que las mismas están disponibles para usuarios de distinta complejión física, marca, tipo de fabricación y material; sin embargo, para el presente trabajo se considera como punto de partida a los productos (mascarillas N95) ofrecidos por el grupo industrial 3M, el cual es fabricante de productos como: mascarillas, respiradores y ventiladores; además, esta empresa multinacional estadounidense posee una sede en el Ecuador.

3M presenta diferentes tipos de mascarillas desechables N95, entre estos están: las de uso general, para soldar, las de especialidad y las del sector de salud, varias con tecnologías muy interesantes pero se escoge solo a 3 como referencia de su amplio catálogo de mascarillas, esto porque todas presentan dimensiones similares por su talla única o general (standard size cubre aproximadamente 4.825" de alto x 5.25" de ancho de la cara) y también porque estas tres en especial se realizan mediante el proceso de termoformado como se lo muestra en la página de Made-In-China [31].

Las 2 primeras son mascarillas de uso general (la 8511 y la 8210) y la otra del sector de salud que se puede considerar como quirúrgica (la 1860), las tres cumplen su función de cubrir y proteger el rostro de las personas.

En base a la Figura 2. 3 la cual define las zonas predominantes a considerar para dimensionar una mascarilla, y según datos de vendedores como se lo muestra en la página de venta de producto e insumos Made-In-China [31] se tiene de medidas de ancho, largo y alto, las cuales son: 6, 12.5, 10.5 cm aproximadamente. Obteniendo así las dimensiones referenciales requeridas para la mascarilla a fabricar.

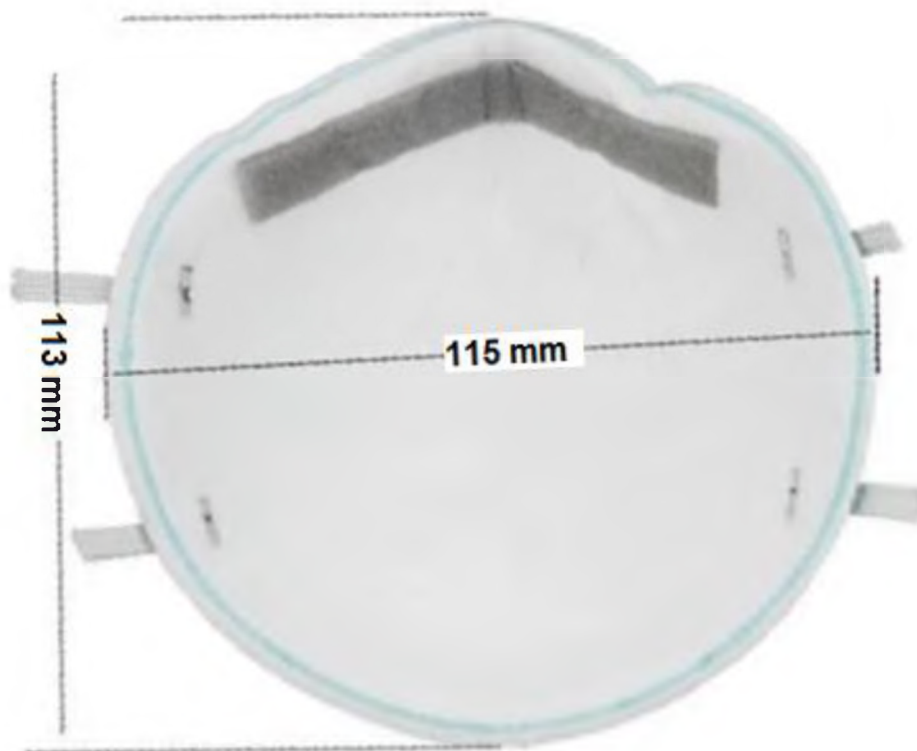


Figura 2. 3. Medidas de mascarillas 3M 1860 de tamaño regular.  
(Fuente: [31])

Según A. Capritto [15] se aprecia la importancia y ventajas que presenta la N95 frente a su rival china KN95 y coreana KF94, la principal característica es su aprobación por la NIOSH o Instituto Nacional de Seguridad y Salud Ocupacional de USA, la cual se consigue a través de una rigurosa inspección con fin de que cumpla con la protección contra patógenos en el aire.

#### **2.1.4.2. Temperatura y presiones de trabajo para termoformado de mascarillas**

En la industria el proceso más empleado y el más económico para la fabricación de mascarillas es el termoformado, el mismo que admite una serie de materiales para trabajar bajo este procedimiento; para determinar el rango de temperaturas adecuado para el conformado de mascarillas es importante conocer el o los materiales con los cuales se va a trabajar ya que de las propiedades que estos presenten dependerá la temperatura de trabajo; una mascarilla básica la cual será considerada para el desarrollo del presente trabajo está constituida de láminas de polipropileno y de poliéster como se lo muestra en la página de venta de producto e insumos Made-In-China [31] las cuales cumplen una función distinta mismas que son:



- Una capa de polipropileno para conformar la cara externa de la mascarilla.
- Un filtro de polipropileno o poliéster termoadhesivo.
- Una capa de poliéster termoadhesivo para la capa interna.

Se eligen capas termoadhesivas que cuentan con partículas adhesivas, para que la mascarilla resultante quede estable y rígida y no se separen las capas de material ya que no se cuenta con las máquinas complementarias que son la selladora de ultrasonido y la cortadora.

Por lo tanto, al considerar los materiales previamente descritos se puede concluir que los mismos son de naturaleza polimérica y por ende son termoformables; a continuación, en Tabla 2. 1, se presentan dos polímeros empleados en la industria, y que son los materiales para usarse en las mascarillas de este trabajo. Las temperaturas de trabajo a las cuales se termoforma el polipropileno se encuentra un poco por debajo que las del poliéster, por lo que se regirá bajo el rango del polipropileno para evitar daños en el material. También hay que tomar en cuenta la presión ejercida, ya que de esta dependen los rangos de temperaturas de trabajo, que en este caso se busca usar solo el peso de los moldes, por lo que se requerirá un rango de temperaturas cercano al rango de fusión. Finalmente se calcula la energía requerida para termoformar el material de la mascarilla por lo que se usa (1), obtenida de Y. Cengel [16]:

$$Q_{req} = m \times c_p \times (\Delta T) \quad (1)$$

Dónde:

$Q_{req}$ : Calor requerido (kJ).

$c_p$ : Calor específico del material (kJ/kg K).

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas (K).

m: Masa del material (kg).

Tabla 2. 1. Temperaturas para termoformado de materiales poliméricos.

Materiales	Temperaturas de deflexión al calor [°C]			Temperaturas de termoformado [°C]	Temperatura de fusión [°C]
	A 264 PSI	A 66 PSI	SIN CARGA		
Polipropileno (PP)	55-65	110-115	140	145-200	160-180
Poliéster (PET)	-			175-200	256-265

(Fuente: [14, p.8], [46, p. 40])

### **2.1.4.3. Material del molde**

El material del cual deberá estar conformado el conjunto de moldes debe cumplir con ciertos requerimientos los cuales son:

- No deformarse a la temperatura de trabajo: de esta forma se garantiza que el producto termoformado cumplirá con las dimensiones deseadas.
- Alta durabilidad: al ser el termoformado un proceso repetitivo dependiendo del volumen de producción, se debe contar con un material que conserve su forma mecanizada luego de varios ciclos de trabajo.
- Ligero: de esta forma se contará con un molde fácil de manipular y evitará el desgaste físico del operador.
- Fácil de mecanizar: es uno de los parámetros más importantes en cuanto a la fabricación de moldes para matrices; ya que, de esta forma se garantiza que el proceso de construcción de estos sea fácil y consuma menos recursos tanto económicos, así como también por parte de la maquinaria con la cual se mecaniza.
- Económico: es un requerimiento de menor peso siempre y cuando la producción sea en serie; es decir que el costo del material de la matriz sea mucho menor en comparación a la utilidad que se tendría por el producto final; además de que en varias ocasiones el mejor material es el más costoso.
- Permitir una buena transferencia de calor: el material elegido debe tener una buena conductividad térmica; esto básicamente para permitir disipar el calor a través de toda su superficie evitando así la concentración de este en una sola zona y generando así daños en el material o a su vez un termoformado ineficiente.

Las características previamente expuestas son las que debe cumplir el material con el cual se constituya la matriz y han sido analizadas dependiendo de los requerimientos del proceso de termoformado.

### **2.1.4.4. Ensamble de la matriz**

El ensamble de todos los componentes es uno de los aspectos de los cuales depende conseguir un producto acorde a lo esperado; para lo cual se debe cumplir lo siguiente:

- Mantener el centrado entre moldes positivo y negativo: de esta forma se evitan posibles distorsiones sobre el material a conformar

- Fácil cierre y apertura del conjunto de moldes: mediante este requerimiento se puede reducir tiempos de producción.
- Rígido: de esta forma se podrá evitar posibles vibraciones durante el proceso de termoformado.
- Uniformidad de conformado: es decir debe permitir aplicar uniformemente la fuerza de termoformado con la finalidad de conseguir una pieza conformada correctamente.

Considerando cada uno de estos requerimientos será necesaria la construcción de una estructura que cumpla con estas especificaciones.

### **2.1.5. Resultados y conclusiones de la Casa de la Calidad**

En el ANEXO III, se muestra la casa de la calidad la cual fue elaborada considerando los aspectos propuestos por Carles Riba en su texto que habla del diseño concurrente. Para el proyecto planteado se modificó algunas especificaciones o ideas que se tuvo al inicio, como la talla para quienes estaba dirigido, en la columna de producto propio se ha optado por colocar una valoración de 1 en todos los parámetros ya que no se cuenta con ningún equipo o producto elaborado con anterioridad y como no se sabe cómo va a ser, entonces se asumen que empieza con la peor calificación.

El diseño básico de la termoformadora mecánica debe ser claro y conciso, debido a que debe brindar facilidad de uso. Los requerimientos del cliente son factibles y alcanzables para ser traducidos como la voz del ingeniero. Las correlaciones existentes en los criterios de la voz del ingeniero se relacionan positivamente en su mayoría lo cual indica que el diseño cumpliría con la mayoría de estos. Las competencias cumplen medianamente con los valores referenciales que busca el usuario, lo que permite concluir que el producto desarrollado presentará iguales o mejores características y prestaciones que los mismos, además de que en el país no existen fabricantes directos de esta clase de productos aún.

### **2.1.6. Especificaciones Técnicas**

Luego de analizar las variables anteriores se puede conocer ciertos requerimientos iniciales los cuales son la base para iniciar con el diseño de la matriz ya que, mediante dichas especificaciones que se muestran en Tabla 2. 2, se puede seleccionar la forma general de

la matriz, el medio de calentamiento, el material y las alternativas de estructura para su posterior montaje.

Tabla 2. 2. Especificaciones técnicas de la máquina.

<b>Empresa cliente:</b> <b>Laboratorio de Máquinas</b> <b>Herramientas EPN</b>		<b>Producto:</b> <b>Matriz de</b> <b>termoformado</b>		<b>Fecha inicial: 18/01/2021</b>
<b>Empresa de ingeniería:</b> <b>EPN</b>		<b>mecánico para</b> <b> mascarillas</b>		<b>Fecha de la última revisión:</b> <b>30/03/2021</b>
<b>Especificaciones</b>				
<b>Concepto</b>	<b>Fecha</b>	<b>Propone</b>	<b>R/D</b>	<b>Descripción</b>
Función	15/12/2020	C	R	Termoformar mascarillas
	22/12/2020	C	R	Proceso netamente manual o sin automatizar
	22/12/2020	D	R	Fácil uso, moldes alineados, fácil apertura y cierre
	18/01/2021	I	NR	Temperatura de trabajo aprox.: >100°C
Dimensiones	18/01/2021	I	NR	Área de trabajo para la mascarilla: 180 mm x -180 mm aprox.
Energía	22/12/2020	C	R	Accionamiento manual
Materiales	22/12/2020	C+D+I	R	Durable, ligero, económico, fácil mecanizado, no deformable a la temperatura de trabajo, buen conductor térmico
	22/12/2020	C+F+D	D	Moldes de aluminio o acero
	22/12/2020	C+F+D	D	Estructura de acero comercial
Fabricación y montaje	15/12/2020	C	D	Uso de los equipos del Laboratorio de Máquinas Herramientas.
Vida útil y mantenimiento	18/01/2021	D+I	D	En operación: 10 años
Costes y plazos	15/12/2020	C+I	R	Plazo 8 meses

(Propone: D = Diseño; F = Financiación; C = Cliente; I = Ingeniería  
R/D: R = Requerimiento; NR = Nuevo requerimiento; D = Deseo; ND = Nuevo deseo)  
(Fuente: Propia)

### 2.1.7. Análisis Funcional

Aquí se analizan todas las consideraciones que se pueden tener con el objetivo de dividir los problemas que se efectúan dentro de un mecanismo y así facilitar las soluciones a través de la visualización de los problemas como se lo puede ver en la Figura 2. 4, y en la Figura 2. 5 se puede ver el diagrama funcional dividido por niveles, en este caso solo se llega a un nivel 1, debido a que no se plantea llegar a un sistema automatizado.

## Desarrollo de los diagramas funcionales

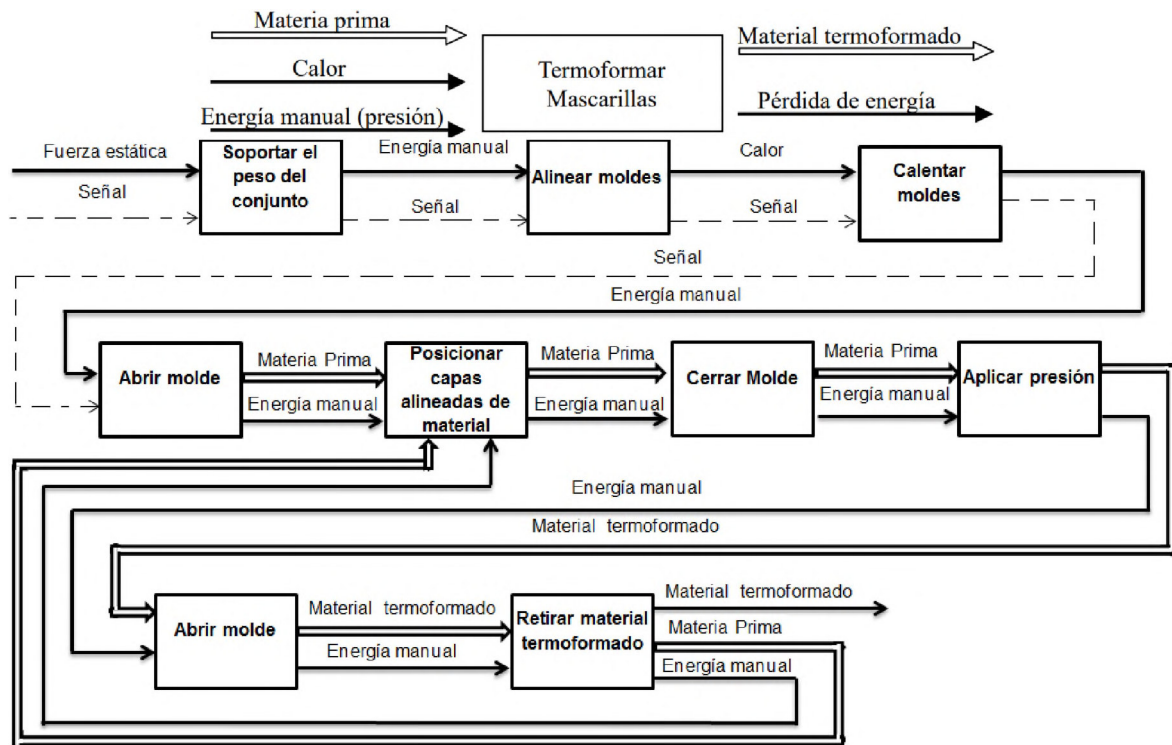


Figura 2. 4. Análisis Funcional.  
(Fuente: Propia)

## Análisis del diagrama funcional

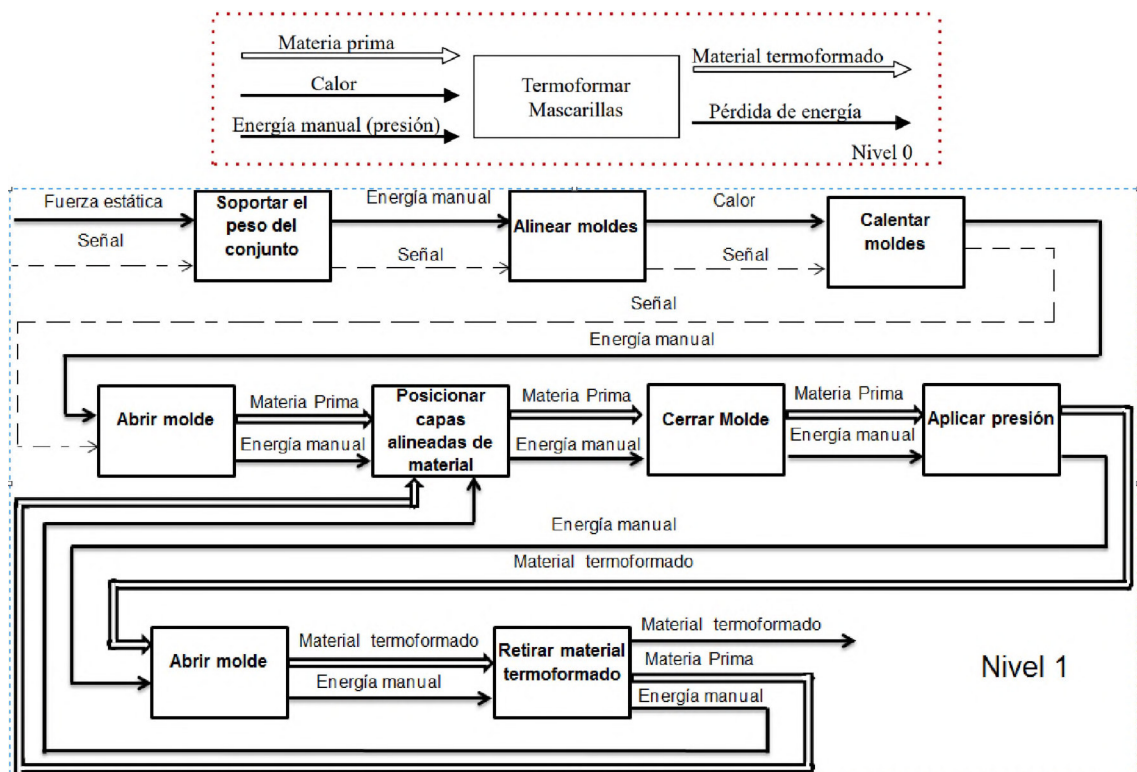
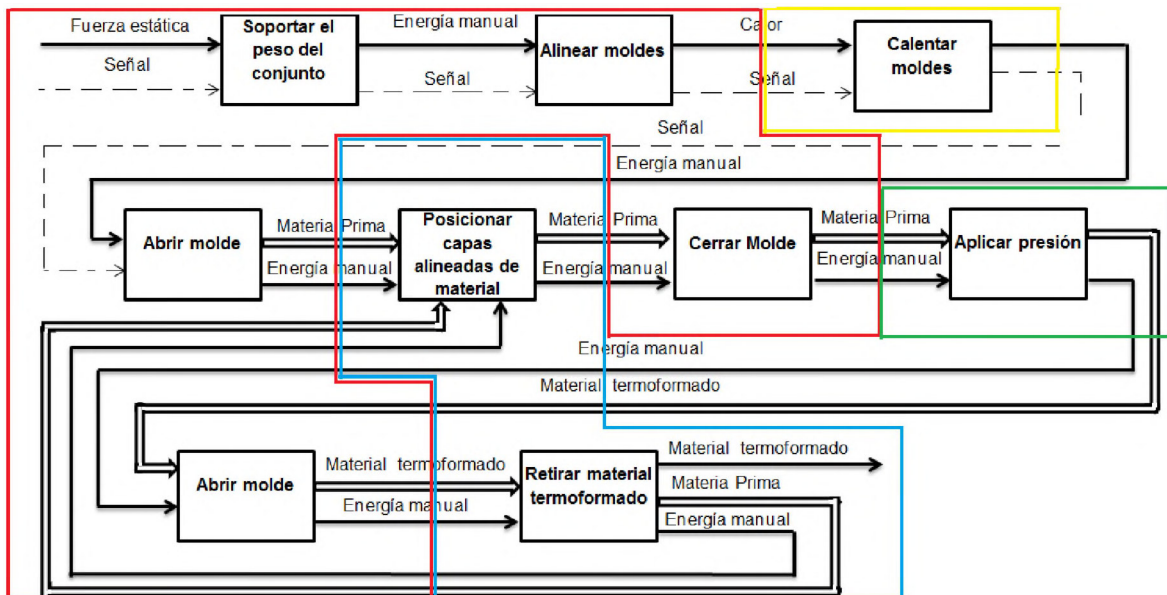


Figura 2. 5. Análisis Funcional separado por niveles.  
(Fuente: Propia)

### 2.1.8. Módulos

Este apartado consiste en aplicar el modularidad que consiste en dividir en varios bloques (módulos) funcionales (ver Figura 2. 6), “cada bloque o módulo es el encargado de realizar una o más funciones específicas, para las cuales se busca establecer diversas alternativas a ser posteriormente comparadas y evaluadas objetivamente” según I. Zambrano [32]. Estos tienen como objetivo de promover el ingenio y la creatividad, reducir los costos y mejorar la calidad, obtener una mejor fiabilidad del producto y simplificar el mantenimiento.



Módulo 1	<span style="border: 2px solid red; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	Estructura y estabilidad
Módulo 2	<span style="border: 2px solid blue; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	Funcionalidad
Módulo 3	<span style="border: 2px solid yellow; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	Adición de calor
Módulo 4	<span style="border: 2px solid green; display: inline-block; width: 100px; height: 15px;"></span>	Conformado

Figura 2. 6. Análisis Funcional separado por módulos.  
(Fuente: Propia)

Como se puede observar en la Figura 2.6, se tendrá 4 módulos lo cuales se los mostrará individualmente a continuación:

## Módulo 1 (M1)

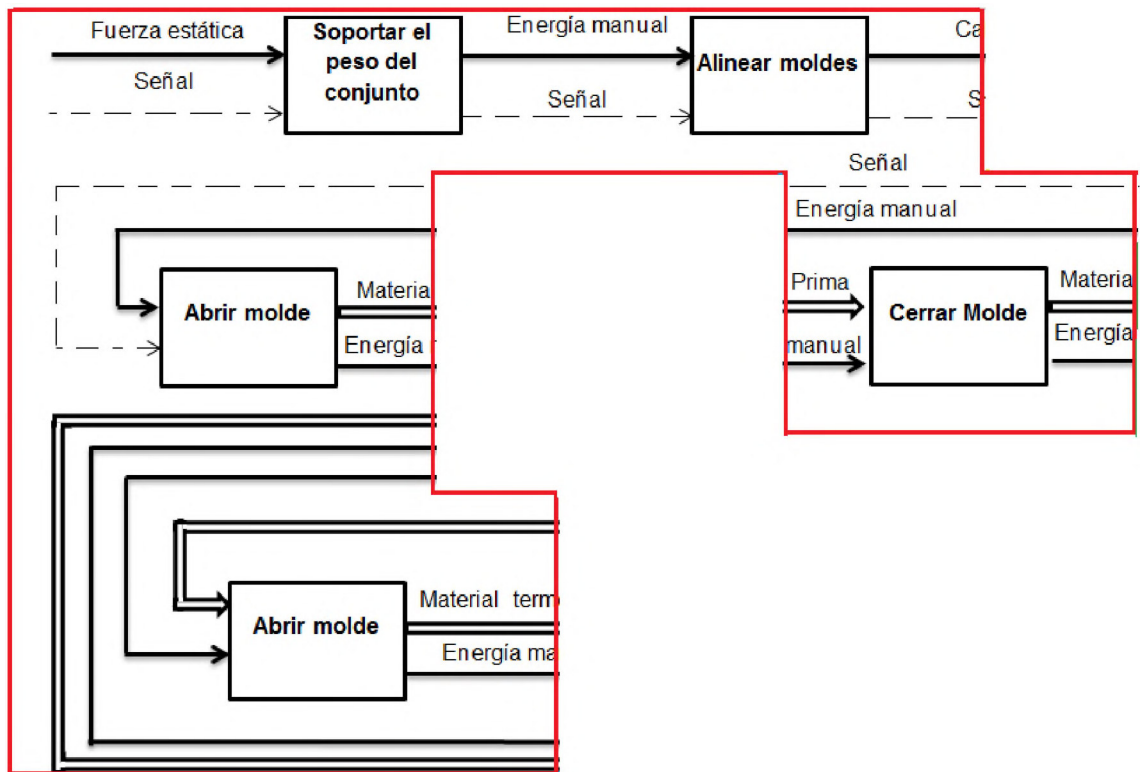


Figura 2. 7. Módulo 1 (M1).  
(Fuente: Propia)

## Módulo 2 (M2)

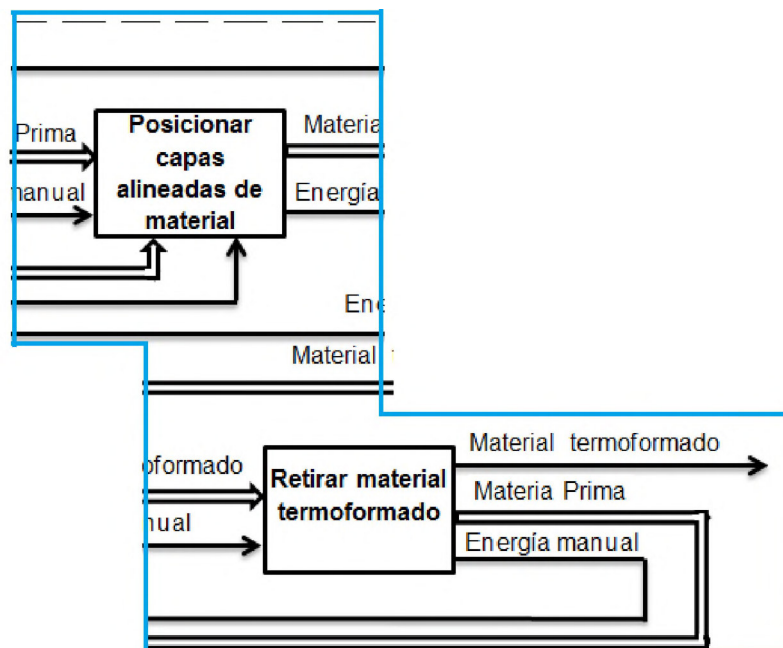


Figura 2. 8. Módulo 2 (M2).  
(Fuente: Propia)

### Módulo 3 (M3)

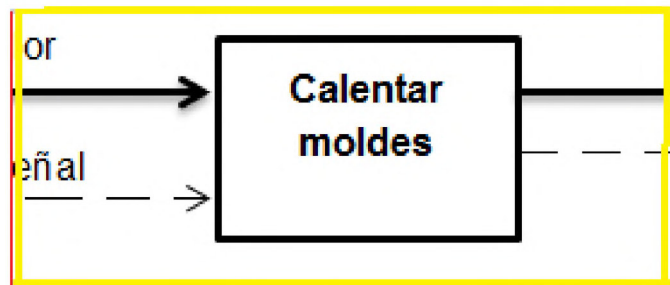


Figura 2. 9. Módulo 3 (M3).  
(Fuente: Propia)

### Módulo 4 (M4)

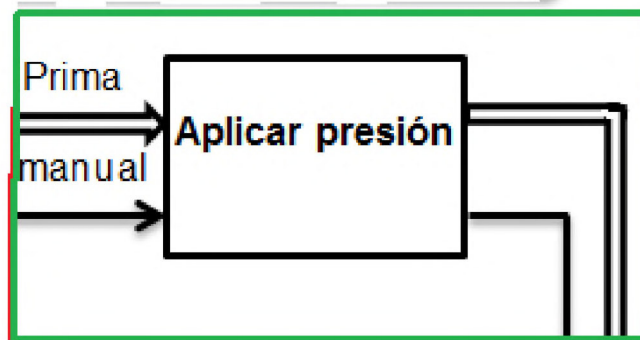


Figura 2. 10. Módulo 4 (M4).  
(Fuente: Propia)

## 2.2. Planteamiento de alternativas

De acuerdo con las distintas necesidades presentes en el problema para solventar, se muestran las posibles soluciones especificando sus respectivas ventajas y desventajas, para que a través de la evaluación se pueda escoger la opción más conveniente en cada módulo.

### 2.2.1. Alternativas Módulo 1 (M1)

De acuerdo con la Figura 2. 7, este módulo cumple con la función de:

- Soportar el peso del conjunto.
- Alinear moldes.
- Abrir molde y cerrar molde.



De esta forma se realiza el proceso de planteo de soluciones de manera ordenada y controlada.

### **2.2.1.1. Soluciones y matriz morfológica para M1**

Las soluciones se presentan según la función:

#### **Soportar el peso del conjunto**

Estructura con moldes de aluminio y un eje perpendicular a la base (ver Figura 2.11):



Figura 2. 11. Estampadora con estructura giratoria.  
(Fuente: [36])

#### **Ventajas:**

- Tiempo de fabricación de los moldes en aluminio es menor en comparación a los de acero, según los cálculos hechos con las ecuaciones de SANDVIK [33].
- Aluminio presenta un mayor coeficiente de conductividad térmica en comparación al acero, por lo que se calentará tres a cuatro veces más rápido, como se muestra en las tablas de Plastiglas [14].

- Las fresas para desbaste y acabado llegar a ser más económicas para trabajar en aluminio, según el catálogo de DAVICOM [34].
- Los moldes de aluminio son 3 veces más ligeros que los de acero por lo que se puede adoptar este tipo de estructura mostrada en la Figura 2.11.
- Su uso se da para fines académicos o volumen de producción medio.

#### Desventajas:

- Los moldes de aluminio tienen un costo mayor dentro del mercado local según el catálogo de DAVICOM [34].

Estructura con moldes de acero y ejes de soporte perpendiculares a la base (ver Figura 2.12):



Figura 2. 12. Termoformadora FormBox Mayku.  
(Fuente: [35])

#### Ventajas

- La materia prima para los moldes de acero es más barata que los de aluminio, aproximadamente un 60% más barato en el mercado local, según el catálogo de DAVICOM [34].
- Su uso se da para fines industriales o volumen de producción alto.

#### Desventajas

- Tiempo de fabricación mayor con respecto a la opción ya mencionada anteriormente.
- El molde de acero tardará más en calentarse según las tablas de Plastiglas [14].

- Las fresas para desbaste y acabado llegar a ser más caras, debido que para trabajar con acero se necesita fresas de carburo de tungsteno, lo cual presentan tres veces más el costo de las fresas para trabajar en aluminio, según el catálogo de DAVICOM [34]. Y si existe algún percance, estas serían un rubro muy caro al momento de adquirir un reemplazo o repuesto.

### Alinear moldes

Marcas (ver Figura 2.13):

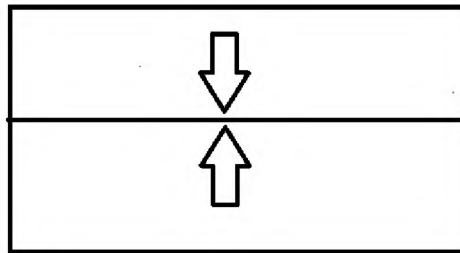


Figura 2. 13. Alineamiento de moldes mediante marcas.  
(Fuente: Propia)

Ventajas:

- Solo ocupan costo de operación.
- Se los maquina en los mismos moldes.

Desventajas:

- Poca confiabilidad, sino no se los ve puede que se acoplen de mala manera los moldes.

Ensambladura o unión por encaje tipo caja y espiga (ver Figura 2.14):

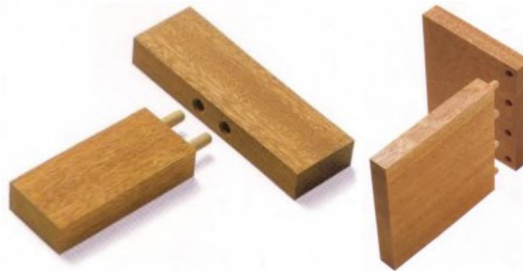


Figura 2. 14. Caja y espiga.  
(Fuente: [37])

Ventajas:

- Mayor operatividad.

- Si se usan más de dos, podrán indicar una única manera posible para el acople de ambos moldes.

Desventajas:

- Pueden llegar a ser muy frágiles por su geometría.

### **Abrir y Cerrar el molde**

Palanca (ver Figura 2.15):



Figura 2. 15. Palancas de termofijadoras.  
(Fuente: [36])

Ventajas:

- Se puede trabajar con una sola mano.
- Facilita la aplicación de presión al generarse un mayor momento.

Desventajas:

- Si el molde es pesado puede dificultar la manipulación con una sola mano.

Doble mango (ver Figura 2.16):

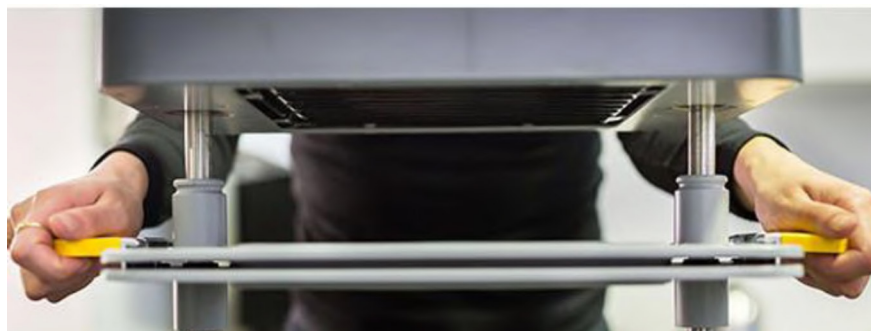


Figura 2. 16. Termoformadora FormBox Mayku.  
(Fuente: [35])

Ventajas:

- No influye en la desalineación del material a termoformar.

Desventajas:

- Se requiere trabajar con ambas manos.

### Matriz morfológica M1

La matriz busca combinar soluciones que cumplan con las funciones globales, según I. Zambrano [32]. En el caso del módulo 1 se tiene la Tabla 2. 3.

Tabla 2. 3. Matriz morfológica M1.

Función	Componente	
Soportar el peso del conjunto	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Estructura con moldes de aluminio y un eje perpendicular a la base</b> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Estructura con moldes de acero y ejes de soporte perpendiculares a la base</b> </div>
Alinear moldes	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Marcas</b> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Ensambladura o unión por encaje tipo: caja y espiga</b> </div>
Abrir y cerrar molde	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Doble mango</b> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center; background-color: #92d050; margin-top: 5px;"> <b>Alternativa 2</b> </div>	<div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center;"> <b>Palanca</b> </div> <div style="border: 1px solid black; border-radius: 15px; padding: 5px; text-align: center; background-color: #4a7ebb; color: white; margin-top: 5px;"> <b>Alternativa 1</b> </div>

(Fuente: Propia)

#### 2.2.1.2. Evaluación y selección del M1

Para determinar cuál es la alternativa más beneficiosa, se utiliza el método de criterios ponderados. A continuación, se detallan los criterios de valoración más importantes para el módulo 1:

- Costo (Menor costo es mejor para el proyecto en lo referente a los moldes cuyo precio es el mayor rubro dentro de la estructura en sí).
- Peso (Menor peso es beneficioso ya que influye en los cálculos de los elementos mecánicos que se requerirán).

- Conductividad térmica (Capacidad de calentarse en menor tiempo).
- Durabilidad (Capacidad de realizar la función varias veces sin mostrar un deterioro que impida que siga cumpliendo con dicha función).
- Maquinabilidad (Facilidad con la que los moldes pueden ser mecanizados por arranque de viruta, en lo referente a tiempo y accesorios “fresas”).

La evaluación de los criterios y módulos se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 2. 4. Funciones y componentes para M1.

Criterio	Costo	Peso	Conduc-tividad	Dura-bilidad	Maquina-bilidad	Σ+1	Ponde-ración
Costo		0,5	0	0	0	1,5	0,1
Peso	0,5		0	0	0	1,5	0,1
Conductividad	1	1		0,5	1	4,5	0,3
Durabilidad	1	1	0,5		1	4,5	0,3
Maquinabilidad	1	1	0	0		3	0,2
Total						15	1

(Fuente: Propia)

A partir del análisis de criterios se obtiene lo siguiente:

Conductividad=Durabilidad>Maquinabilidad>Costo=Peso

A continuación, se evalúa las 3 alternativas de acuerdo con cada criterio:

Tabla 2. 5. Evaluación de alternativas con respecto a la conductividad para M1.

Conductividad	Alternativa 1	Alternativa 2	Σ+1	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1>Alternativa 2

Tabla 2. 6. Evaluación de alternativas con respecto a la durabilidad para M1.

Durabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Σ+1	Ponderación
Alternativa 1		1	1	0,33
Alternativa 2	0		2	0,67
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2>Alternativa 1

Tabla 2. 7. Evaluación de alternativas con respecto a la maquinabilidad para M1.

Maquinabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,66
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1>Alternativa 2

Tabla 2. 8. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M1.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,66
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2>Alternativa 1

Tabla 2. 9. Evaluación de alternativas con respecto al peso para M1.

Peso	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,66
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1>Alternativa 2

Finalmente, se presenta la Tabla de conclusiones de alternativas para M1

Tabla 2. 10. Evaluación de prioridad de alternativas para M1.

Conclusiones	Costo	Maquina- bilidad	Peso	Conduc- tividad	Dura- bilidad	$\Sigma$	Prio- ridad
Alternativa 1	0,03	0,13	0,07	0,20	0,10	0,53	1
Alternativa 2	0,07	0,07	0,03	0,10	0,20	0,47	2

(Fuente: Propia)

Por consiguiente, según la Tabla 2. 10, la solución más ajustada con los criterios de evaluación y el diseño es la alternativa 1, que usa moldes de aluminio, uniones por encaje

y una palanca, que, a pesar de ser una opción más cara por la materia prima, al final va a ser la más conveniente por las propiedades que ofrece.

### **2.2.2. Alternativas Módulo 2 (M2)**

De acuerdo con la Figura 2. 8, este módulo cumple con la función de:

- Posicionar capas alineadas de material.
- Retirar material termoformado.

De esta forma se realiza el proceso de planteo de soluciones de manera ordenada y controlada.

#### **2.2.2.1. Soluciones y matriz morfológica para M2**

Las soluciones se presentan según la función:

##### **Posicionar capas alineadas de material**

Cara cuadrada y forma prismática (ver Figura 2.17):

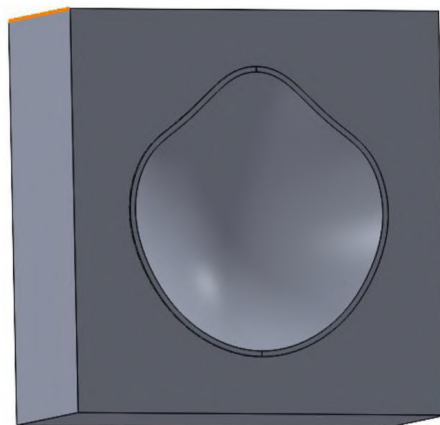


Figura 2. 17. Matriz cara cuadrada.  
(Fuente: [Propia])

Ventajas:

- Posee aristas rectas que facilita el alineamiento de las capas de material.
- Ya existe en el mercado materia prima con esta configuración.

Desventajas:



- Posee puntas o esquinas que pueden ser filosas para el operario.
- El costo en el mercado según el catálogo de DAVICOM [34] llega a ser hasta del doble que la opción de cara circular.

Cara circular y forma cilíndrica (ver Figura 2.18):



Figura 2. 18. Matriz cara circular.  
(Fuente: [Propia])

Ventajas:

- No posee puntas filosas.
- De las 3 opciones, esta tiene el precio más accesible según el catálogo de DAVICOM [34],
- Ya existe en el mercado materia prima con esta configuración.

Desventajas:

- El borde no permite verificar la alineación de las capas de material.

Cara en forma de medialuna y forma cilíndrica (ver Figura 2.19):

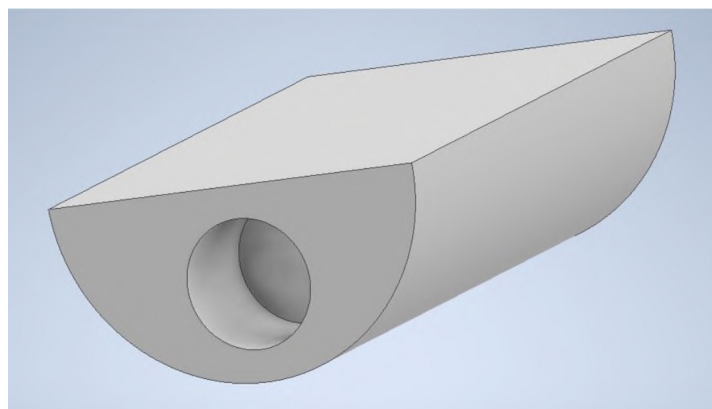


Figura 2. 19. Matriz en forma de medialuna.  
(Fuente: Propia)

Ventajas:

- Posee un solo borde para alinear el material.
- Posee características geométricas útiles de las dos alternativas anteriores.

Desventajas:

- Va a requerir maquinado para dejar un lado recto, ya que no existe materia prima con esta geometría en el mercado local.
- Su diseño parte de la alternativa anterior.


### Retirar material termoformado

La solución para esta función será simplemente retirar al material termoformado con la mano.

### Matriz morfológica M2

La matriz busca combinar soluciones que cumplan con las funciones globales, según I. Zambrano [32]. En el caso del módulo 2 se tiene la tabla 2. 11.

Tabla 2. 11. Matriz morfológica M2.

Función	Componente		
Posicionar capas alineadas de material	Cara cuadrada	Cara circular	Cara media luna
Retirar material termoformado			

(Fuente: Propia)

### 2.2.2.2. Evaluación y selección del M2

Para determinar cuál es la alternativa más beneficiosa, se utiliza el método de criterios ponderados. A continuación, se detallan los criterios de valoración más importantes para el módulo 2:

- Funcionalidad (Características que convierten a una de las opciones en la más práctica y utilitaria).
- Fiabilidad (Funciones confiables para obtención de resultados coherentes).

- Costo (Menor costo es mejor para el proyecto).
- Seguridad (Menor probabilidad de presentar daños al operario al existir alguna irregularidad en el proceso o accidentes generados por errores humanos o por contacto con las aristas filosas dadas por la forma de los moldes).

La evaluación de los criterios y módulos se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 2. 12. Funciones y componentes para M2.

Criterio	Funcionalidad	Fiabilidad	Costo	Seguridad	$\Sigma+1$	Ponderación
Funcionalidad		1	0	1	3	0,3
Fiabilidad	0		0	0,5	1,5	0,2
Costo	1	1		1	4	0,4
Seguridad	0	0,5	0		1,5	0,2
Total					10	1

(Fuente: Propia)

A partir del análisis de criterios se obtiene lo siguiente:

Costo>Funcionalidad>Fiabilidad=Seguridad

A continuación, se evalúa las 3 alternativas de acuerdo con cada criterio:

Tabla 2. 13. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M2.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		1	3	0,5
Alternativa 3	1	0		2	0,33
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2>Alternativa 3>Alternativa 1

Tabla 2. 14. Evaluación de alternativas con respecto a la funcionalidad para M2.

Funcionalidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0,5	0	1,5	0,25
Alternativa 2	0,5		0	1,5	0,25
Alternativa 3	1	1		3	0,5
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 3> Alternativa 1=Alternativa 2

Tabla 2. 15. Evaluación de alternativas con respecto a la fiabilidad para M2.

Fiabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		0	1	0,17
Alternativa 3	0	1		2	0,33
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1= Alternativa 3>Alternativa 2

Tabla 2. 16. Evaluación de alternativas con respecto a la seguridad para M2.

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		1	3	0,5
Alternativa 3	1	0		2	0,33
Total				3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2> Alternativa 3>Alternativa 1

Finalmente, se presenta la Tabla de conclusiones de alternativas para M2

Tabla 2. 17. Evaluación de prioridad de alternativas para M2.

Conclusiones	Costo	Funcionalidad	Fiabilidad	Seguridad	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1	0,07	0,08	0,08	0,03	0,24	1
Alternativa 2	0,20	0,08	0,03	0,08	0,39	3
Alternativa 3	0,17	0,07	0,07	0,7	0,38	2

(Fuente: Propia)

Por consiguiente, según la Tabla 2. 17, la solución más ajustada con los criterios de evaluación y el diseño es la alternativa 2, recordando aquí que el costo era una característica predominante.

### 2.2.3. Alternativas Módulo 3 (M3)

De acuerdo con la Figura 2. 9, este módulo cumple con la función de:

- Calentar materia prima.

De esta forma se realiza el proceso de planteo de soluciones de manera ordenada y controlada.

### 2.2.3.1. Soluciones y matriz morfológica para M3

Las soluciones se presentan según la función:

#### Calentar materia prima

Pistola de calor (ver Figura 2.20):



Figura 2. 20. Pistola Para Termoformado.  
(Fuente: [38])

#### Ventajas:

- Genera calor a distintas temperaturas.
- Permite generar aire caliente en varias direcciones deseadas.
- Incluyen mecanismos de seguridad de fábrica.
- Amplio catálogo en el mercado local.
- Se puede aplicar calor directamente al material a termoformar.
- Puede usarse para actividades ajenas al termoformado de mascarillas, ya que incluyen varios accesorios como boquillas intercambiables.

#### Desventajas:

- Se puede necesitar otro operario mientras se termoforma la mascarilla, uno para manipular los moldes y otro para usar la pistola de calor.
- Costo considerable según el modelo y la potencia manejada.

Resistencias eléctricas en la matriz (ver Figura 2.21):



Figura 2. 21. Resistencias eléctricas.  
(Fuente: [39])

Ventajas:

- El calor puede distribuirse de manera uniforme dependiendo de la configuración de la resistencia.
- Económico.
- No requiere de operarios extra para aplicar el calor.

Desventajas:

- Debe estar instalado en uno de los moldes.
- No es tan portátil a diferencia de la pistola de aire caliente.
- Requiere de elementos electrónicos para controlar la temperatura.

### Matriz morfológica M3

La matriz busca combinar soluciones que cumplan con la función global, según I. Zambrano [32]. En el caso del módulo 3 se tiene la tabla 2. 18.

Tabla 2. 18. Matriz morfológica M3.

Función	Componente	
Calentar materia prima	PISTOLA DE CALOR	RESISTENCIAS
	Alternativa 1	Alternativa 2

(Fuente: Propia)

### 2.2.3.2. Evaluación y selección del M3

Para determinar cuál es la alternativa más beneficiosa, se utiliza el método de criterios ponderados. A continuación, se detallan los criterios de valoración más importantes para el módulo 3:

- Funcionalidad (Características que convierten a una de las opciones en la más práctica y utilitaria).
- Costo (Menor costo es mejor para el proyecto).
- Uniformidad (Capacidad de calentar al material uniformemente a lo largo y ancho de todo el material).
- Independencia (No requiere de una manipulación permanente dada por el operario, o no requiere de un segundo operario para manipular el sistema de calentamiento).

La evaluación de los criterios y módulos se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 2. 19. Funciones y componentes para M3.

Criterio	Funcionalidad	Costo	Uniformidad	Independencia	$\Sigma+1$	Ponderación
Funcionalidad	1	0	0	0	1	0,1
Costo	1	1	1	0,5	3,5	0,35
Uniformidad	1	0	1	0	2	0,2
Independencia	1	0,5	1	1	3,5	0,35
Total					10	1

(Fuente: Propia)

A partir del análisis de criterios se obtiene lo siguiente:

$$\text{Costo} = \text{Independencia} > \text{Uniformidad} > \text{Funcionalidad}$$

A continuación, se evalúa las 3 alternativas de acuerdo con cada criterio:

Tabla 2. 20. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M3.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1	1	0	1	0,33
Alternativa 2	1	1	2	0,67
Total			3	1

(Fuente: Propia)

$$\text{Alternativa 2} > \text{Alternativa 1}$$

Tabla 2. 21. Evaluación de alternativas con respecto a la independencia para M3.

Independencia	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2>Alternativa 1

Tabla 2. 22. Evaluación de alternativas con respecto a la uniformidad para M3.

Uniformidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	1	0,33
Alternativa 2	1		2	0,67
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2>Alternativa 1

Tabla 2. 23. Evaluación de alternativas con respecto a la funcionalidad para M3.

Funcionalidad	Alternativa 1	Alternativa 2	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	2	0,67
Alternativa 2	0		1	0,33
Total			3	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2>Alternativa 1

Finalmente, se presenta la Tabla de conclusiones de alternativas para M3

Tabla 2. 24. Evaluación de prioridad de alternativas para M3.

Conclusiones	Seguridad	Fiabilidad	Funcionalidad	Costo	$\Sigma$	Prioridad
Alternativa 1	0,12	0,12	0,07	0,07	0,37	2
Alternativa 2	0,23	0,23	0,13	0,03	0,63	1

(Fuente: Propia)

Por consiguiente, según la Tabla 2. 24, la solución más adecuada y que más concuerda con los criterios de evaluación y el diseño es la alternativa 2, que se refiere a la resistencia eléctrica que deberá contar con controlador de temperatura que sostendrá aproximadamente la temperatura necesaria para termoformar los materiales de la mascarilla.



## 2.2.4. Alternativas Módulo 4 (M4)

De acuerdo con la Figura 2. 9, este módulo cumple con la función de:

- Aplicar presión.

De esta forma se realiza el proceso de planteo de soluciones de manera ordenada y controlada.

### 2.2.4.1. Soluciones y matriz morfológica para M4

Las soluciones se presentan según la función:

#### Aplicar presión

Las soluciones se presentan según la función:

Manual (ver Figura 2.22):



Figura 2. 22. Presión generada manualmente.  
(Fuente: [40])

Ventajas:

- No tiene costo de fabricación.

Desventajas:

- Su presión máxima se ve limitada por la fuerza del usuario, las dimensiones de la palanca y las características del molde en sí.

Neumática (ver Figura 2.23):

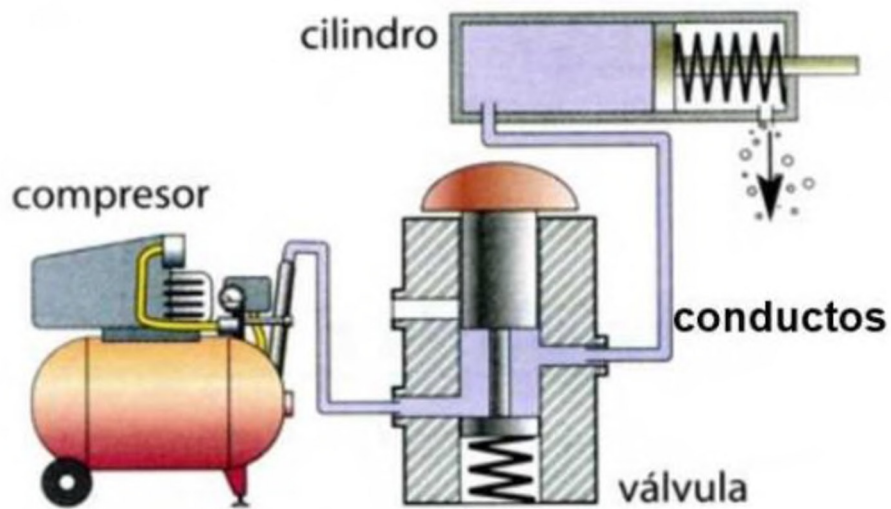


Figura 2. 23. Componentes básicos de un sistema neumático.  
(Fuente: [41])

Ventajas:

- Ofrece presiones aproximadas mayores a las presiones ejercidas manualmente (que llegan a ser aprox. 8-10 bar, según Stahls' [40]).
- Se usa preferentemente para trabajos repetitivos.

Desventajas:

- Necesita de un sistema o equipo externo, lo que indica un costo adicional.

Hidráulica (ver Figura 2.24):

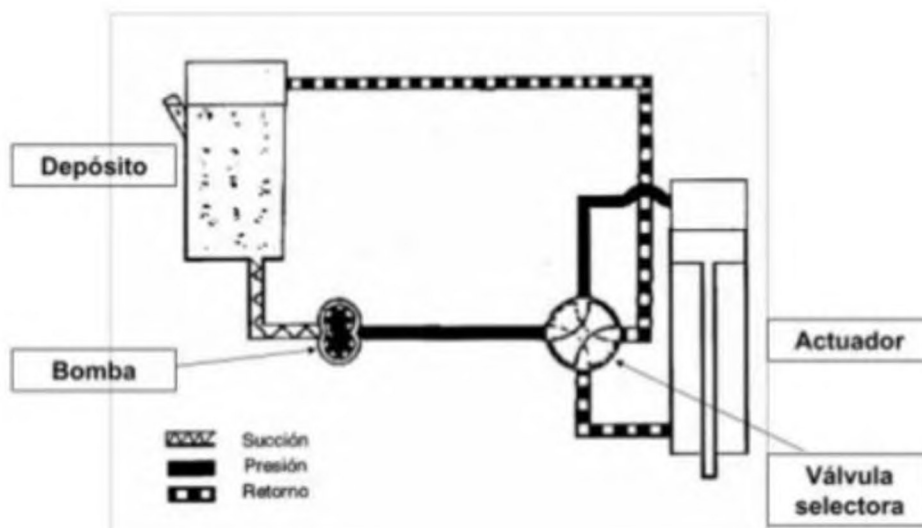


Figura 2. 24. Componentes básicos de un sistema hidráulico.  
(Fuente: [42])

Ventajas:

- Menos ruidoso que los sistemas neumáticos.
- Son los que trabajan con presiones mayores (que pueden llegar a los 35 o 45 bar según F. Zapata [41]).
- Se usa de preferencia en trabajos pesados.

Desventajas:

- Necesita de un sistema o equipo externo, lo que indica un costo adicional.

### Matriz Morfológica M4

La matriz busca combinar soluciones que cumplan con la función global, según I. Zambrano [32]. En el caso del módulo 4 se tiene la tabla 2. 25.

Tabla 2. 25. Matriz morfológica M4.

Función	Componente		
Aplicar presión	<p data-bbox="555 1066 799 1178">MANUAL</p> <p data-bbox="555 1200 799 1279">Alternativa 1</p>	<p data-bbox="847 1066 1091 1178">NEUMÁTICO</p> <p data-bbox="847 1200 1091 1279">Alternativa 2</p>	<p data-bbox="1139 1066 1383 1178">HIDRÁULICO</p> <p data-bbox="1139 1200 1383 1279">Alternativa 3</p>

(Fuente: Propia)

#### 2.2.4.2. Evaluación y selección del M4

Para determinar cuál es la alternativa más beneficiosa, se utiliza el método de criterios ponderados. A continuación, se detallan los criterios de valoración más importantes para el módulo 4:

- Durabilidad (Mayor tiempo útil de vida que puede llegar a tener).
- Funcionalidad (Características que convierten a una de las opciones en la más práctica y utilitaria).
- Costo (Menor costo es mejor para el proyecto).
- Seguridad (Menor probabilidad de presentar daños al operario al existir algún accidente generado por errores humanos o desperfectos de la maquinaria).

La evaluación de los criterios y módulos se especifica en las siguientes tablas:

Tabla 2. 26. Funciones y componentes para M4.

Criterio	Durabilidad	Funcionalidad	Costo	Seguridad	$\Sigma+1$	Pond.
Durabilidad		1	0,5	0	2,5	0,25
Funcionalidad	0		0	0	1	0,1
Costo	0,5	1		0	2,5	0,25
Seguridad	1	1	1		4	0,4
Total					10	1

(Fuente: Propia)

A partir del análisis de criterios se obtiene lo siguiente:

Seguridad>Durabilidad=Costo>Funcionalidad

A continuación, se evalúa las 3 alternativas de acuerdo con cada criterio:

Tabla 2. 27. Evaluación de alternativas con respecto a la seguridad para M4.

Seguridad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,17
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3

Tabla 2. 28. Evaluación de alternativas con respecto a la durabilidad para M4.

Durabilidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		0,5	1,5	0,25
Alternativa 3	0	0,5		1,5	0,25
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1>Alternativa 2=Alternativa 3

Tabla 2. 29. Evaluación de alternativas con respecto al costo para M4.

Costo	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		1	1	3	0,5
Alternativa 2	0		1	2	0,33
Alternativa 3	0	0		1	0,17
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 1>Alternativa 2>Alternativa 3

Tabla 2. 30. Evaluación de alternativas con respecto a la funcionalidad para M4.

Funcionalidad	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	$\Sigma+1$	Ponderación
Alternativa 1		0	0	1	0,17
Alternativa 2	1		0,5	2,5	0,42
Alternativa 3	1	0,5		2,5	0,42
Total				6	1

(Fuente: Propia)

Alternativa 2=Alternativa 3>Alternativa 1

Finalmente, se presenta la Tabla 2. 29 de conclusiones de alternativas para M4.

Tabla 2. 31. Evaluación de prioridad de alternativas para M4.

Conclusiones	Operatividad	Durabilidad	Costo	Funcionalidad	$\Sigma$	Prio.
Alternativa 1	0,2	0,125	0,125	0,02	0,47	1
Alternativa 2	0,13	0,06	0,08	0,04	0,32	2
Alternativa 3	0,07	0,06	0,04	0,04	0,21	3

(Fuente: Propia)

Por consiguiente, según la Tabla 2. 31, la solución más ajustada con los criterios de evaluación y el diseño es la alternativa 1 aplicar presión manual.

## 2.2.5. Solución Final del Sistema

Mediante el análisis de cada módulo se obtuvo el sistema más conveniente y adecuado a los requerimientos del usuario y el criterio ingenieril. En la Tabla 2. 32 se resumirá las alternativas escogidas como soluciones.

Tabla 2. 32. Evaluación de prioridad de alternativas para M4.

Módulo	Funciones	Alternativa	Descripción
1	- Soportar el peso del conjunto. - Alinear moldes. - Abrir molde y cerrar molde.	2	Estructura con moldes de aluminio y un eje perpendicular a la base.
2	- Posicionar capas alineadas de material. - Retirar material termoformado.	2	Cara circular y forma cilíndrica.
3	- Calentar materia prima.	1	Resistencia eléctrica.
4	- Aplicar Presión.	1	Manual.

(Fuente: Propia)

A continuación, en la Figura 2.25 y Figura 2. 26 se muestra el prototipo tentativo que es la unión de todos los módulos seleccionados.

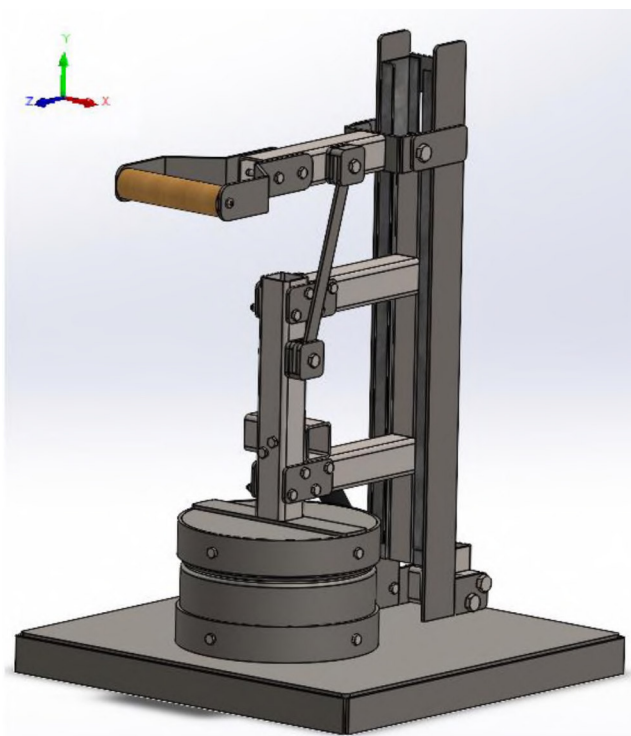


Figura 2. 25. Esquema de solución final (moldes unidos).  
(Fuente: Propia)

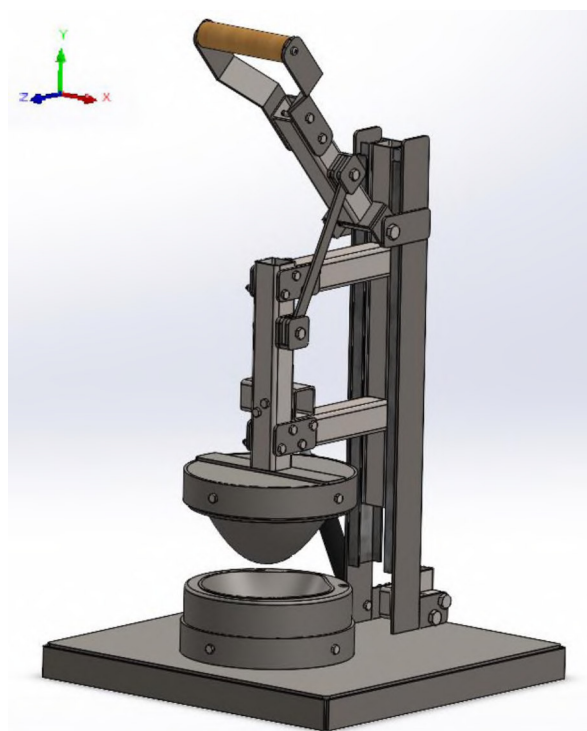


Figura 2. 26. Esquema de solución final (moldes separados).  
(Fuente: Propia)

Se presenta una descripción breve de la configuración final de la termoformadora con sus principales elementos, en las Figuras 2.27-2.30:

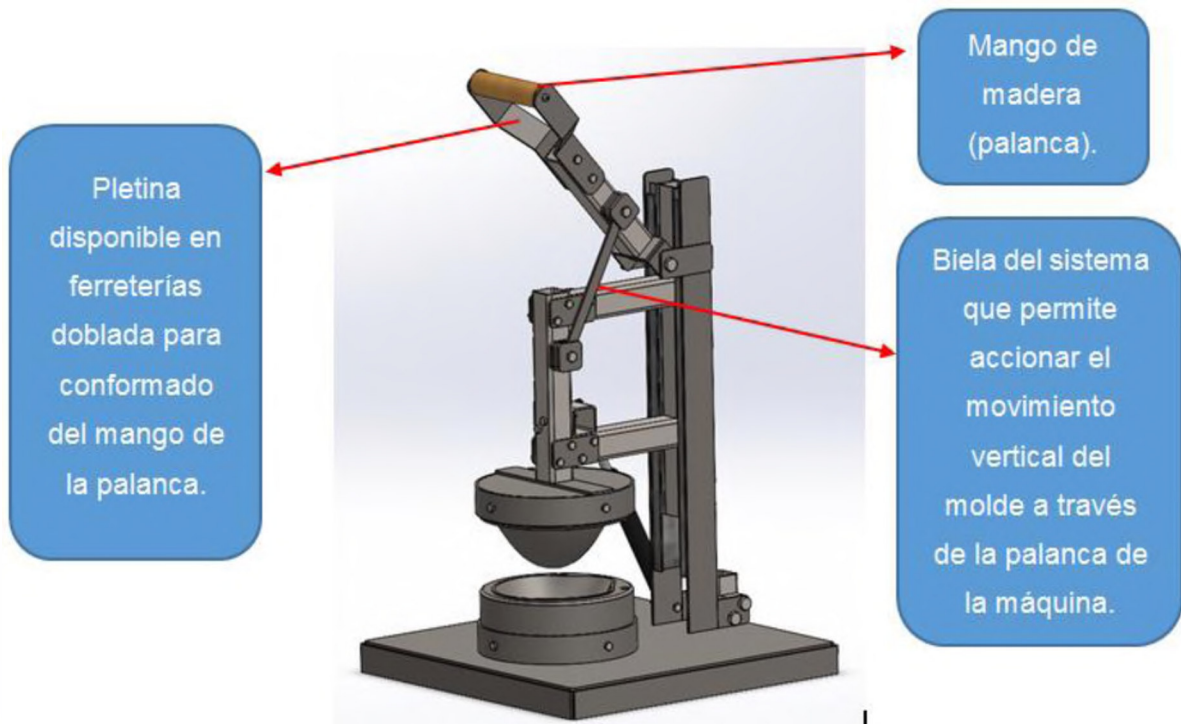


Figura 2. 27. Medios de accionamiento de la termoformadora.  
(Fuente: Propia)

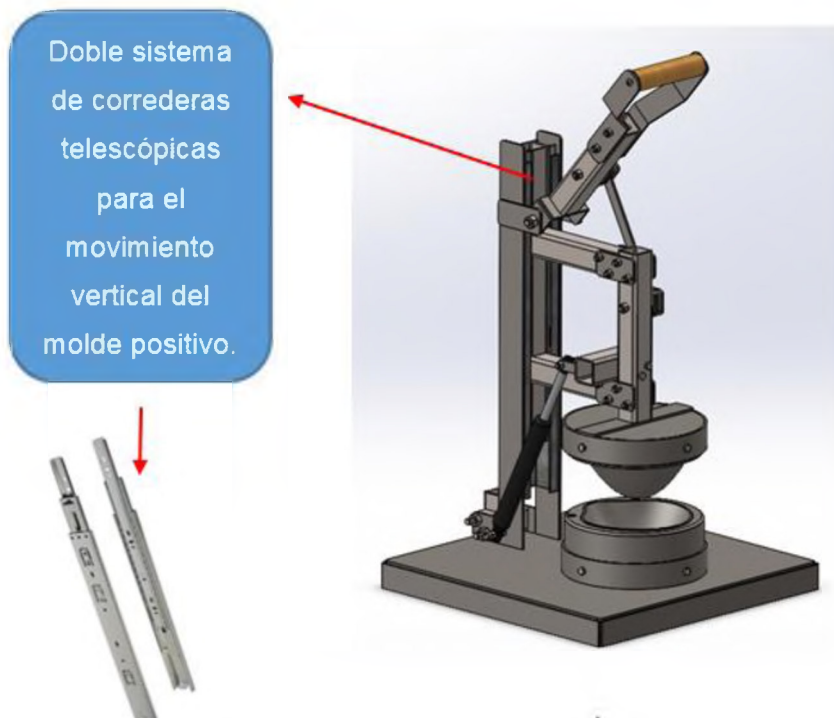


Figura 2. 28. Medios de deslizamiento de la termoformadora.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 29. Dispositivo para posicionamiento inicial de la termoformadora.  
(Fuente: Propia)

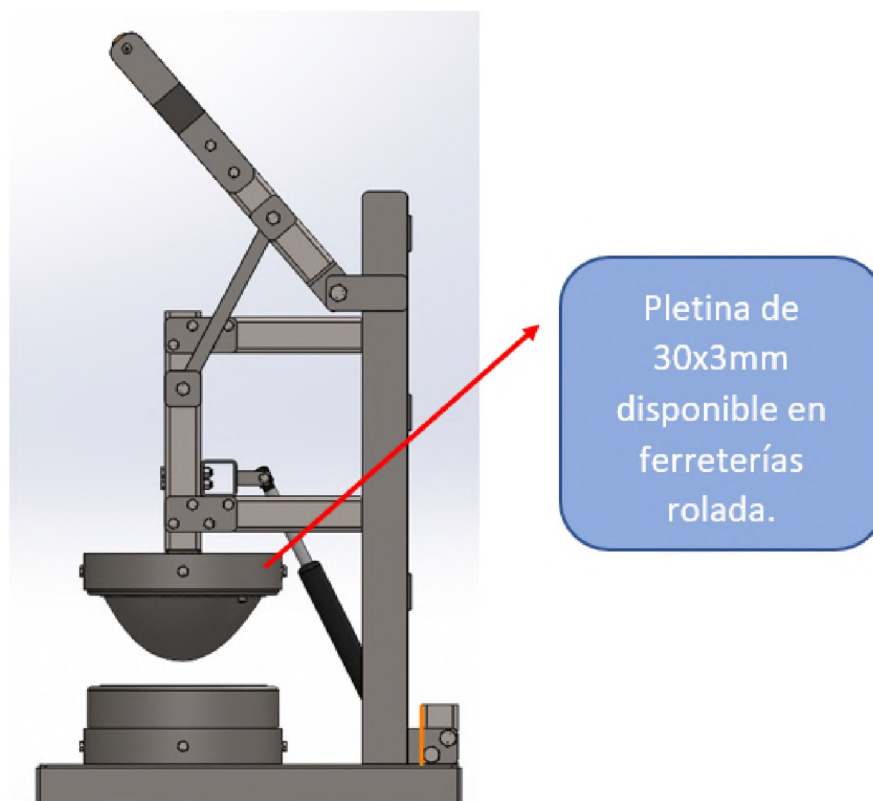


Figura 2. 30. Medios de aseguramiento para el conjunto de moldes.  
(Fuente: Propia)



## 2.3. Diseño de la matriz

En este subcapítulo se describen todos los componentes, criterios y cálculos que se usaron para el proceso de diseño de la termoformadora. El material por usarse para los moldes es el duraluminio 7075 (Ver ANEXO I), debido a su disponibilidad en el mercado local y por sus propiedades recomendadas para ser utilizados en mecanizados según ASTECO [44].

### 2.3.1. Diseño y dimensionamiento de la mascarilla

Es importante el correcto dimensionamiento del conjunto de moldes ya que de esto depende si el producto final brindará una correcta protección al usuario; para lo cual se realiza un análisis considerando datos antropométricos de la NIOSH [2].

A continuación, para obtener las dimensiones necesarias de una mascarilla termoformada cuya talla sea REGULAR SIZE se utiliza el modelo 3D de la NIOSH y la herramienta medir de SOLIDWORKS; por lo tanto, en base a la geometría "LARGE SYMMETRY" de la NIOSH [2] (ver Figura 2. 31, Figura 2. 32, Figura 2. 33), se calculan las distancias entre los puntos considerados como referencia los cuales son:

- Distancia entre pómulos: 120,84 mm
- Distancia lineal entre nariz-mentón: 128,73 mm
- Profundidad o altura de la nariz: 49,76 mm

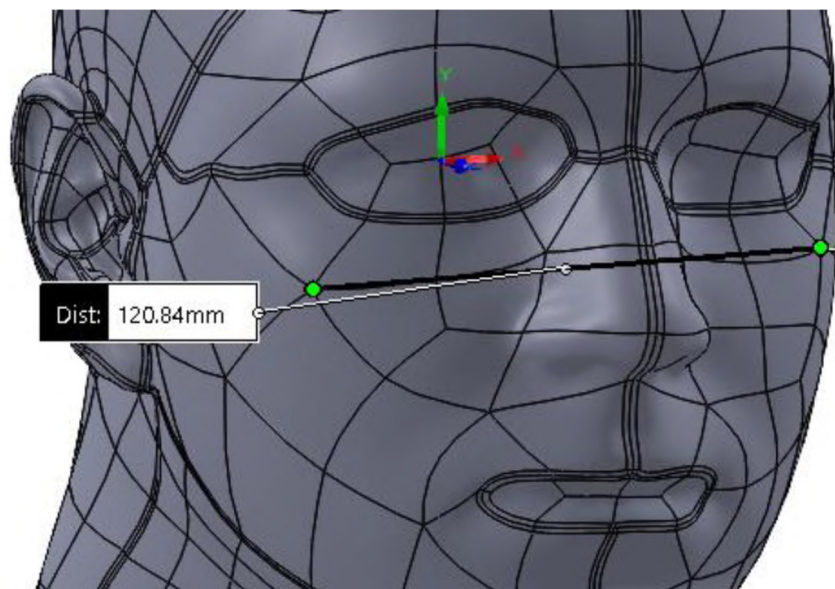


Figura 2. 31. Dimensiones entre pómulos del sólido obtenido previamente.  
(Fuente: [2])

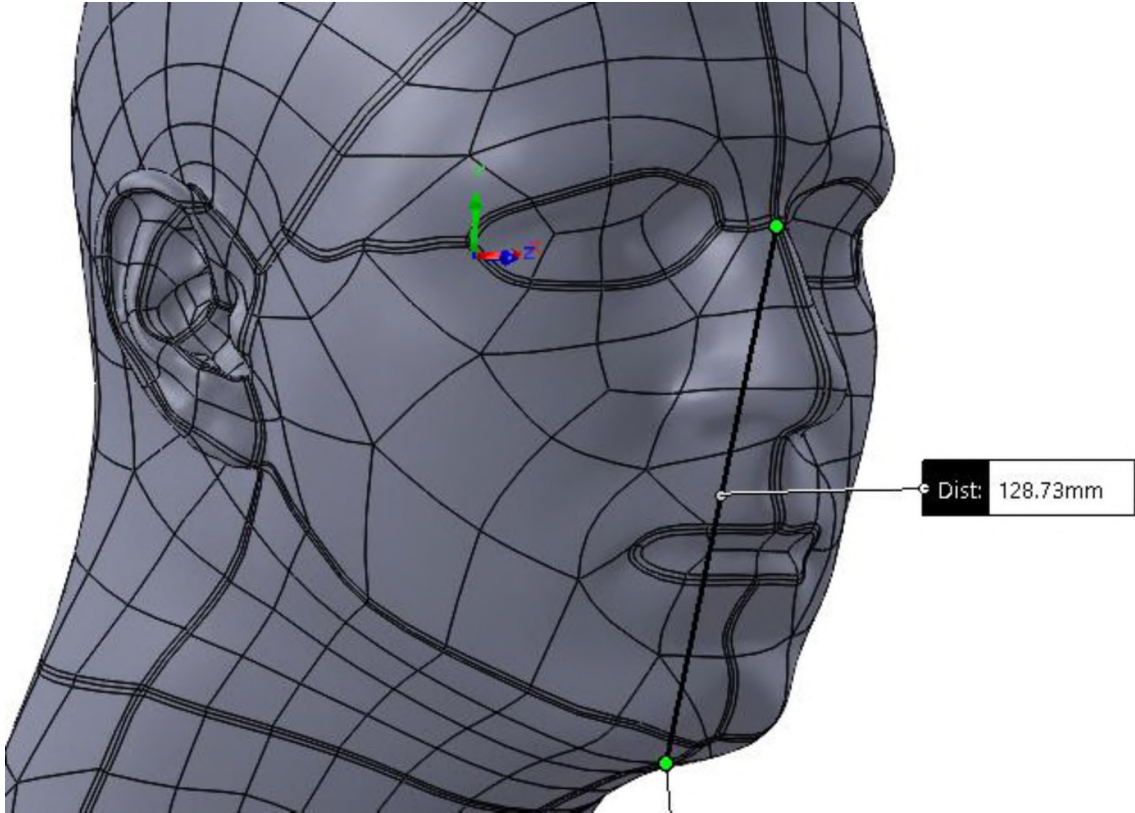


Figura 2. 32. Dimensiones entre quijada y nariz del sólido obtenido previamente.  
(Fuente: [2])

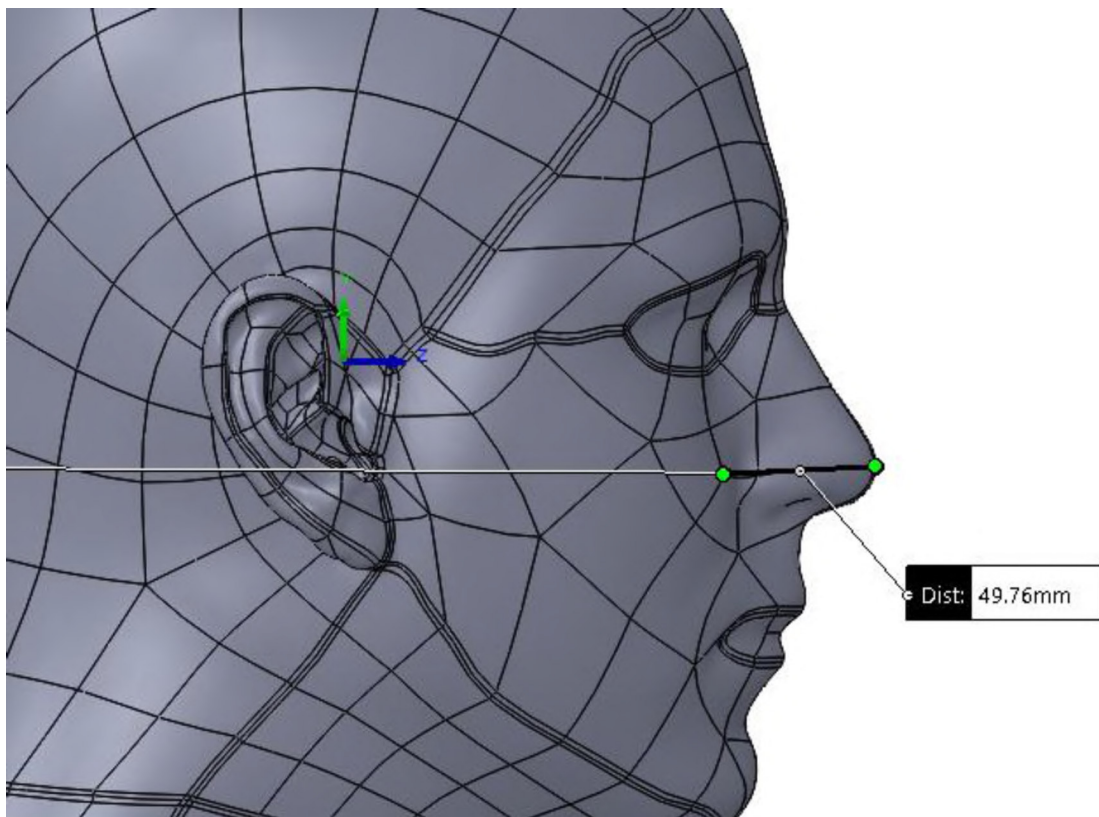


Figura 2. 33. Dimensiones entre nariz y pómulos del sólido obtenido previamente.  
(Fuente: [2])

Una vez obtenidas las principales dimensiones de referencia se procede a diseñar la mascarilla utilizando el software SOLIDWORKS con la finalidad de generar un sólido con las dimensiones deseadas.

Se inicia el diseño con la realización del primer croquis en el cual se definen las dimensiones previamente indicadas como se observa en la Figura 2. 34; este primer croquis se lo realiza en la vista de alzado con fines de facilitar el diseño.

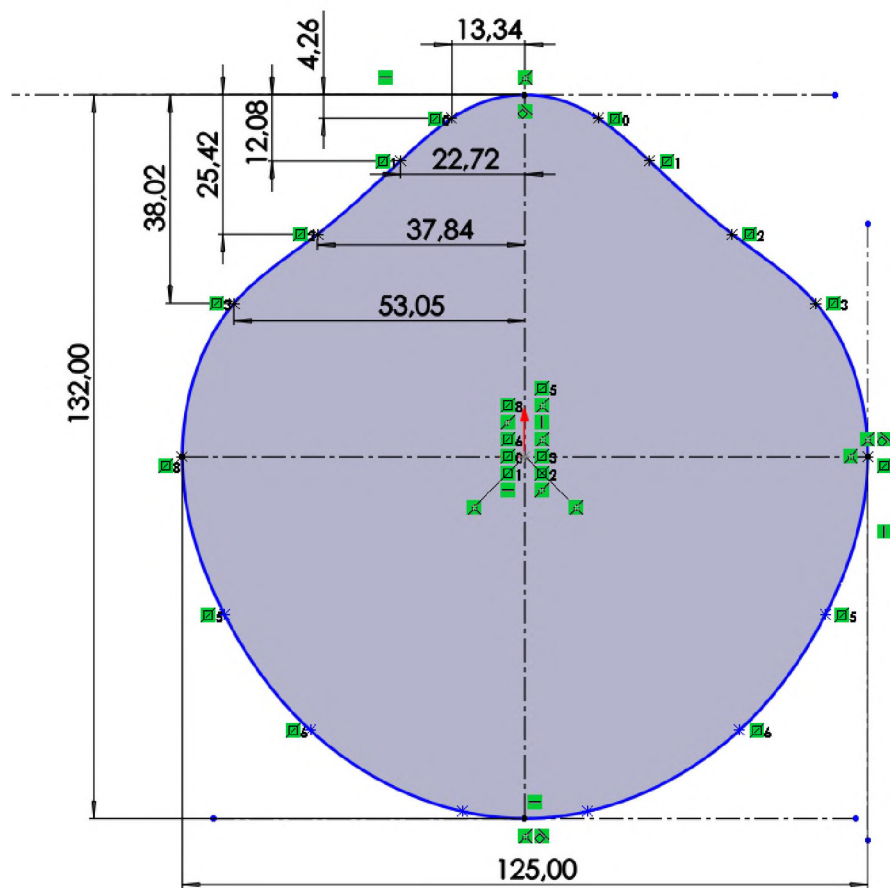


Figura 2. 34. Croquis que permite definir la base de la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

Una vez definida la base se elige un nuevo croquis; esta vez se selecciona el croquis de vista lateral; en el cual se debe definir en primer lugar un punto en la coordenada Z, con la finalidad de dar el realce a la mascarilla y permitir crear la zona donde se posiciona la nariz; se define una distancia de 54 mm entre dicho punto y el croquis previamente realizado, ya que esta medida permitirá adaptarse a las distintas contexturas de los usuarios como se indica en la Figura 2. 35; adicionalmente se genera en el mismo plano una línea curva ya que permite moldear de mejor manera la zona de la nariz como se ve en la Figura 2. 36; así mismo para la zona del mentón como se observa en la Figura 2. 37.

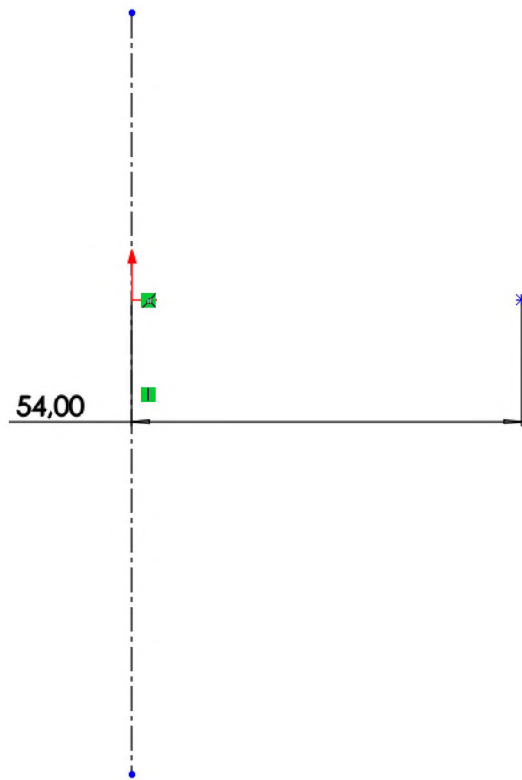


Figura 2. 35. Punto establecido como referencia para diseño en el eje Z.  
(Fuente: Propia)

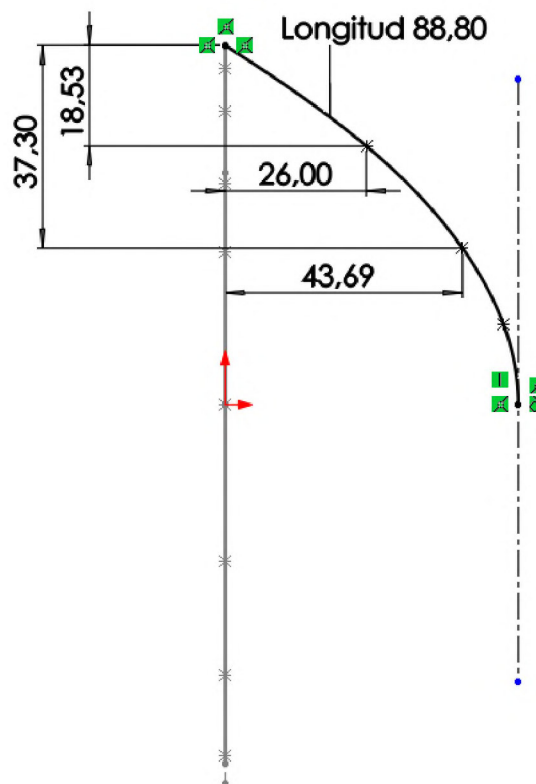


Figura 2. 36. Diseño de la zona donde se ubica la nariz en la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

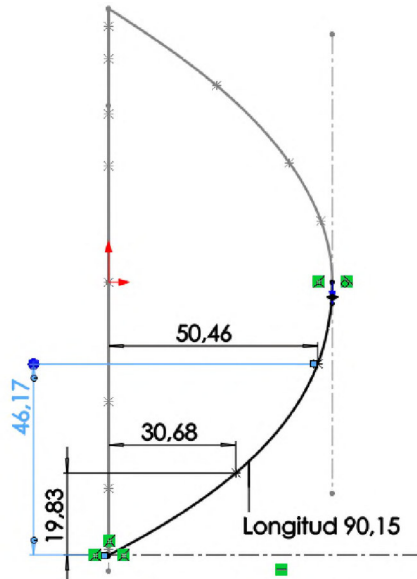


Figura 2. 37. Diseño de la zona donde se ubica el mentón en la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

Una vez definidos los dos croquis; se procede a generar un sólido mediante la operación “rellenar superficie” de SolidWorks; para lo cual una vez dentro de esta opción en “Límites de parche” se selecciona el croquis 1 tal y como se muestra en la Figura 2. 38; así mismo en la zona “Curvas de restricción” se selecciona las líneas curvas que conforman la zona de la nariz y mentón, tal y como se observa en la Figura 2. 39 se obtiene una vista previa del recubrimiento que se obtendrá y una vez conforme se acepta la operación; el resultado final se observa en la Figura 2. 40, donde se obtiene una superficie similar a la mascarilla que se desea obtener.

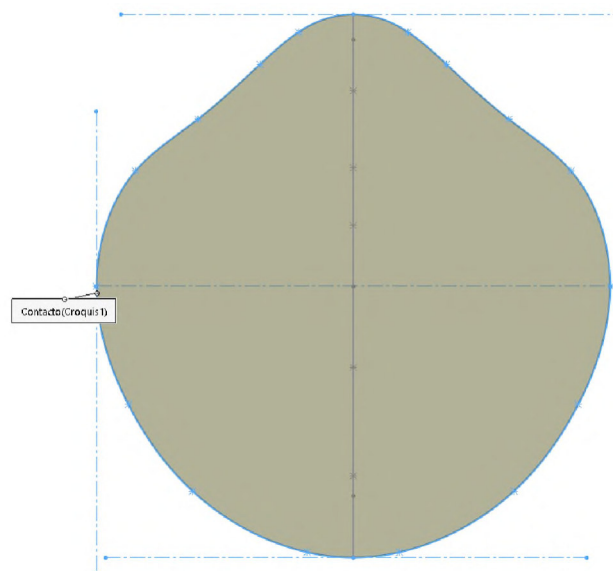


Figura 2. 38. Croquis principal seleccionado como “Límites de parche”.  
(Fuente: Propia)

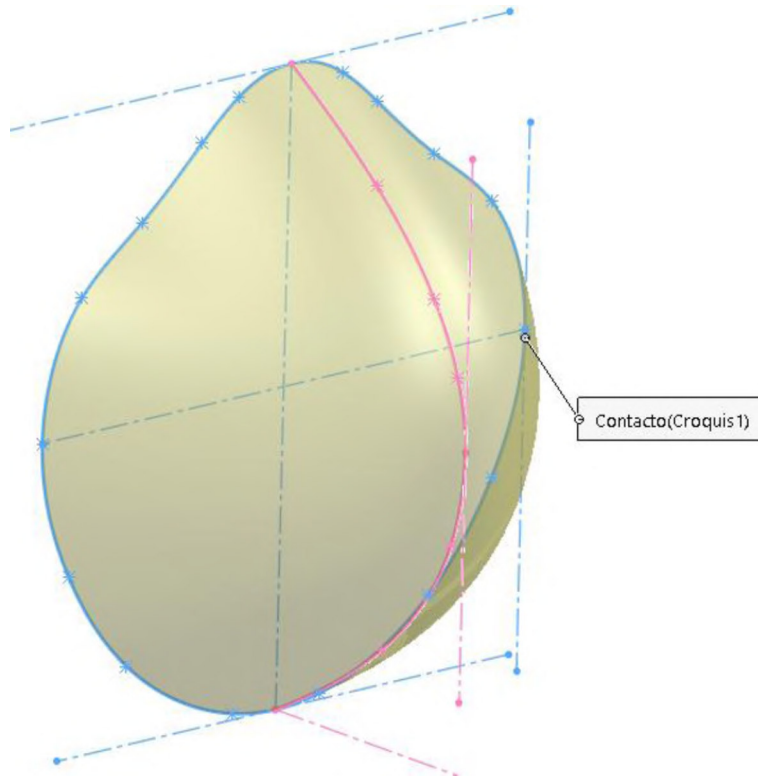


Figura 2. 39. Líneas curvas seleccionadas como "Curvas de restricción".  
(Fuente: Propia)

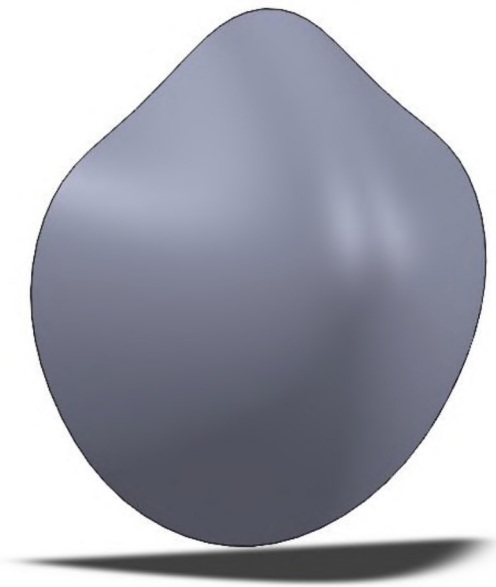


Figura 2. 40. Superficie obtenida con la geometría de la mascarilla deseada.  
(Fuente: Propia)

Finalmente, mediante la operación "Dar espesor" se otorga un espesor de 0,8 mm que es la sumatoria de todos los espesores de los materiales que componen la mascarilla; en la Figura 2. 41, se puede apreciar a la derecha la operación ejecutada correctamente y a la izquierda el resultado final.

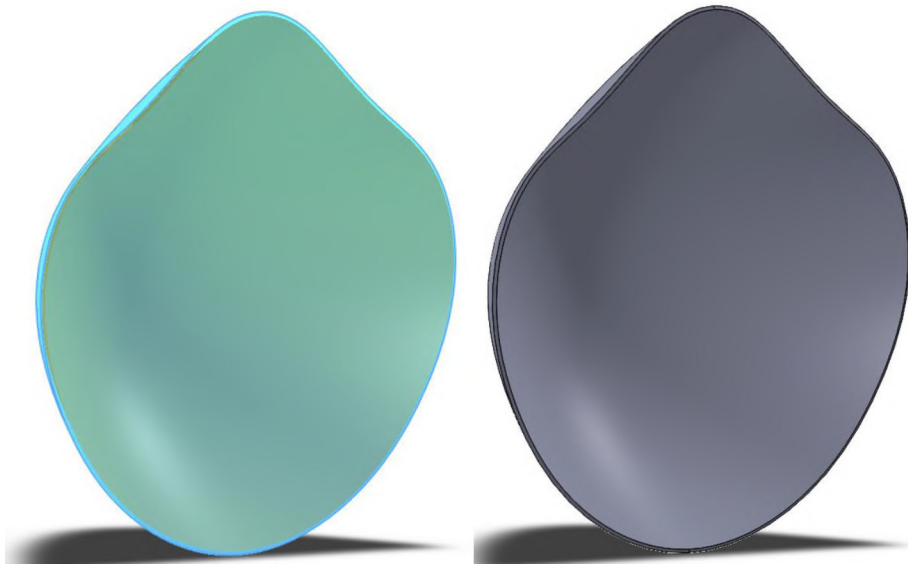


Figura 2. 41. Sólido final con la geometría deseada.  
(Fuente: Propia)

En la Figura 2. 42, se observa como la mascarilla desarrollada previamente se acopla de manera adecuada al usuario; así como también se observa un amplio espacio entre la nariz del usuario y la mascarilla lo cual evitará posibles incomodidades durante su uso.

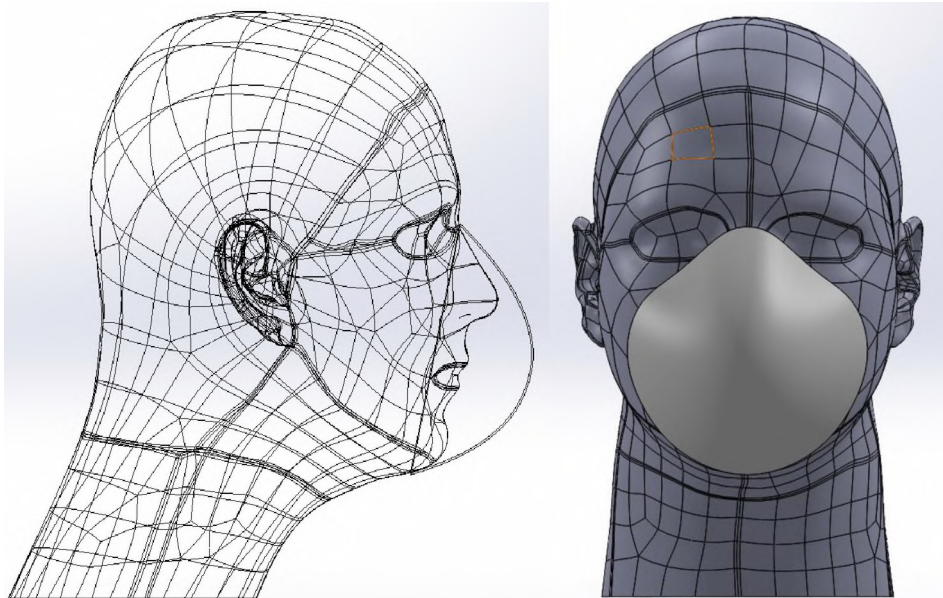


Figura 2. 42. Visualización conjunto usuario-mascarilla.  
(Fuente: Propia)

Es importante recalcar que a partir del sólido obtenido en la Figura 2. 41, se procederá a diseñar los moldes positivo y negativo ya que dicho sólido permitirá simular la geometría de la mascarilla que se desea termoformar; a continuación, se presentan una serie de cálculos los cuales permitirán determinar las tolerancias que deben existir entre moldes los cuales son:

- Dilatación lineal de los materiales a termoformar para determinar la variación del espesor de estos.
- Dilatación volumétrica de los materiales a termoformar.
- Dilatación volumétrica del molde positivo para determinar posibles tolerancias entre los mismos.

Todo esto se lo presentará a continuación porque estos son los parámetros que permitirán definir la distancia adecuada entre los bordes de la geometría de la mascarilla y las paredes de los distintos moldes, como también de la tolerancia que debe existir entre el molde positivo y negativo.

### **Dilatación térmica de la mascarilla**

Como se indicó previamente la mascarilla que se desea termoformar en el presente trabajo consta de 3 capas que cumplen distintas funciones; es importante conocer la dilatación lineal que tendrá el conjunto de materiales con la finalidad de evitar posibles cortes en el mismo durante el proceso de termoformado y a su vez es un parámetro que ayudará a definir la separación adecuada que debe estar presente entre moldes; para lo cual se emplea (2) perteneciente a C. Códova [19]:

$$L_F = L_O(1 + \alpha\Delta T) \quad (2)$$

Dónde:

$L_F$ : Longitud final (mm).

$L_O$ : Longitud inicial (mm).

$\alpha$ : Coeficiente de dilatación lineal ( $1/^\circ\text{C}$ ), los valores de los distintos “ $\alpha$ ” fueron tomados de C. Códova [19].

$\Delta T$ : Variación de temperatura ( $^\circ\text{C}$ ).

A continuación, se calcula dicha dilatación para cada uno de los 3 materiales; según la tabla 2. 1, tomada de Plastiglas [14] se va a calentar a los materiales hasta una temperatura aproximada de  $150^\circ\text{C}$ , la cual permite termoformar al polipropileno sin la necesidad de aplicar una carga, esto también se lo menciona en J. Throne [4], donde indica que el polipropileno requiere de una temperatura cercana a su punto de fusión para termoformarse con la única ayuda del peso del molde. La variación de temperatura sería de  $130^\circ\text{C}$  ( $150^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}$ ), asumiendo que la temperatura ambiental sea  $20^\circ\text{C}$ . Para el



presente análisis al ser de interés el incremento del espesor global por cada capa; obteniendo lo siguiente con (2):

- Capa externa de polipropileno:

$$\alpha = 60 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$L_F = 0,3 \left( 1 + (60 \times 10^{-6}) (130) \right) = 0,30234 \text{ mm}$$

- Filtro de poliéster termoadhesivo:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$L_F = 0,25 \left( 1 + (12 \times 10^{-6}) (130) \right) = 0,25039 \text{ mm}$$

- Capa interna de poliéster termoadhesivo:

$$\alpha = 12 \times 10^{-6} \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

$$L_F = 0,25 \left( 1 + (12 \times 10^{-6}) (130) \right) = 0,25039 \text{ mm}$$

Por lo tanto, el espesor final global es de 0,80312 mm superando en 0,00312 mm el espesor original, el espesor de las 3 capas antes de calentarlas es de 0,8; por lo que la deformación final representa un aumento del 0,39% del espesor inicial.

### 2.3.1.1. Diseño de los moldes

Para el presente caso de estudio el diseño considera al molde negativo como la parte fija; además como se mencionó anteriormente el material a trabajar es duraluminio 7075 por sus propiedades favorables para esta aplicación obtenidas de ASTECO [44]; a continuación, se presenta las dimensiones generales con las cuales debe cumplir el molde negativo.

#### Dimensiones molde negativo

Las dimensiones externas son importantes en un conjunto de moldes ya que la distancia entre los bordes del molde con respecto al borde de la geometría a conformar debe cumplir con ciertas dimensiones; esto debido a que si dicha distancia es sumamente pequeña y el material del cual está conformado el molde no ofrece una adecuada estabilidad el producto obtenido puede presentar deformaciones; así mismo por el contrario, si la distancia es

demasiado grande, esto representará un costo de fabricación de moldes más elevado; así como también un costo de producción mayor debido a que se necesita de una mayor cantidad de energía para alcanzar las temperaturas adecuadas de trabajo; por lo tanto, para determinar las dimensiones aproximadas del diámetro externo del molde se toma como referencia las dimensiones del sólido con la geometría de la mascarilla previamente elaborado obteniendo las siguientes medidas que se aprecian en la Figura 2. 43.

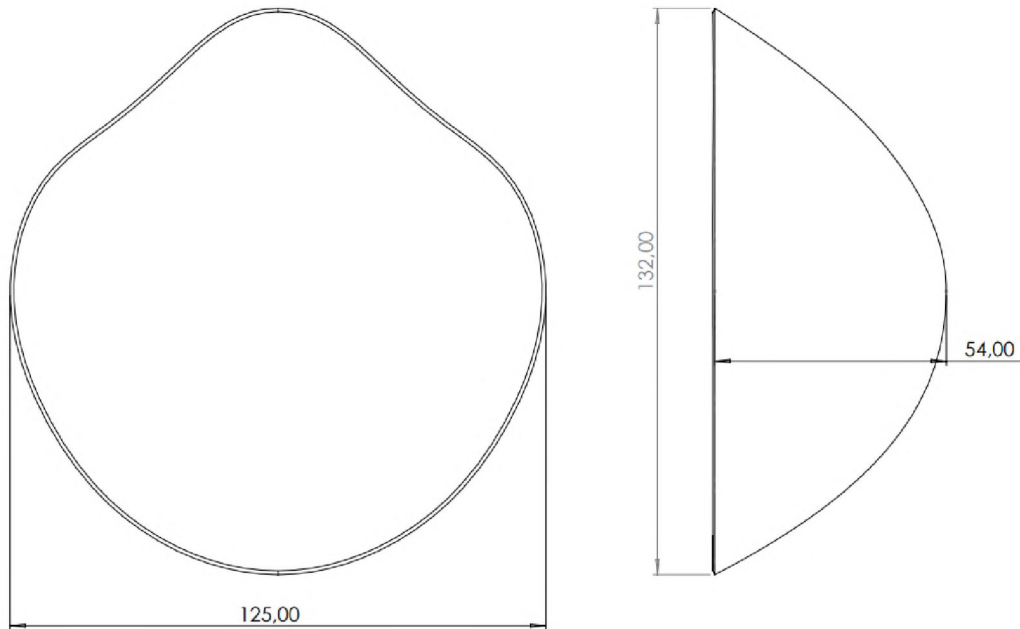


Figura 2. 43. Dimensiones del sólido obtenido previamente.  
(Fuente: Propia)

Por lo tanto, se toma como referencia los puntos más externos de la geometría presentada en la Figura 2. 43, los cuales son: 132 mm de altura de la mascarilla y 54 mm de profundidad de esta; entonces se considerarán las siguientes dimensiones externas:

- Diámetro final externo del molde negativo: 140 mm.
- Espesor del molde negativo: 72 mm.

Estas dimensiones se consideran debido a que 132 mm es el punto más externo de la base de la mascarilla y se desea equidistar con respecto a este punto una cierta distancia con la finalidad de brindar rigidez a los moldes especialmente a la parte negativa del conjunto, además, el conjunto de moldes debe contar con un sistema de guías que le facilite su alineación, razón por la cual se mantiene este diámetro final de 140 mm para brindar un mayor espacio y facilitar la maquinabilidad de las guías; así como también, para facilitar la obtención del tocho del cual se iniciará la construcción de los mismos; en la Figura 2. 44, se puede apreciar tentativamente la vista frontal de la configuración final deseada.

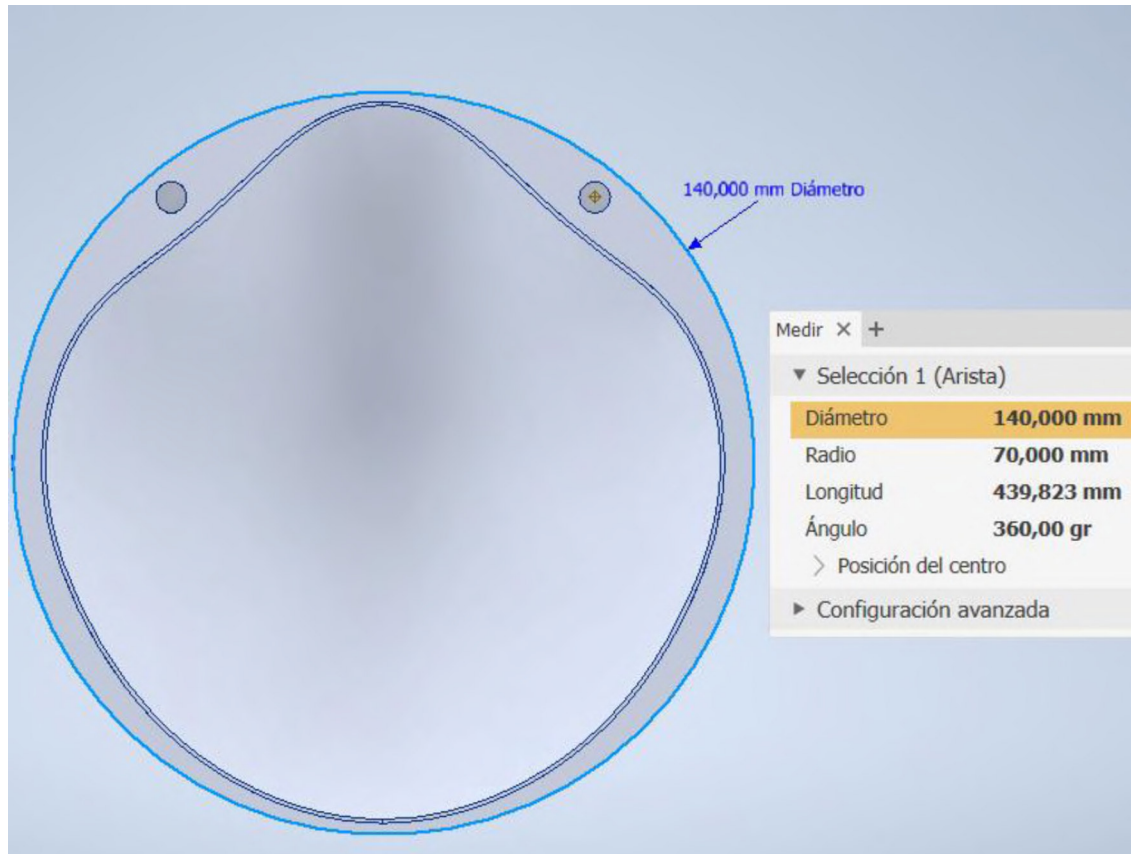


Figura 2. 44. Configuración final tentativa (diámetro final externo del molde negativo).  
(Fuente: Propia)

El espesor del molde negativo está dado por la profundidad de la cavidad de este la cual tiene una dimensión de 54 mm; por lo tanto, se desea una distancia entre el punto más deprimido del contorno de la cavidad con respecto a la base del molde dando como resultado un espesor final de 72 mm; se selecciona esta dimensión considerando siempre que el molde tenga una buena estabilidad, así como también un bajo costo.

### Dimensiones molde positivo

Con estas consideraciones y en base a los bajos porcentajes de dilatación se puede determinar una tolerancia entre moldes de 1 mm; esto ya que al ser los moldes de un mismo material que para el presente caso es duraluminio 7075, dicha tolerancia permanecería constante ya que comparten el mismo coeficiente de dilatación y trabajan a una misma temperatura; además el espesor global inicial de los materiales a termoformar es de 0,8 mm y su espesor global final es de 0,80312 mm por lo tanto asumiendo una tolerancia entre moldes constante de 1 mm existirá una holgura de 0,19688 mm permitiendo de esta forma que se eviten posibles cortes o daños en el material durante el termoformado.

Cabe recalcar que en este molde tendrá un compartimento donde se introducirá una resistencia eléctrica para suministrar el calor, por lo que se debe dejar una cierta distancia entre la superficie del molde y la base.

Entonces se considerarán las siguientes dimensiones externas:

- Diámetro final externo del molde positivo: 150 mm.
- Espesor de la base del molde positivo: 30 mm.

Estas dimensiones se consideran principalmente por temas de funcionabilidad; ya que este espesor facilitará el ensamble y aseguramiento de este a la base móvil de la termoformadora; debido a que el molde será sujeto a una pletina rolada de dimensiones 30x3 mm disponible en el mercado, dejando así 5 mm para que sobresalga el molde y no interfiera la pletina con el proceso de termoformado.

### **2.3.2. Diseño de la estructura**

Aquí se tratan los cálculos para garantizar que la estructura responda de manera correcta al peso de los moldes.

#### **2.3.2.1. Criterios de diseño**

Los criterios tomados en cuenta para el desarrollo solo de la estructura por su importancia son:

- Diseño con cargas estáticas debido a su funcionamiento a velocidad baja y operación manual.
- El material por usarse en la estructura es acero ASTM A-36 con un  $S_y=250$  MPa y  $E= 206,8$  GPa para la estructura y los moldes de duraluminio 7075 cuyas propiedades se especifican en el ANEXO I.
- Y como elementos normalizados se piensa usar pernos y tornillos para anclar la estructura con los moldes y la palanca.
- Como factor de seguridad se plantea que los elementos propuestos cumplan con un mínimo de 2.
- Se usará soldadura SMAW con un electrodo para las soldaduras es el "E6011", cuya resistencia a la tensión es de 62 kpsi (427 MPa) y resistencia a la fluencia es de 50 kpsi (345 MPa). Como se lo puede ver en la Tabla 9-3 de R. Budynas and K. Nisbett [26], mostradas en el ANEXO II.

- Los pernos a propuestos son DIN clase 8.8, cuyas propiedades se encuentran en la Tabla 8-11 de R. Budynas and K. Nisbett [26], mostradas en el ANEXO II.
- Como masa del molde positivo y del negativo hecho de duraluminio se tiene masas de 2,052 kg y 2,162 kg respectivamente, dando un total de 4,214 kg. Estos datos fueron obtenidos de las propiedades de los modelos hechos en SolidWorks.
- La masa total de la máquina fue de aproximadamente 13,3 kg, por lo que para los cálculos se asumirá un aproximado de 15 kg, o un peso aproximado de 150 N.

### **2.3.2.2. Simulación estructural**

Con la finalidad de conocer el comportamiento estimado que tendrá la estructura una vez ensamblada y cargada, se realiza un análisis estático empleando el software SOLIDWORKS; con este estudio se podrá determinar posibles puntos críticos y calcular los mismos, permitiendo de esta forma un correcto dimensionamiento de elementos críticos.

Para el presente estudio se empleará los siguientes criterios de análisis:

- Criterio de von Mises.
- Análisis de desplazamientos lineales.
- Factor de seguridad.

Estos criterios de falla serán calculados mediante el complemento "SOLIDWORKS SIMULATION"; este complemento permite realizar un estudio mediante el método de elementos finitos, permitiendo así alcanzar una resolución cercana a la realidad.

Se inicia la simulación estableciendo cada una de las uniones del ensamble mediante la opción "CONEXIONES"; en esta opción se definen pernos, soldaduras y tipos de contactos entre componentes; es importante definir correctamente estas conexiones ya que de esta forma se garantizará un correcto mallado de toda la estructura y sus componentes.

El siguiente paso es definir los distintos tipos de sujeciones que tendrá la estructura; estableciendo para el presente caso una sujeción fija en la base de la estructura.

Para el análisis estático de la estructura se procede a desmontar los moldes con la finalidad de simplificar el cálculo; sin embargo, las cargas ejercidas por los mismos (peso) si serán consideradas ya que la estructura debe resistir dicha carga sin ningún problema; en la

Figura 2. 45 se observa como la estructura está cargada para iniciar la simulación donde las cargas consideradas son:

- Peso del molde negativo; valor: 17,85 N.
- Peso del molde positivo en los puntos de apoyo; valor: 17,24 N.
- Gravedad aplicada en toda la estructura; valor: 9,81 m/s<sup>2</sup>.
- Fuerza del amortiguador; valor: 80 N.

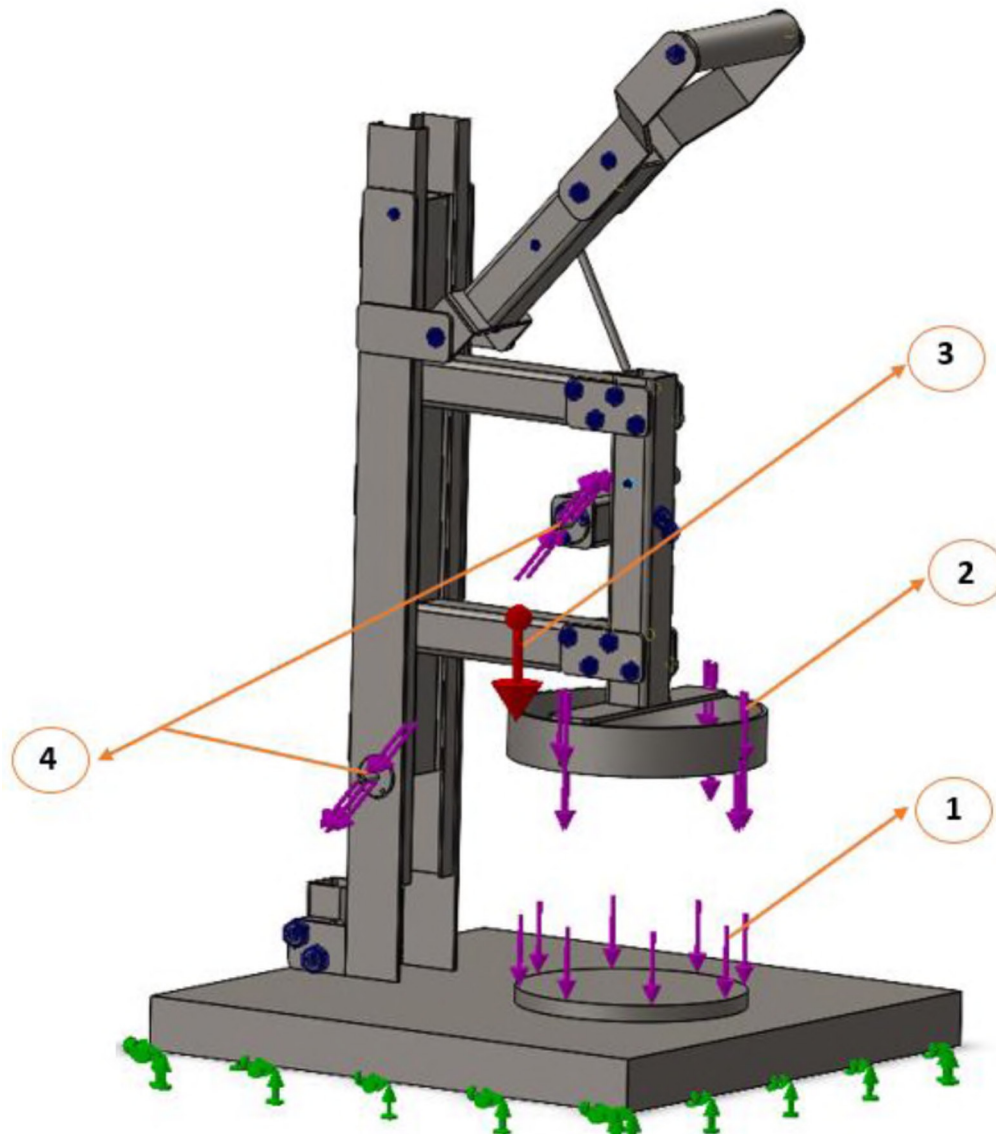


Figura 2. 45. Cargas externas en estado estático.  
(Fuente: Propia)

Una vez definidas las cargas externas que actuarán en la estructura durante su estado estático se procede a crear un mallado que para el presente caso se utilizará una malla basada en curva ya que la misma permite el correcto mallado de geometrías pequeñas y complejas; se consideró un tamaño máximo de elemento de 60mm y mínimo de 8 mm, el

número mínimo de elementos en un círculo se definió en 8 y el cociente de crecimiento es de 1,4; una vez definida correctamente la malla el resultado se puede observar en la Figura 2. 46 donde se observa como toda la estructura está correctamente mallada; se utilizó este tipo de refinamiento con la finalidad de evitar un cálculo más complejo y principalmente por los recursos de hardware disponible.

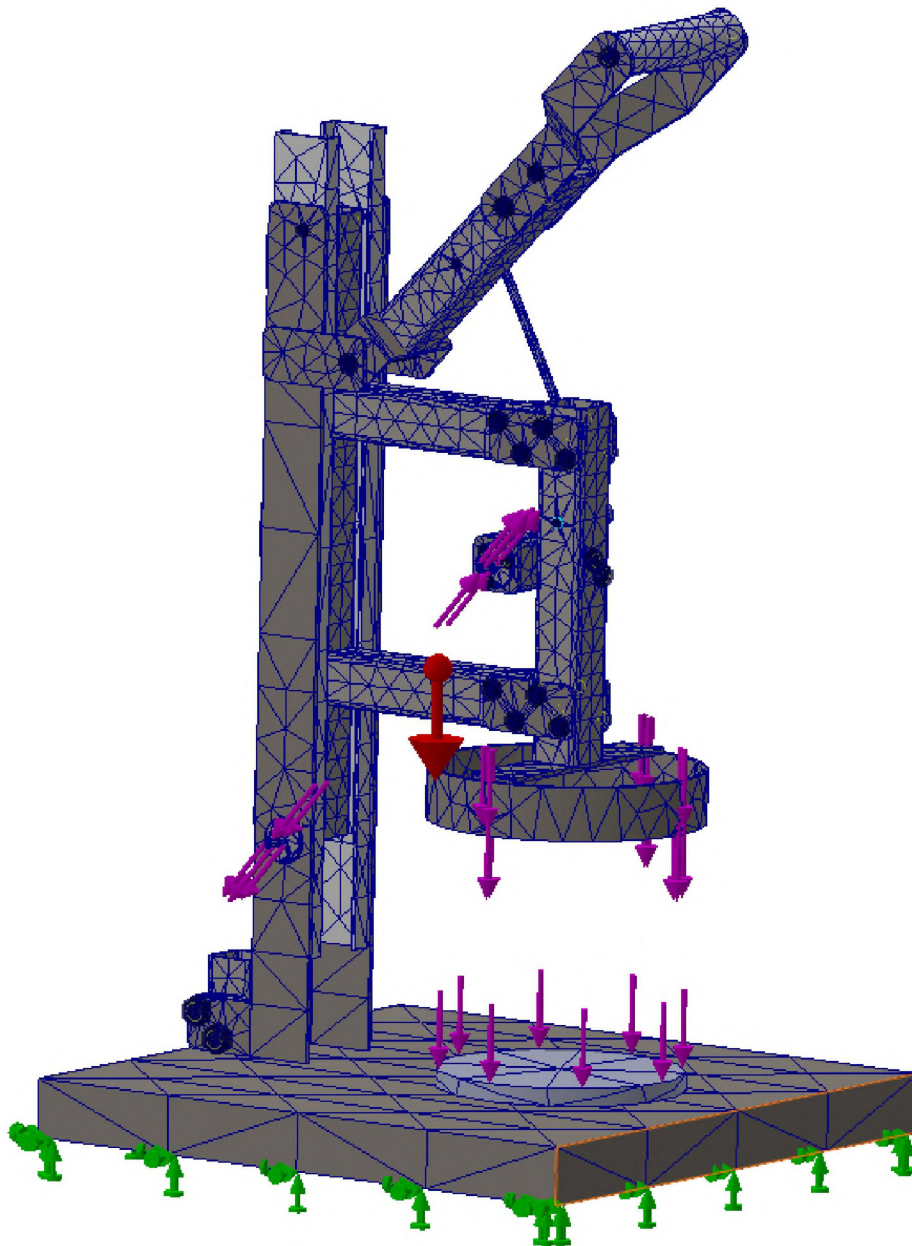


Figura 2. 46. Estructura mallada correctamente.  
(Fuente: Propia)

Finalmente, una vez definidos los parámetros mencionados se ejecuta el estudio obteniendo los siguientes resultados para cada uno de los criterios de estudio; mismos que son:

## Criterio de von Mises

Para el presente caso de estudio se obtienen los resultados que se muestran en la Figura 2. 47; donde se puede apreciar un tono verdoso en los puntos con mayor energía de distorsión siendo principalmente las juntas empernadas, así como también la soldadura que une a la base de la estructura con el perfil cuadrado donde se empernará la columna; es por esta razón que más adelante se procederá a calcular dichas zonas con la finalidad de determinar una correcta precarga para los pernos así como también elegir un electro que permitan evitar problemas en dichas zonas; el valor que arroja el software para esta tonalidad es de 92,59 MPa como se observa en la escala.

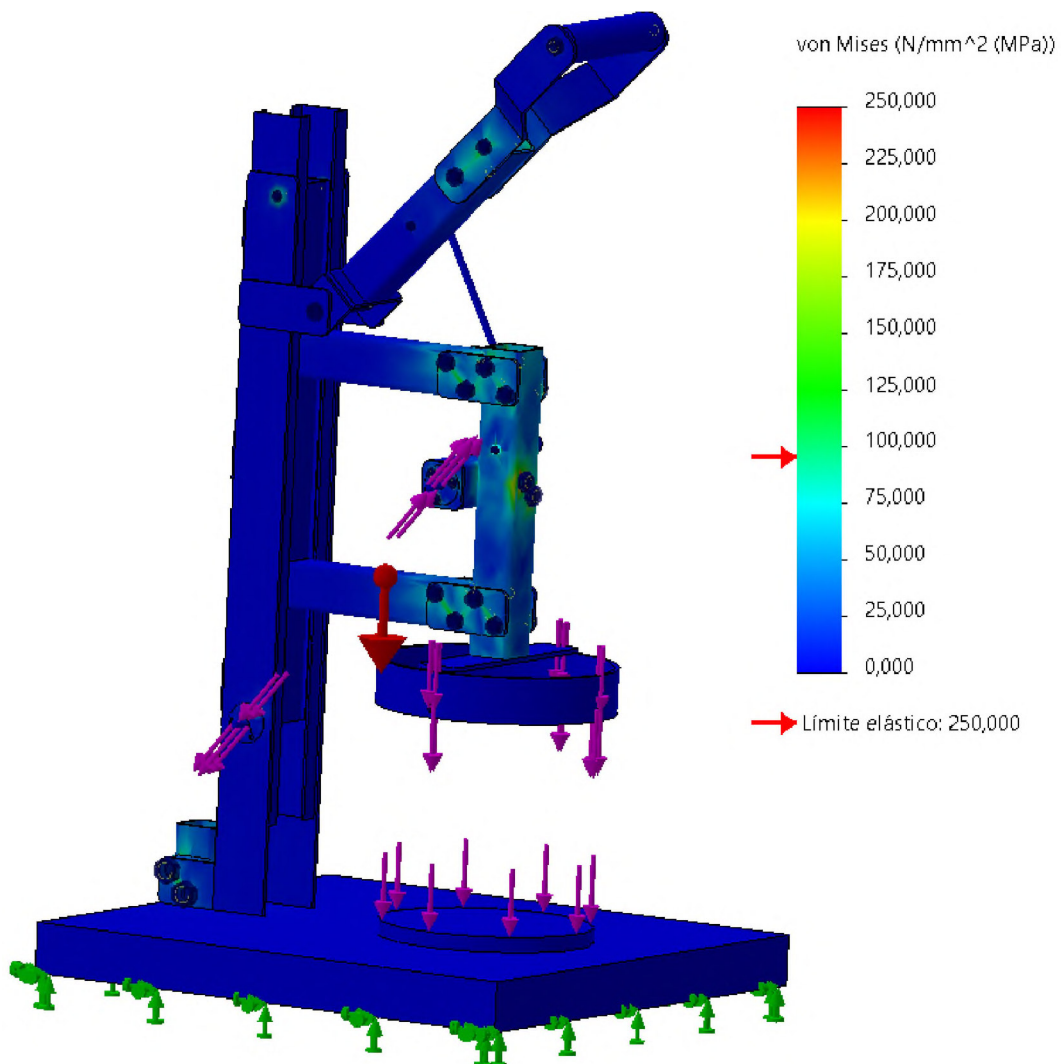


Figura 2. 47. Criterio de von Mises en la estructura.  
(Fuente: Propia)

Por lo tanto, se puede concluir que al obtener un esfuerzo de 92,59 MPa mediante el criterio de von Mises la estructura resistirá adecuadamente las cargas de trabajo ya que al ser



menor al límite de fluencia del acero de 250 MPa el factor de seguridad será superior a 1, lo cual es deseable en estructuras.

### Desplazamientos lineales

A continuación, se procede a analizar los resultados para desplazamientos en la estructura; obteniendo los resultados de la Figura 2.48; donde se observa que los puntos con mayor tendencia a desplazamiento son tanto la base del molde positivo, así como también, la base inferior del amortiguador mismos que están remarcados en la figura para mayor apreciación; sin embargo, al analizar el valor de desplazamiento es prácticamente depreciable ya dicho valor es de 0,1mm y 0,17mm respectivamente; lo cual no afecta ni en el funcionamiento de la máquina, ni en la estabilidad de la misma; por lo tanto es aceptable el resultado obtenido.

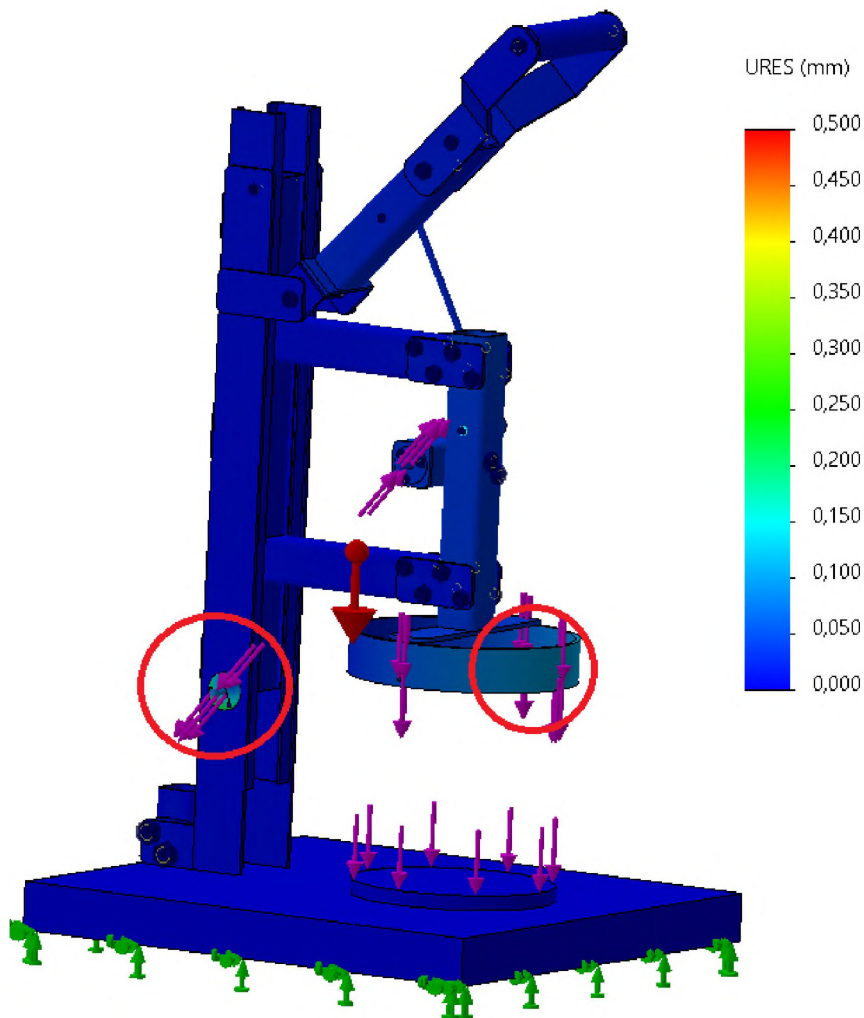


Figura 2. 48. Análisis de desplazamientos en la estructura.  
(Fuente: Propia)

## Factor de seguridad

Este es uno de los criterios más importantes en el diseño; ya que del valor de este dependerá si se puede considerar a una estructura como confiable o no; para el presente caso de estudio se selecciona la opción factor de seguridad obteniendo los resultados de la figura #; los cuales como se puede apreciar dan una estructura completamente en coloración azul y el valor de factor de seguridad es de 2,7 mismo que permite concluir que la estructura es confiable.

Nombre del modelo: ensamble estructura final  
Nombre de estudio: Análisis estático 1(-Predeterminado-)  
Tipo de resultado: Factor de seguridad Factor de seguridad1  
Distribución de factor de seguridad: FDS mín = 2,7

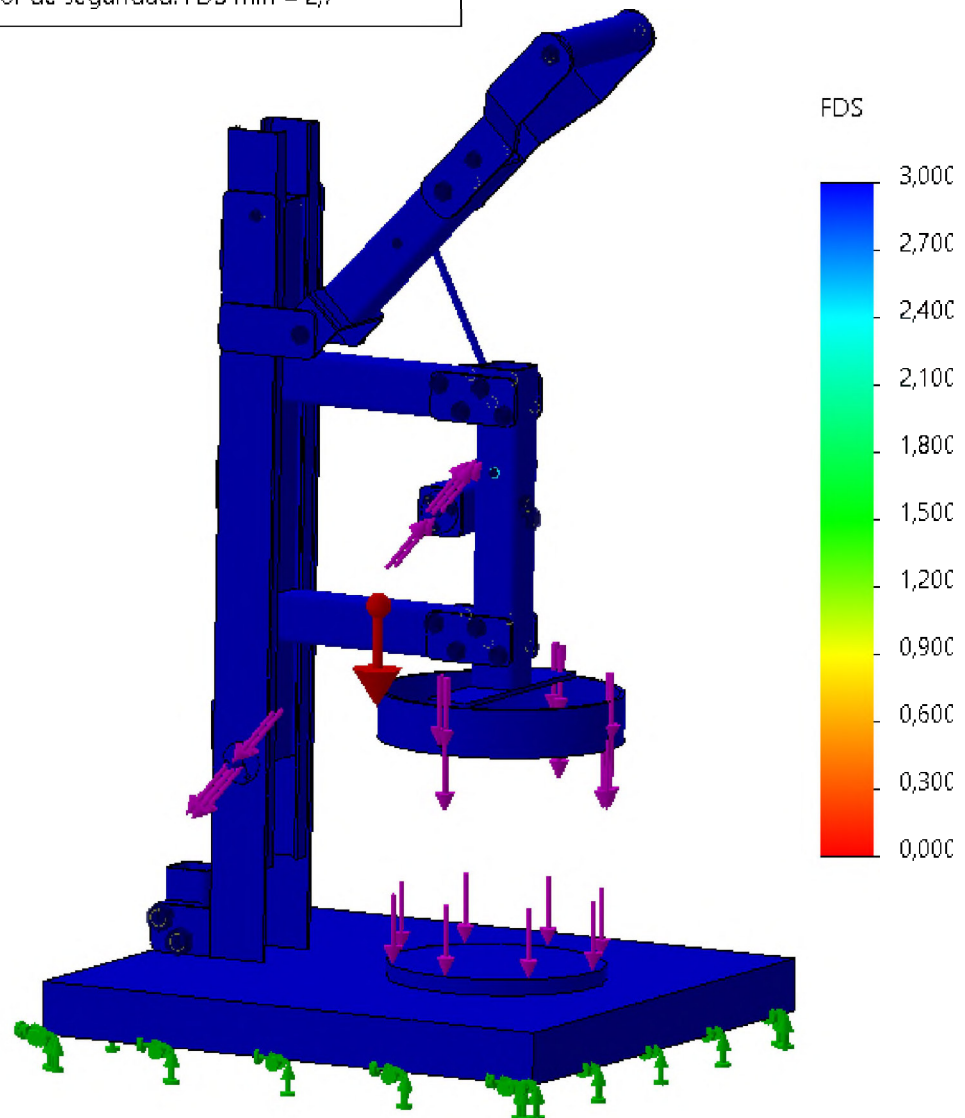


Figura 2. 49 Factor de seguridad en la estructura.  
(Fuente: Propia)

### 2.3.2.3. Diseño de la cubierta

Se conecta el molde positivo a la estructura a través de una base circular que cubre todo el molde y es acoplada con el uso de 3 pernos ubicados en V, V', y W. A la base circular y a la pletina se las va a unir mediante soldadura de ranura en junta de penetración parcial (PJP) en las zonas V y V', lo mismo la pletina con el perfil cuadrado de la palanca (T-U), los cual se muestran en la Figura 2. 50. Para el cálculo de los pernos se procede a realizar el DCL donde se ubican los tornillos en las posiciones V, V' y W, como se lo muestra en la Figura 2. 51, donde "n" es el número de tornillos, y la fuerza generada por el peso del molde se lo traslada al centroide de los tornillos.

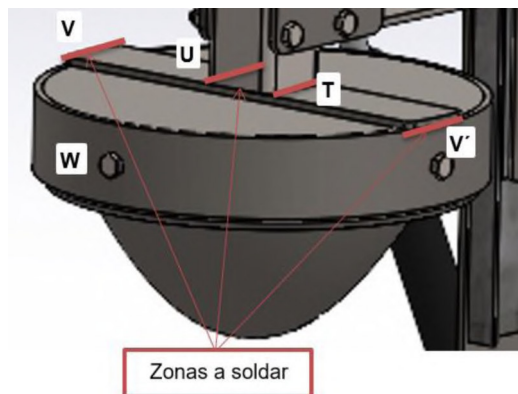


Figura 2. 50. Cubierta de la estructura con zonas soldadas.  
(Fuente: Propia)

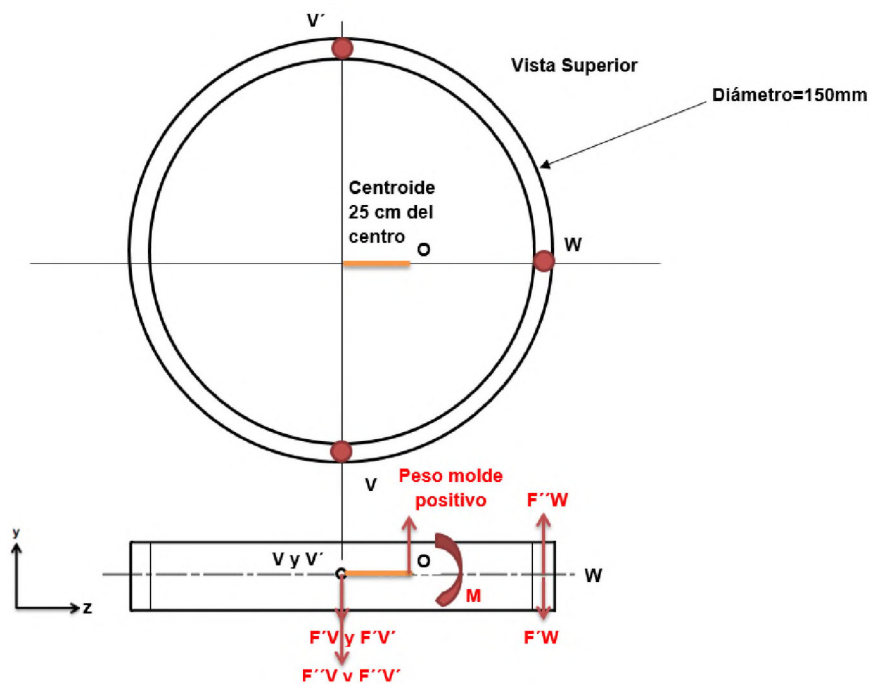


Figura 2. 51. DCL de los pernos (en V, V', W y W') que unen a la placa con la pletina.  
(Fuente: Propia)

Para la carga resultante de cada perno se calcula con (3) y (4):

$$F'_i = \frac{F_y}{n} \quad (3)$$

$$F'_V = F'_{V'} = F'_W = \frac{\text{Peso molde positivo}}{3} = \frac{2,052 \times 9,81}{3} = 6,71 \text{ N}$$

Para el cálculo del cortante secundario, se define como la carga adicional en cada perno debido al momento  $M$  ( $2,052 \times 9,81 \times 0,075$ ). Si las distancias de V, V' y W son las distancias desde el centroide hasta el centro de cada perno, el momento y la carga del momento se las relaciona con (4):

$$F''_i = \frac{M \times r_i}{r_V^2 + r_{V'}^2 + r_W^2} \quad (4)$$

$$F''_V = F''_{V'} = \frac{2,052 \times 9,8 \times 0,075 \times 0,079}{0,079^2 + 0,079^2 + 0,05^2} = 7,95 \text{ N}$$

$$F''_W = \frac{2,052 \times 9,8 \times 0,075 \times 0,05}{0,075^2 + 0,075^2 + 0,079^2 + 0,079^2 + 0,05^2 + 0,075^2} = 5,03 \text{ N}$$

Dando como resultado las siguientes fuerzas:

$$F_V = F'_V + F''_V = 6,71 + 7,95 = 14,66 \text{ N}$$

$$F_{V'} = F'_{V'} + F''_{V'} = 6,71 + 7,95 = 14,66 \text{ N}$$

$$F_W = F'_W + F''_W = 6,71 - 5,03 = 1,68 \text{ N}$$

Siendo los más cargados los de los puntos V y V', para el cálculo en los pernos se usa la ecuación (5) y cuando se trató de corte puro se ocupará también (6), del ANEXO II se toma que los pernos M3 grado 8.8, tienen un  $S_y = 660 \text{ MPa}$ .

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A_s} = \frac{S_y}{F.S.} \quad (5)$$

$$S_{sy} = 0,577(S_y) \quad (6)$$

Por cortante en los pernos:

$$S_{sy} = 0,577(660) = 380,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{m\acute{a}x} = \frac{F}{A_s} = \frac{14,66 \text{ N}}{3 \times \pi x \frac{0,003^2}{4}} = 0,69 \text{ MPa}$$

$$F.S. = \frac{380,82 \text{ MPa}}{2,07 \text{ MPa}} = 552$$

Por aplastamiento de los pernos:

$$S_y = 660 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{F}{t \times d} = \frac{14,66 \text{ N}}{3 \times 0,003 \times 0,003} = 0,54 \text{ MPa}$$

$$F.S. = \frac{660 \text{ MPa}}{0,54 \text{ MPa}} = 1222$$

Por aplastamiento de los elementos:

$$S_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{F}{A} = \frac{14,66 \text{ N}}{3 \times 0,003 \times 0,003} = 0,54 \text{ MPa}$$

$$F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{0,54 \text{ MPa}} = 463$$

Por tensión de los elementos:

$$S_{sy} = 0,577(660) = 380,82 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{F}{A_{\text{neta}} - A_{\text{perforaciones}}} = \frac{14,66 \text{ N}}{(0,03 - 0,006) \times 0,003} = 0,18 \text{ MPa}$$

$$F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{0,18 \text{ MPa}} = 1389$$

Ahora, para cargas estáticas en las zonas de soldaduras T y U, según la norma AWS D1.1 y R. Norton [27] recomienda que los esfuerzos cortantes en una soldadura de filete o en soldaduras con PJP se limiten al 30% (7) de la resistencia a la tensión del electrodo que del E6011 es de 421 MPa:

$$\tau_{\text{permisible}} = 0,3 E60xx \quad (7)$$

$$\tau_{\text{permisible}} = 0,3 (427) = 128,1 \text{ MPa}$$

$$\tau_{\text{permisible}} = 128,1 \text{ MPa} = \frac{\text{Peso molde positivo}}{A_{\text{cortante}}} = \frac{2,052 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{A_{\text{cortante}}}$$

$$A_{\text{cortante}} = 1,57 \times 10^{-7} \text{ m}^2 = 2Lt = 2(0,3)t$$

$$t = 0,00026 \text{ mm de garganta}$$

$$w = \frac{t}{\cos(45^\circ)} = 0,00037 \text{ mm como ancho de pierna mínimo}$$

Según la Tabla 2.2 del ANEXO II que se basa en la norma AWS D1.1, se sobredimensiona los cordones de soldadura, en este caso al trabajar con espesores menores a 6 mm se recomienda un tamaño mínimo de 3 mm de la soldadura con el fin de evitar fisuras del cordón de soldadura por enfriamiento, esto también se lo comprueba en el último cálculo. Ahora en la Tabla 12-3 del ANEXO II, el  $S_y$  es igual a 250 MPa para el acero ASTM A36, que es

el material usado en la estructura, y servirá para verificar que la pieza no fallará en el metal base fundido:

$$\tau_{xy} = \frac{\text{Peso molde positivo}}{A_{\text{fusión}}} = \frac{2,052 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{2 \times L \times w} = \frac{2,052 \text{ kg} \times 9,81 \text{ m/s}^2}{2 \times 0,3\text{m} \times 0,003\text{m}}$$

$$= 11,183 \text{ KPa}$$

$$N_{\text{fluencia}} = \frac{S_{Sy}}{\tau_{xy}} = \frac{0,557 \times 250 \times 10^6}{11,183 \times 10^3} = 12899$$

Como bosquejo se puede ver la Figura 2. 52, donde se observa un bosquejo de las dimensiones calculadas anteriormente.

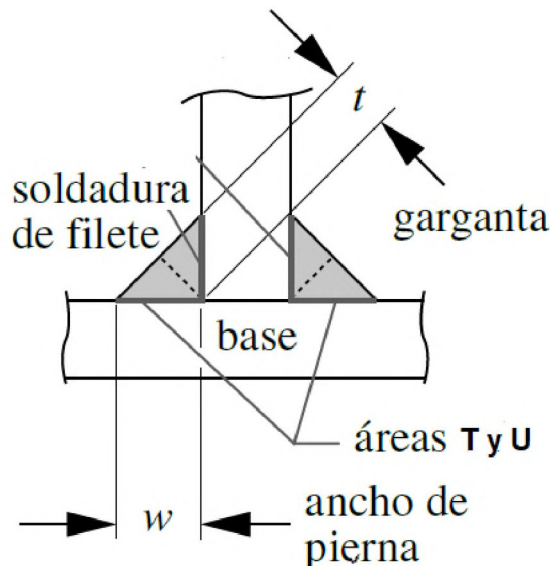


Figura 2. 52. Esquema de soldadura.  
(Fuente: Propia)

#### 2.3.2.4. Selección del amortiguador y guías

##### Cilindro neumático de 80N

Para el presente trabajo se seleccionará un amortiguador de gas, cuya capacidad es de 80N; como un breve proceso de selección se suman los pesos de los cuerpos que conforman la parte móvil de la estructura más el peso del molde positivo ya que es el peso de todo este conjunto el que debe vencer el amortiguador; como se observa en la Figura 2. 53 la masa de la parte móvil más la masa del molde positivo es de 5050.22 g dando como resultado global un peso de 49.54 N, por lo tanto, es correcto seleccionar un amortiguador de 80 N ya que al tener una capacidad superior a la del peso del conjunto móvil, este será capaz de levantar el mismo sin dificultades, además tendrá la capacidad de vencer la fricción generada durante el desplazamiento de las distintas piezas.

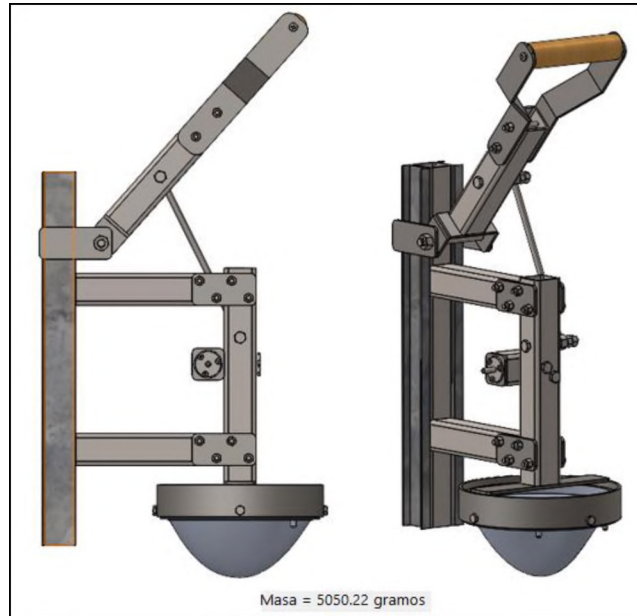


Figura 2. 53. Conjunto móvil de la estructura.  
(Fuente: Propia)

El análisis anterior es una forma breve de seleccionar un amortiguador como candidato a usarse; sin embargo, se debe garantizar que el mismo funcione sin problema; a continuación, se procede a realizar una serie de cálculos para el amortiguador candidato; los parámetros a considerar son:

- Fuerza del amortiguador.
- Cálculo del vástago.
- Cálculo de la camisa.

Por lo tanto, se tiene que:

Fuerza efectiva de avance: es la máxima fuerza que desarrolla el amortiguador; y se la calculará mediante (8) la cual se muestra a continuación:

$$F_a = \frac{\pi}{4} \times D^2 \times p \times R \quad (8)$$

Donde:

$F_a$  =Fuerza del cilindro en daN.

$D^2$ =Diámetro del cilindro en cm.

$p$ = Presión del aire en bar.

$R$ = Rendimiento del cilindro.

Para determinar el valor de R se toma como referencia la Tabla 2. 33; en la cual se detalla los rendimientos según el diámetro del cilindro.

Tabla 2. 33. Rendimientos en función del diámetro del cilindro.

Diámetro del cilindro (mm)	Rendimiento
Menores o iguales a 40	0,85
Mayores a 40	0,95

(Fuente: Propia)

Los datos disponibles del amortiguador candidato según el fabricante de este son:

$$D = 20 \text{ mm.}$$

$$d = 8 \text{ mm.}$$

$$p = 3 \text{ bar.}$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$F_a = \frac{\pi}{4} \times (2)^2 \times (3) \times 0,85 = 8 \text{ daN} = 80 \text{ N}$$

- Vástago del amortiguador: es la parte móvil del amortiguador; para el presente caso el vástago trabajará a compresión; por lo tanto, es importante determinar los esfuerzos en el mismo con la finalidad de determinar su estado en funcionamiento. Para calcular el esfuerzo en el mismo se emplea (9)

$$\sigma_{adm} = \frac{4 \times F}{\pi \times d^2} \quad (9)$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible a compresión.

$F_p$  = Fuerza axial sobre el vástago en daN.

$d$  = Diámetro del vástago en mm.

Para el cálculo de la fuerza axial sobre el vástago se emplea (10); la cual es empleada para amortiguadores cuyos extremos están articulados como se muestra en la Figura 2. 54:

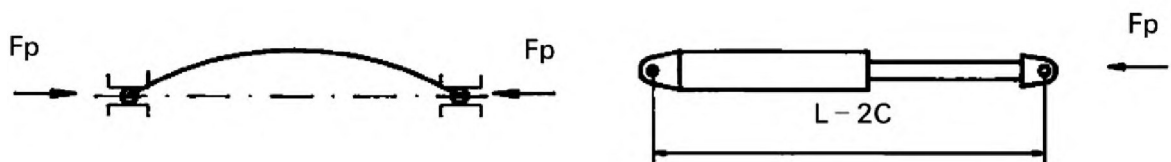


Figura 2. 54. Fijación de cilindro libre y extremos articulados.  
(Fuente: [48])

Por lo tanto, para el presente caso la ecuación a usar es:



$$F_p = \frac{\pi^2 \times E \times I}{4 \times C^2 \times C_s} \quad (10)$$

Donde:

$F_p$  = Fuerza axial sobre el vástago en daN.

$E$  = Módulo de elasticidad del vástago en  $\frac{daN}{cm^2}$ ; para el acero ( $2,05 \times 10^6 \text{ daN/cm}^2$ ).

$I$  = Momento de inercia del vástago (sección) en  $cm^4$ .

$C$  = Carrera del vástago en cm.

$C_s$  = Coeficiente de seguridad en el círculo (valor referencial: 4).

Para el cálculo de la inercia de la sección del vástago se emplea (11), la cual está dada por:

$$I = \frac{\pi \times d^4}{64} \quad (11)$$

Por lo tanto, se tiene que:

$$I = \frac{\pi \times (0,8)^4}{64} = 0,020 \text{ cm}^4$$

Reemplazando este valor en (10) se tiene:

$$F_p = \frac{\pi^2 \times (2,05 \times 10^6) \times (0,020)}{4 \times (10)^2 \times 4} = 252,9 \text{ daN}$$

Este valor se reemplaza en (9) obteniendo:

$$\sigma_{adm} = \frac{4 \times (252,9)}{\pi \times (8)^2} = 5,03 \frac{daN}{mm^2} = 50,3 \text{ MPa}$$

Por lo tanto, para el vástago se calcula un factor de seguridad, con la finalidad de determinar su comportamiento, obteniendo así lo siguiente:

$$FS = \frac{S_y}{\sigma_{adm}} = \frac{250}{50,3} = 4,97$$

De esta forma se comprueba que el vástago no fallará durante el trabajo.

- Camisa del amortiguador: en esta sección se calculará el esfuerzo admisible generado en las paredes de la camisa con la finalidad de determinar su estado durante el trabajo del amortiguador; para lo cual se emplea (12):

$$\sigma_{adm} = \frac{p \times D}{2 \times e} \quad (12)$$

Donde:

$\sigma_{adm}$  = Esfuerzo admisible en el material en  $\frac{daN}{mm^2}$ .

$p$  = Presión interior del cilindro en bar (3 bar).

$D$  = Diámetro interior de la camisa en cm (1,5 cm).

$e$  = Espesor de la pared de la camisa en cm (0,25 cm).

Por lo tanto, se tiene que:

$$\sigma_{adm} = \frac{(3) \times (1,5)}{2 \times (0,25)} = 90 \text{ MPa}$$

Analizando su factor de seguridad, se tiene:

$$FS = \frac{Sy}{\sigma_{adm}} = \frac{250}{90} = 2,77$$

De esta forma se garantiza que el amortiguador seleccionado es el ideal para la aplicación en la estructura.

### **Guías, correas o rieles**

Para poder facilitar el movimiento vertical que permite el acoplamiento del molde positivo con el negativo se opta por un par de guías metálicas, las cuales están diseñadas para soportar un determinado número de ciclos dependiendo de la carga que se aplique gracias a sus rodamientos internos.

Al tener un peso máximo de 15 kg como referencia de toda la máquina se optará por el producto "TRA4613SMC STEN", el cual dispone de varios modelos con longitudes que van de los 300 mm a los 650 mm.

Por motivos de diseño y disponibilidad se escoge el modelo de 500 mm, el cual es suficiente para soportar cargas mínimas de 24 kg por 10000 ciclos o cargas de 36 kg por 100000 ciclos. En el ANEXO II, se presenta el modelo escogido y en donde también se encuentran otros modelos con características distintas, obtenido del catálogo de correas de Thomas Regout [49].

### 2.3.2.5. Diseño de la base

La base es la encargada de soportar todo el conjunto, se lo puede ver en la Figura 2. 55.

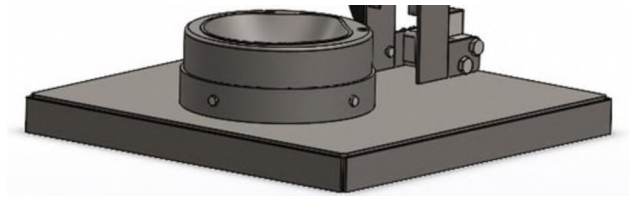


Figura 2. 55. Base de la estructura.  
(Fuente: Propia)

Con los cálculos obtenidos recientemente, se puede ver que el acero ASTM A36 es muy resistente, pero de igual manera se va a determinar si podrá aguantar el peso de la estructura y de los moldes, se puede ver en la Figura 2. 56 la vista frontal y lateral de la base.

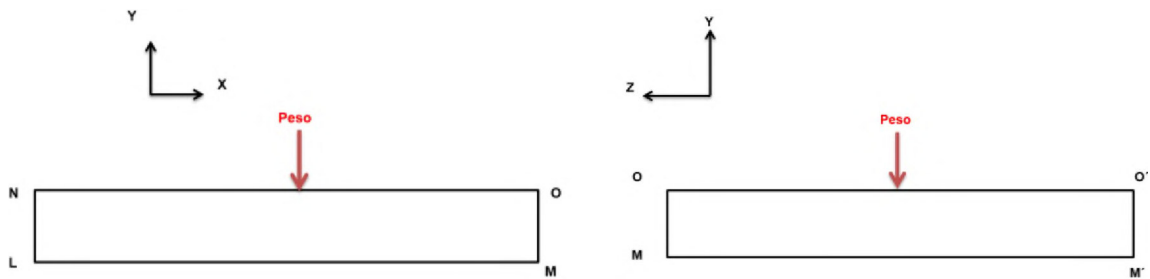


Figura 2. 56. DCL de la base de la estructura.  
(Fuente: Propia)

Se asume que la carga distribuida se convierte en una carga puntual en el centro de la placa, tanto para el eje X y para el eje Z, donde estarán los puntos críticos, y a la base se lo considera un pórtico. Para garantizar el funcionamiento correcto se usan las ecuaciones (12), (13), (14), (15), (16) y (17) de [26]:

$$\sigma_F = \frac{M c}{I} \quad (12)$$

$$\sigma_N = \frac{F}{A} \quad (13)$$

$$P = \frac{\pi EI}{(kL)^2} \quad (14)$$

$$\tau_V = \frac{F}{A} \quad (15)$$

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (16)$$

$$\sigma' = \sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \quad (17)$$

Pero antes se debe calcular los esfuerzos y se debe realizar los respectivos diagramas de cortante y de momento (Ver Figura 2. 57), pero para el cálculo de estos esfuerzos se los puede hacer mediante las ecuaciones de equilibrio. Obteniendo las reacciones:

$$R_{Ly} = R_{My} = R_{L'y} = R_{M'y} = \frac{\text{Peso total}}{4}$$

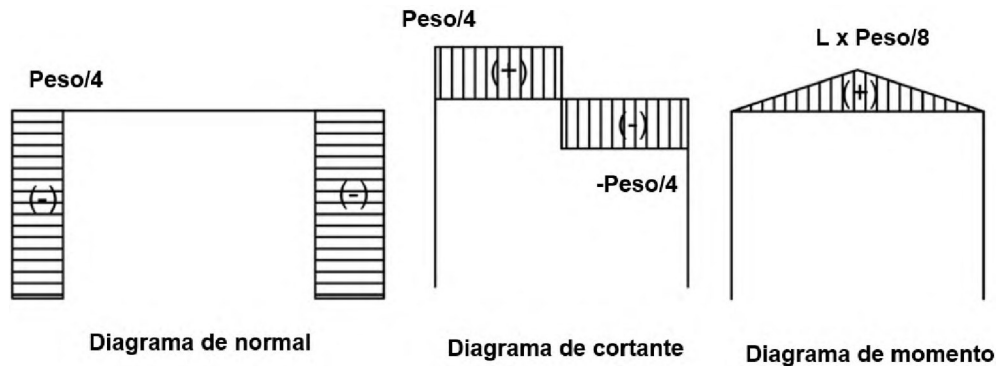


Figura 2. 57. Diagramas a partir de la vista frontal.  
(Fuente: Propia)

Como se ve en el diagrama de normal, las placas de la base van a estar trabajando a compresión como columnas, por lo que a través de (13) se podrá saber que peso resistirá las pletinas de la base y con (14) se sabe el peso crítico que resiste a través de la esbeltez (el caso para estas columnas muestra un  $k=2$ , tomado del ANEXO II).

$$\sigma_N = \frac{F}{A} = \frac{S_y}{F.S.} \rightarrow F.S. = \frac{A \times S_y}{F} = \frac{0,003 \times 0,35 \times 250 \text{ MPa}}{150/4} = 7000$$

$$P = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 206,8 \text{ GPa} \times \frac{0,35 \times 0,003^3}{12}}{(2 \times 0,03)^2} = 446,48 \text{ kN}$$

Con estos resultados se puede ver que las placas de la base soportarán ya que el peso de la máquina llega tan solo a ser de menos de 150 N. Y finalmente para saber si la placa de la base funciona, se calculará el peso que soportará funcionando como viga a través de (12) en el punto crítico que sería en la mitad de la base como se muestra en los diagramas.

$$\sigma_F = \frac{M c}{I} = \frac{L \times P \times c}{8I} = \frac{S_y}{F.S.} \rightarrow F.S. = \frac{S_y \times 8I}{P \times L \times c} = \frac{250 \text{ MPa} \times 8 \times \frac{0,35 \times 0,003^3}{12}}{150 \times 0,35 \times 0,0015} = 20$$

$$\tau_V = \frac{F}{A} = \frac{S_y}{F.S.} \rightarrow F.S. = \frac{A \times S_y}{F} = \frac{0,35 \times 0,003 \times 250 \text{ MPa}}{150/4} = 7000$$

Se muestra F.S. mayores al propuesto por lo que resistirá el peso de toda la estructura.

### 2.3.2.6. Diseño de la columna

Se usa pletinas de espesor de 3 mm que hacen de columna principal como se lo puede ver en la Figura 2. 58. Por lo que se asume los cálculos como si se tratase de una columna empotrada en un extremo a la placa base y el otro extremo está libre, donde soporta la fuerza ejercida por el amortiguador y este a su vez soporta el peso del molde positivo. El DCL se lo puede ver en la Figura 2. 59.



Figura 2. 58. Columnas principales.  
(Fuente: Propia)

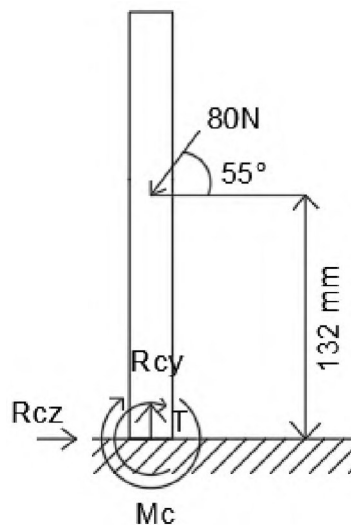


Figura 2. 59. DCL de la columna.  
(Fuente: Propia)

Usando las 3 ecuaciones de equilibrio, se puede determinar que la reacción en el eje z “ $R_{cz}$ ” es igual a la componente en z de la fuerza del amortiguador. La reacción en el eje y

“ $R_{cy}$ ” es igual a la componente en y de la fuerza del amortiguador. Con la tercera ecuación de equilibrio se obtiene que el momento del empotramiento “ $M_c$ ” es igual al momento generado por la componente en z de la fuerza ejercida por el amortiguador multiplicado por el brazo de palanca. Y por último la torsión generada por la componente en z de la fuerza generada por el amortiguador. Obteniendo así:

$$R_{cy} = 80 \sin(55^\circ) = 65,53 \text{ N}$$

$$R_{cz} = 80 \cos(55^\circ) = 45,88 \text{ N}$$

$$M_c = 80 \cos(55^\circ) \times 0,132 \text{ m} = 6 \text{ Nm}$$

$$T = 80 \cos(55^\circ) \times 0,01 \text{ m} = 0,46 \text{ Nm}$$

Y en la Figura 2. 60 se observa los diagramas de normal, de cortante, de torsión y de momento:

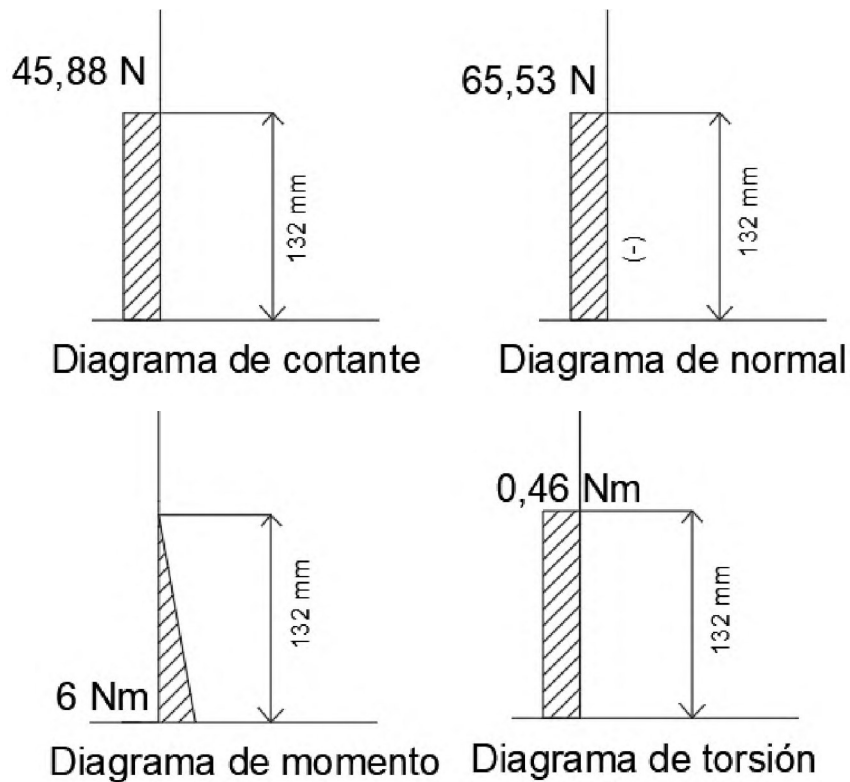


Figura 2. 60. Diagramas de la columna.  
(Fuente: Propia)

Con (12), (13), (14), (15) y (16) y (17) se determina el factor de seguridad en el punto crítico el cual está ubicado en la parte izquierda del empotramiento donde el esfuerzo es mayor porque se suman los esfuerzos de compresión.

$$\sigma = \sigma_F + \sigma_N = \frac{M_c}{I} + \frac{F}{A} = \frac{6 \times 0,019}{\frac{0,003 \times 0,038^3}{12}} + \frac{65,53}{0,003 \times 0,038} = 8,88 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{Tr}{J} + \frac{F}{A} = \frac{0,46 \times 0,019}{\frac{0,003 \times 0,038(0,003^2 + 0,038^2)}{12}} + \frac{45,88}{0,003 \times 0,038} = 1,228 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sqrt{8,88^2 + 3 \times 1,228^2} = 9,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{F.S.} \rightarrow F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{9,13 \text{ MPa}} = 27$$

$$P = \frac{\pi^2 EI_{min}}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 206,8 \text{ GPa} \times \frac{0,038 \times 0,003^3}{12}}{(2 \times 0,132)^2} = 2,5 \text{ kN}$$

Se muestra F.S. mayores al propuesto por lo que resistirá el peso de toda la estructura y por pandeo soporta una carga mayor a carga crítica.

### 2.3.2.7. Diseño de vigas

Se usa perfiles cuadrados de 30x30x3 mm que hacen de vigas para sostener el molde positivo como se lo puede ver en la Figura 2. 61. Se asume los cálculos como si se tratase de una viga empotrada en un extremo a la placa base y el otro extremo está libre, donde soporta la fuerza ejercida por el amortiguador y este a su vez soporta el peso del molde positivo.

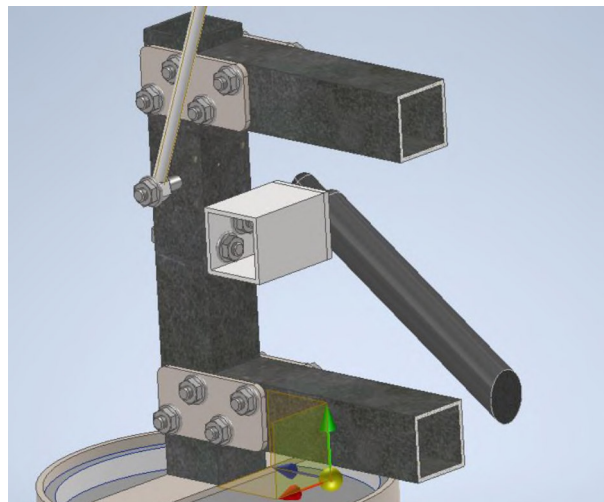


Figura 2. 61. Perfiles 30x30x3 mm funcionando de vigas.  
(Fuente: Propia)

Gracias a las propiedades del software utilizado se puede aproximar la ubicación del centro de gravedad, la cual será útil para pasar esta fuerza central a un momento y una fuerza aplicada donde se conectan las piezas, las cuales generan esfuerzos de tracción y de flexión generada por el peso de todo el sistema. Ver Figura 2. 59, Figura 2. 60.

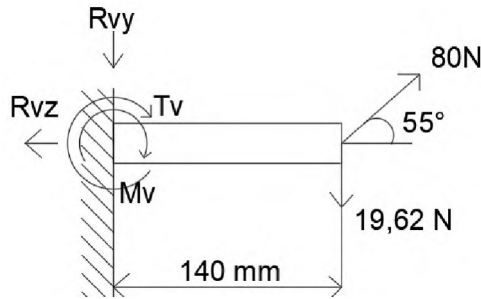


Figura 2. 62. DCL de la viga.  
(Fuente: Propia)

Usando las 3 ecuaciones de equilibrio, se puede determinar que la reacción en el eje z “Rvz” es igual a la componente en z de la fuerza del amortiguador. La reacción en el eje y “Rvy” es igual a la componente en y de la fuerza del amortiguador menos el peso del molde negativo. Y con la tercera ecuación de equilibrio se obtiene que el momento del empotramiento “Mv” es igual al momento generado por la componente en z de la fuerza ejercida por el amortiguador y al peso del molde positivo, ambos multiplicados por el brazo de palanca. Obteniendo así:

$$Rv_y = 80 \sin(55^\circ) - 19,62 = 45,91 \text{ N}$$

$$Rv_z = 80 \cos(55^\circ) = 45,88 \text{ N}$$

$$Mv = (80 \cos(55^\circ) - 19,62) \times 0,14 \text{ m} = 6,43 \text{ Nm}$$

$$Tv = 80 \sin(55^\circ) \times 0,04 \text{ m} = 2,62 \text{ Nm}$$

Y en la Figura 2. 63 se observa los diagramas de normal, de cortante, de torsión y de momento:

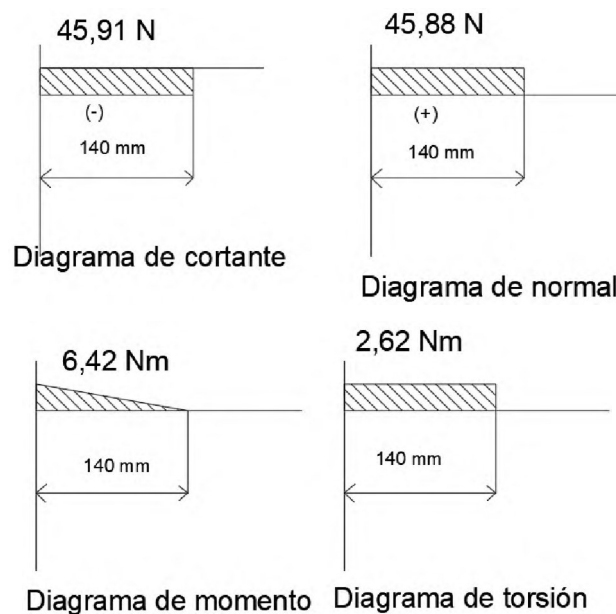


Figura 2. 63. Diagramas de normal y de momento de la columna.  
(Fuente: Propia)



Con (12), (13), (14), (15) y (16) y (17) se determina el factor de seguridad en el punto crítico el cual está ubicado en la parte inferior del empotramiento donde el esfuerzo es mayor porque se suman los esfuerzos de tracción.

$$\sigma = \sigma_F + \sigma_N = \frac{M c}{I} + \frac{F}{A} = \frac{6,42 \times 0,015}{\frac{0,03 \times 0,03^3}{12} - \frac{0,027 \times 0,027^3}{12}} + \frac{45,88}{0,03 \times 0,03 - 0,027 \times 0,027}$$

$$= 4,41 \text{ MPa}$$

$$\tau = \frac{T r}{J} + \frac{F}{A} = \frac{2,62 \times 0,015}{\frac{0,03^4}{6} - \frac{0,027^4}{6}} + \frac{45,91}{0,03 \times 0,03 - 0,027 \times 0,027} = 1,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \sqrt{4,41^2 + 3 \times 1,11^2} = 4,81 \text{ MPa}$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{F.S.} \rightarrow F.S. = \frac{250 \text{ MPa}}{4,81 \text{ MPa}} = 51,96$$

$$P = \frac{\pi^2 E I_{\min}}{(kL)^2} = \frac{\pi^2 \times 206,8 \text{ GPa} \times \left( \frac{0,03 \times 0,03^3}{12} - \frac{0,027 \times 0,027^3}{12} \right)}{(2 \times 0,14)^2} = 604,32 \text{ kN}$$

Se muestra F.S. mayores al propuesto por lo que resistirá el peso del molde positivo y la fuerza del amortiguador, además que no va a presentar problemas por pandeo ya que la fuerza aplicada por compresión es menor a la carga crítica.

### 2.3.3. Diseño y análisis térmico del sistema de calentamiento

A continuación, para el diseño del sistema de calentamiento de la termoformadora, se detallan los métodos y el comportamiento de la transferencia de calor en el molde positivo donde se va a colocar la resistencia eléctrica.

#### 2.3.3.1. Requerimientos básicos

Para el proceso de termoformado mecánico se debe establecer ciertos puntos o requerimientos que sirvan como punto de salida para poder analizar el comportamiento de los materiales a calentar y enfriar:

- Se usará una resistencia eléctrica de 1000 W (ver Figura 2. 64), incluida en una cocineta eléctrica que se tenía disponible, gracias a su construcción y su controlador de temperatura de 6 niveles podrá generar el calor necesario para termoformar el material, esta temperatura de trabajo está rodeando los 150°C

según las normas de fabricación de esta cocineta obtenida de la página Made-in-China [5], que establece un promedio de 30 °C por cada nivel usado en la perilla.

- Se colocará este sistema de calentamiento solo en el molde positivo, ya que el calentamiento por ambos moldes (calentamiento tipo sándwich) se lo usa para termoformar materiales con un espesor total mayor a 6 mm según Plastiglas [14].



Figura 2. 64. Cocineta eléctrica usada como sistema de calentamiento.  
(Fuente: Propia)

A continuación, se presenta la Tabla 2. 34 con algunos valores aproximados de ciertas propiedades de los materiales ocupados para el cálculo del tiempo que requerirá el equipo para alcanzar la temperatura deseada.

Tabla 2. 34. Propiedades para distintos materiales poliméricos.

Material	Densidad kg/m <sup>3</sup>	Calor Específico (kJ/kg K)	k (W/m K)	h (W/m <sup>2</sup> K)	Espesor (m)
Polipropileno	900	1,7	0,1-0,22	-	0,003
Poliéster	1200	1,35	0,033-0,038	-	0,0025
Duraluminio 7075	2800	0,857	153	-	0,03 y 0,072
Aire	1	1,01	-	2-25	-
Resistencia (acero inoxidable)	8055	0,519	-	-	0,007

(Fuente: [14], [17], [18] y [44])

### 2.3.3.2. Requerimientos de los moldes

Para determinar la potencia eléctrica requerida para calentar el molde positivo, que será el que transmita el calor al material, se usará un balance de energía (18).

$$E_{in} - E_{out} = E_{alm} - E_{gen} \rightarrow 0 \quad (18)$$

$$E_{in} - E_{out} = E_{alm}$$

Dónde:

$E_{in}$ : va a ser igual al calor que ingresa por el sistema de calentamiento ( $W\Delta t$ ).

$E_{out}$ : va a ser igual al calor que se pierde por unidad de tiempo ( $Q_{conv} \Delta t$ ).

$E_{alm}$ : va a ser calculado con la ecuación (1).

$$(1000 - Q_{conv}) \times \Delta t = (m_P c_{pD} + m_R c_{pR})(\Delta T)$$

Dónde:

$\Delta t_P$ : Tiempo requerido para que el molde positivo alcance la temperatura deseada para termoformar (segundos).

$m_P$  y  $m_R$ : Masa del molde positivo y de la resistencia respectivamente (kg).

$c_{pD}$  y  $c_{pR}$ : Calor específico del duraluminio y de la resistencia respectivamente (kJ/kg K).

$\Delta T$ : Diferencia de temperaturas entre la ambiental y la requerida para termoformar (130 K).

Despejando la variable del tiempo se obtiene:

$$\Delta t_P = \frac{(m_P c_{pD} + m_R c_{pR})(\Delta T)}{(1000 - Q_{conv})}$$

Con (19) calcula el calor perdido por convección obtenido de F. Incropera [43].

$$Q_{conv} = A_S h (T_S - T_\infty) \quad (19)$$

Dónde:

$A_S$ : Superficie moldes ( $m^2$ ) =  $2\pi$  x radio de los moldes x altura de los moldes + superficie superior de los moldes.

$h$ : Coeficiente de convección natural (kg) = 11 W/m<sup>2</sup> K según E. Cadena [46], debido a que se considera un ambiente cerrado y una velocidad de viento relativamente muy baja.

$T_S$ : Temperatura de la superficie (K).

$T_\infty$ : Temperatura del medio (K).

$$A_S = 2\pi r h + \pi r^2 = (2\pi \times 0,075 \times 0,03) + (2\pi \times 0,07 \times 0,072) + (\pi \times 0,075^2)$$

$$= 0,06347 \text{ m}^2$$

$$Q_{conv} = 0,06347 \text{ m}^2 \times 11 \frac{W}{\text{m}^2 \text{ K}} (150 - 20) \text{ K} = 90,77 \text{ W}$$

Y así finalmente se obtiene el tiempo requerido que tomará poner en marcha el equipo:

$$\Delta t_p = \frac{(2,015 \times 0,857 + 1,36 \times 0,519) \text{kg} \times \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} (150 - 20) \text{K}}{(1000 - 90,77) \text{W}} = 347,82 \text{ segundos} = 5,8 \text{ min}$$

Ahora el calentamiento del molde negativo se dará por conducción producida por el molde positivo una vez caliente, por lo que se calcula el calor requerido por el molde negativo.

### 2.3.3.3. Requerimientos de la mascarilla

Retomando lo mencionado en el punto 2.1.2.4, se procede a calcular el calor requerido por cada capa de material que conforma la mascarilla y el molde positivo, al final se sumarán todos los calores para de esta manera determinar el calor total requerido; para las dimensiones del material se cortarán secciones cuadradas de material de 200x200 mm; además se emplearán las propiedades de densidad, calor específico para cada material de [14, 17 y 18].

Por lo tanto; se tiene que:

- Capa externa de polipropileno

Propiedades (ANEXO I):

Peso: 0,07 kg/m<sup>2</sup>

$$Q_{requerido} = 0,2 \times 0,2 \text{ m}^2 \times 0,07 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1,7 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (130\text{K}) = 618,8 \text{ J}$$

- Filtro de poliéster

Propiedades:

Peso: 0,05 kg/m<sup>2</sup>

$$Q_{requerido} = 0,2 \times 0,2 \text{ m}^2 \times 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (130\text{K}) = 351 \text{ J}$$

- Capa interna de poliéster

Propiedades:

Peso: 0,05 kg/m<sup>2</sup>

$$Q_{requerido} = 0,2 \times 0,2 \text{ m}^2 \times 0,05 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1,35 \frac{\text{kJ}}{\text{kgK}} \times (130\text{K}) = 1320,8 \text{ J}$$

Por lo tanto, el calor total requerido para termoformar las tres distintas capas de material será la suma del calor individual por capa; vale recalcar que para el cálculo previamente realizado se asumió una temperatura ambiente de 20°C y así mismo se asumió una temperatura del proceso de 150°C ya que como se presentó en Tabla 2. 1 a esta temperatura se puede termoformar polipropileno y poliéster sin generar daños en el material; de esta manera se tiene que:

$$Q_{total\ requerido} = 1320,8 \text{ J}$$

El calor total requerido para termoformar las tres capas de material es de 508,14 J. Ahora la transferencia de calor de los moldes a las telas se da por conducción, por lo que para calcular el calor ofrecido por el molde caliente se lo calcula con (20).

$$q_{ofrecido} = \frac{\Delta T}{R_{tot}} \tag{20}$$

$$q_{ofrecido} = \frac{\Delta T}{\frac{L_{PP}}{k_{PP}} + \frac{L_{PET}}{k_{PRT}} + \frac{L_{PET}}{k_{PRT}}}$$

$$q_{ofrecido} = \frac{130 \text{ K}}{\frac{0,003\text{m}}{0,22 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} + \frac{0,0025\text{m}}{0,038 \frac{\text{W}}{\text{m K}}} + \frac{0,0025\text{m}}{0,038 \frac{\text{W}}{\text{m K}}}} = 895,22 \text{ W}$$

$$\Delta t_{mascarilla} = \frac{Q_{total\ requerido}}{q_{ofrecido}} = \frac{1320,8 \text{ J}}{895,22 \text{ W}} = 1,5 \text{ seg}$$

#### 2.3.3.4. Componentes y funcionamiento del sistema de calentamiento

Se aclara también que, al adquirir esta cocineta como sistema de calentamiento, se tendrá un rango de temperaturas constante de trabajo gracias a que el equipo ya incluye un termostato bimetalico, este hace que este sistema funcione como un control de lazo cerrado, el cual busca encenderse para alcanzar una temperatura específica (set point) y se apaga al llegar a determinada temperatura, para luego encenderse de nuevo y así tratar de mantener un rango de temperaturas estables, para esto requiere una retroalimentación

para saber a qué temperatura está trabajando, todo esto mencionado se lo puede ver en la Figura 2. 65.

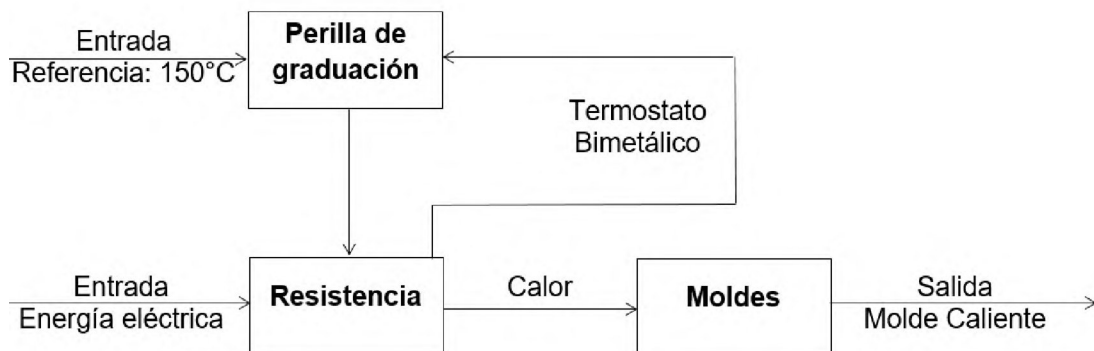


Figura 2. 65. Diagrama de bloques del sistema de calentamiento.  
(Fuente: Propia)

## 2.4. Elaboración de CAD/CAM de la matriz

Una vez definidas las características con las cuales debe cumplir el conjunto de moldes, así como también el producto que se obtenga de estos dos (mascarilla termoformada) se procede al desarrollo de dos secciones fundamentales para la materialización de dicho conjunto, las cuales son la elaboración del CAD en donde se diseñará el conjunto de moldes con la finalidad de obtener cuerpos sólidos con la geometría deseada; y mediante el CAM se obtendrá el código que permita mecanizar las piezas en un centro de mecanizado CNC una vez definidas las variables que intervienen en el proceso; a continuación, se desarrolla cada una de las secciones mencionadas.

### 2.4.1. Diseño de los archivos CAD

Para la elaboración del modelo 3D de los distintos moldes se emplea el software de diseño SOLIDWORKS, con el cual se pueden obtener las geometrías deseadas y variar las dimensiones dependiendo de los requerimientos; por lo tanto, para el diseño de los moldes positivo y negativo se realiza el siguiente procedimiento:

Para generar el conjunto de moldes se usa como base el sólido con la geometría de la mascarilla deseada previamente diseñado; a continuación, se detalla el procedimiento para la obtención del conjunto de moldes:

- Abrir el archivo de la pieza sólida con la geometría deseada de la mascarilla.
- Habilitar la opción "Herramientas de moldes" en SolidWorks.

- Elegir la opción “Líneas de separación” y en la casilla parámetros de molde seleccionar la cara posterior (base) del sólido.
- Seleccionar la opción “Análisis de ángulo de salida” con la finalidad de que el software verifique el valor del ángulo con el cual el cuerpo sólido seleccionado se desmolda sin problemas.
- Una vez realizados los pasos anteriores, verificar que el contorno de la base presenta un color distinto al de la cara como se observa en la Figura 2. 66 donde se indica que se está realizando la operación correctamente; una vez comprobado esto se acepta la operación.

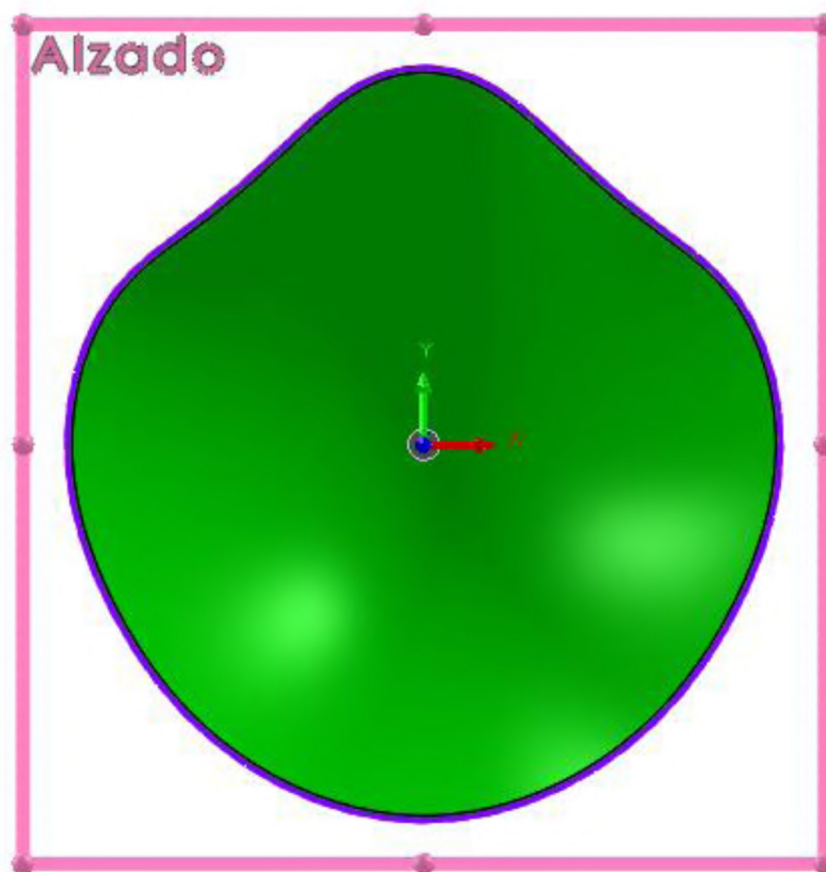


Figura 2. 66. Operación de líneas de separación.  
(Fuente: Propia)

- A continuación, se elige la operación “Superficie de separación”; la cual permite delimitar la zona en la cual termina un molde e inicia el otro; para el presente caso se selecciona la base del sólido como zona de separación; hay que recalcar que la superficie de separación debe ser mayor a la del molde que se desea obtener; para el presente caso se le da un valor de 35,5 mm y se acepta la operación; en la Figura 2. 67, se puede observar la región en la cual será la zona de separación.

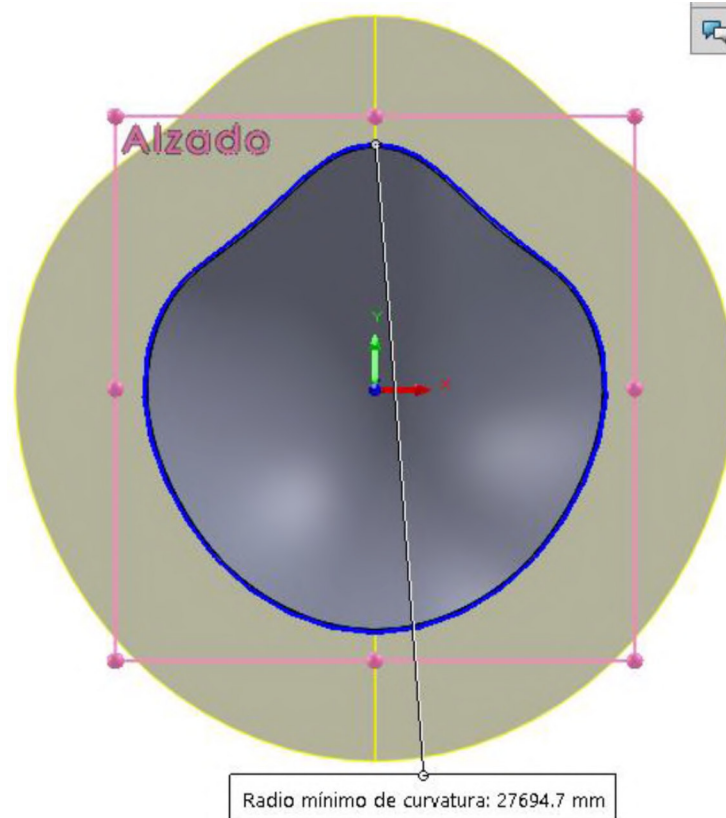


Figura 2. 67. Superficie donde se dividirán los moldes generados.  
(Fuente: Propia)

- Se procede a dibujar la geometría externa deseada del molde; en este caso en específico con la finalidad de facilitar la construcción de estos moldes se generarán los mismos con una geometría similar a la del contorno de la mascarilla para luego ser corregida mediante la operación de “Extruir” con la finalidad de que cumplan las dimensiones previamente definidas; una vez definida la geometría deseada misma que fue obtenida mediante la operación “Equidistar entidades”, se aprecia en la Figura 2. 68, se acepta el croquis y a continuación, se realiza la operación “Núcleo/Cavidad” la misma que permite obtener el conjunto de moldes; en las opciones de la operación se definen los espesores; para el caso del molde positivo al no tener un espesor recomendado se da un espesor de 50mm con la finalidad de obtener una base rígida que evite posibles deformaciones en el mismo; para el espesor del molde negativo se obtuvo por recomendación un espesor de 84 mm sin embargo por facilidad de mecanizado se le da un espesor final de 90 mm; en la Figura 2. 69, se aprecia la vista previa de los moldes superior e inferior, los cuales cubren toda la geometría en forma de mascarilla, que se van a generar con la herramienta operación núcleo/cavidad ejecutada correctamente; una vez verificada la misma se acepta la operación.



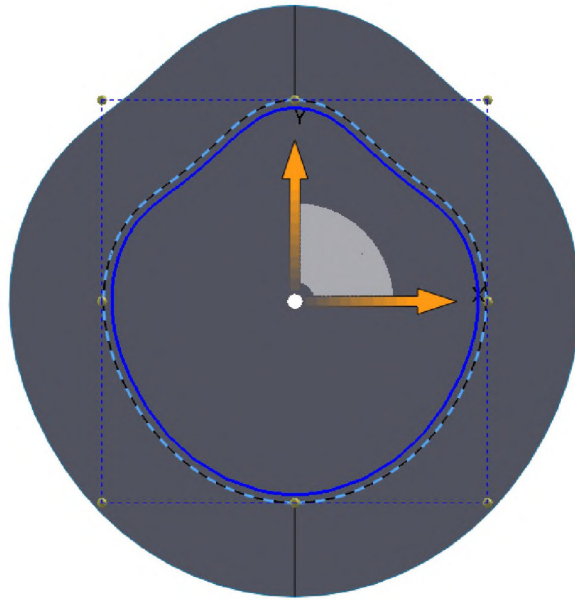


Figura 2. 68. Croquis definido con el contorno de la base de la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

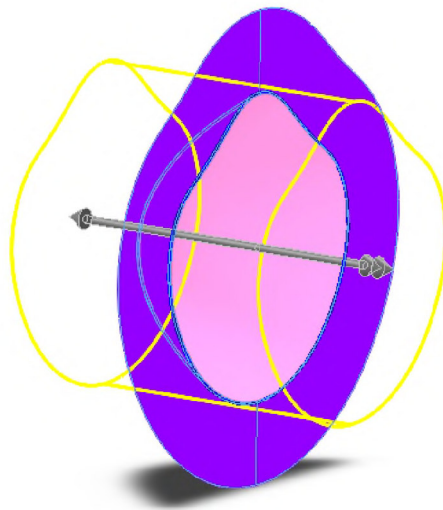


Figura 2. 69. Operación núcleo/cavidad para la vista previa de los moldes.  
(Fuente: Propia)

- Una vez realizados los pasos anteriores se crea un nuevo sólido como se aprecia en la Figura 2. 70, y a su vez se crea la carpeta sólidos, la cual cuenta con tres elementos los mismos que son: "Núcleo/Cavidad 1 [1]" el cual para el presente caso es el molde positivo, "Núcleo/Cavidad 1 [2]" el cual corresponde al molde negativo y "Línea de partición 1 [1]" que corresponde al sólido o cuerpo que se encuentra entre los mismos; por lo tanto, sobre el sólido denominado "Núcleo/Cavidad 1 [1]" se da clic derecho y se selecciona la opción insertar una nueva pieza y se acepta; esto con la finalidad de aislar el molde positivo obtenido; se sigue el mismo

procedimiento para aislar el molde negativo y se guardan los nuevos sólidos; como se aprecia en la Figura 2. 71; el paso final corresponde a, mediante la operación “Extruir” generar la geometría rectangular, misma que cumple con las dimensiones recomendadas y que se definieron anteriormente como se observa en la Figura 2. 72.

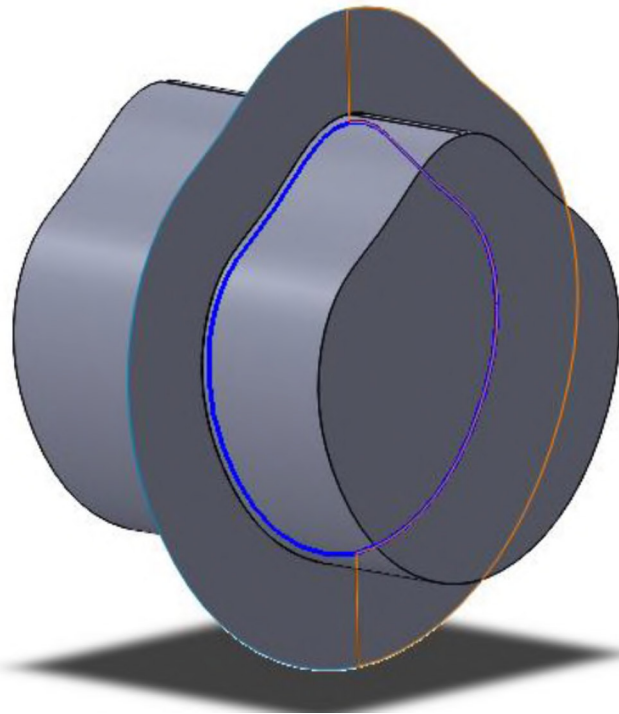


Figura 2. 70. Nuevo sólido obtenido.  
(Fuente: Propia)

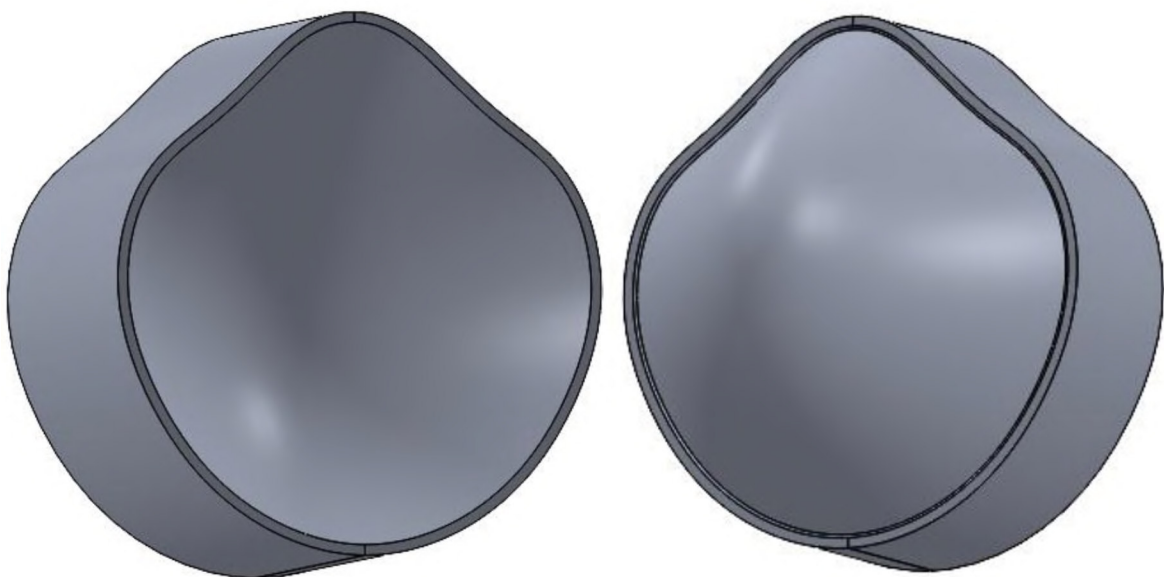


Figura 2. 71. Molde negativo (izquierda) y positivo (derecha)  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 72. Moldes positivo y negativo con la configuración final.  
(Fuente: Propia)

Finalmente, se realiza un ensamble entre moldes positivo y negativo con la finalidad de verificar como se acoplan los mismos; y para verificar la tolerancia entre los mismos; se realiza una vista de sección en el plano de dicho ensamble y se procede a acotar el mismo dando una distancia entre superficies de 1,02 mm misma deseada en el punto 2.3.1.1, esto se puede verificar en la Figura 2. 73.

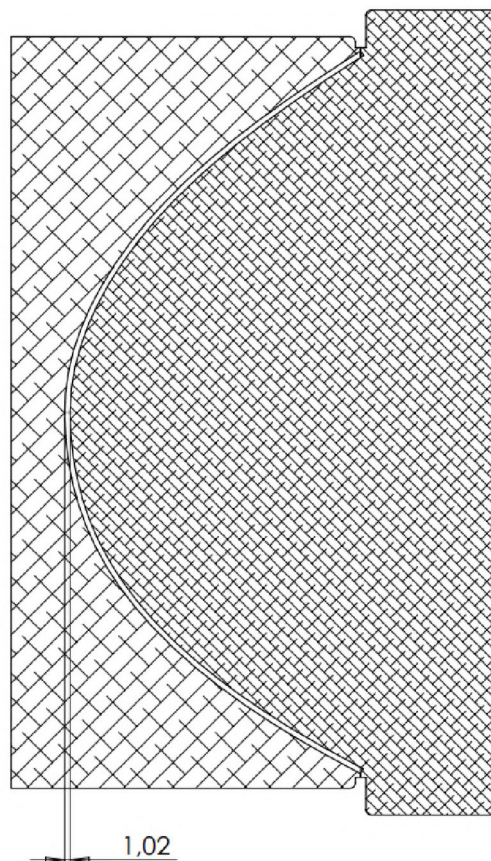


Figura 2. 73. Distancia entre superficies de los moldes de 1,02 mm.  
(Fuente: Propia)

## 2.4.2. Obtención de las piezas en CAM

Como se mencionó anteriormente en esta sección se busca obtener el código que permita mecanizar los elementos en un centro de mecanizado CNC; para lo cual se empleará el software SolidCAM2016 para ingresar las variables necesarias, así como también para la posterior simulación de la trayectoria de las herramientas durante el mecanizado; a continuación, se describe el procedimiento que se empleó para la obtención del código.

En primer lugar, se inserta la pieza a trabajar; para el presente caso se ingresa el sólido de cada molde por separado en archivos diferentes.

Una vez ingresada la pieza en las opciones de SOLIDWORKS se elige la opción HERRAMIENTAS, una vez aquí se elige SolidCAM luego, se selecciona la opción NEW y se finaliza eligiendo la opción MILLING.

Una vez realizado el paso anterior se despliega una pestaña en la cual se debe elegir el nombre con el cual se desea almacenar el archivo, la ubicación donde se desea almacenar el archivo, así como también el sistema de unidades siendo para el presente caso unidades métricas; como se observa en la Figura 2. 74.

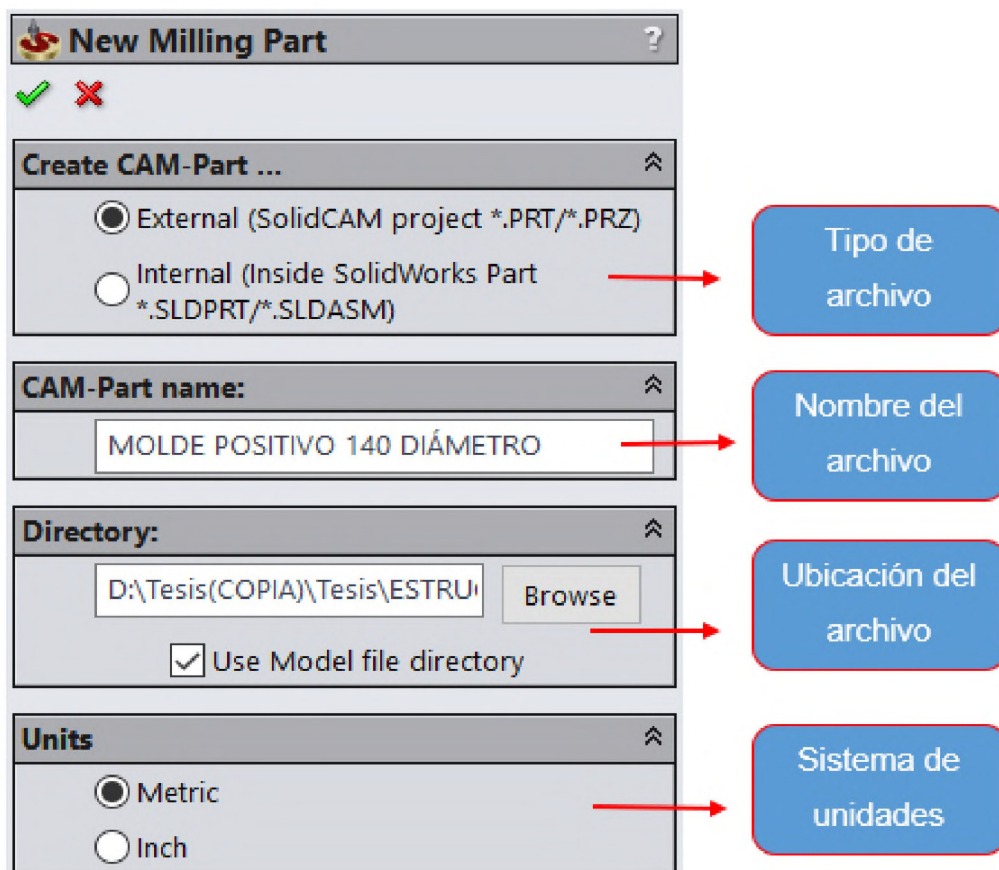


Figura 2. 74. Pestaña de selección de parámetros para el nuevo archivo.  
(Fuente: Propia)

Finalmente se acepta esta pestaña y automáticamente se genera una nueva pestaña denominada “Datos de la pieza a fresar”, en la cual se debe seleccionar los siguientes parámetros:

- Tipo de máquina CNC.
- Sistema de coordenadas.
- Geometría inicial del sólido.

Por lo tanto, se selecciona en “Tipo de máquina CNC” a la opción “CENTROID\_M400AC” que es la máquina con la cual se mecanizará en el presente trabajo.

El siguiente paso es definir el sistema de coordenadas; para la cual se considera el centro del cilindro como punto cero y se lo define como el sistema de coordenadas.

A continuación, se define el parámetro “STOCK” o también conocido como “Geometría inicial del sólido”; para el presente caso se elige geometría de partida un cilindro de dimensiones:

- Diámetro: 140 mm (molde negativo) y 150 mm (molde positivo).
- Altura: 70 mm (molde negativo) y 95 mm (molde positivo).

Una vez definidos correctamente los parámetros anteriores la pestaña “Datos de la pieza a fresar” presenta símbolos de verificación los cuales indican que los parámetros han sido definidos correctamente como se muestra en la Figura 2. 75.

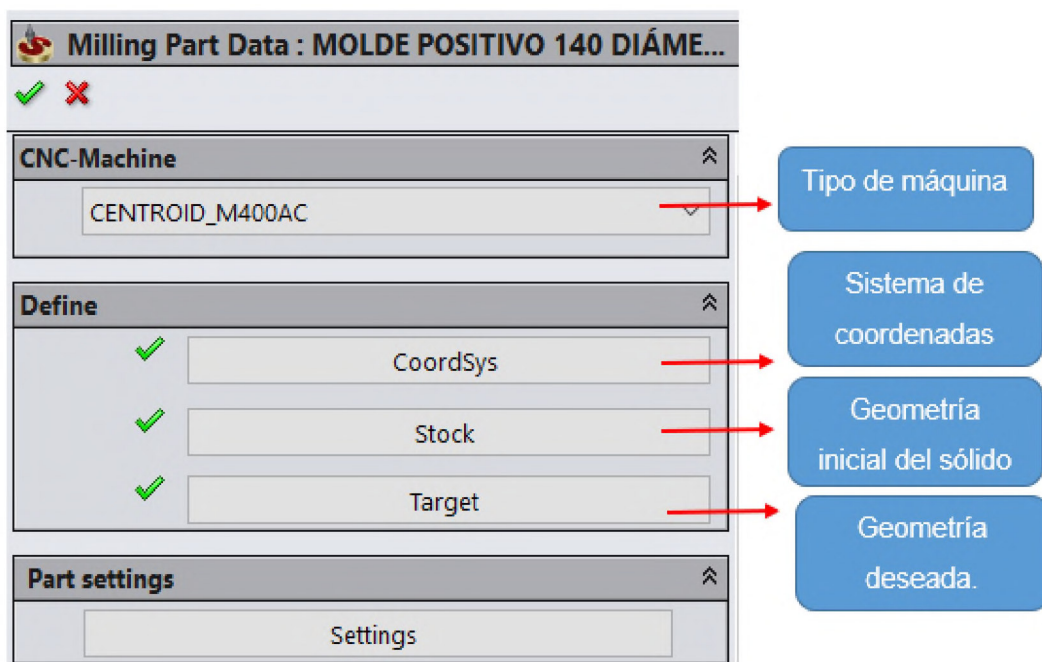


Figura 2. 75. Pestaña “Datos de la pieza a fresar” definida correctamente.  
(Fuente: Propia)

Así mismo, se observa en la Figura 2. 76, la pieza a mecanizar junto con la representación del tocho inicial a partir del cual se obtendrá la pieza.

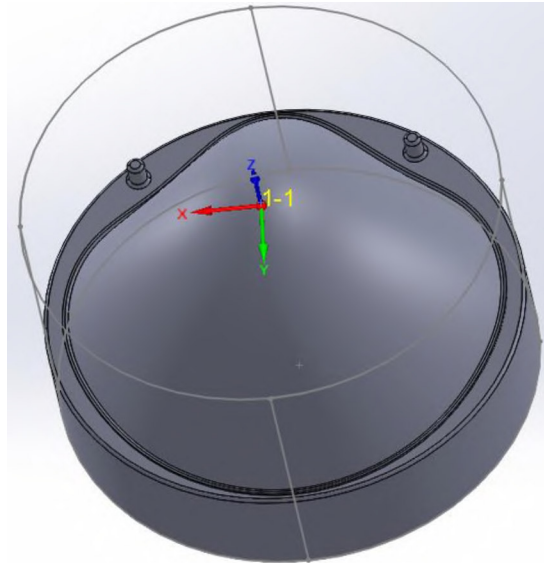


Figura 2. 76. Representación del tocho a partir del cual se obtendrá la geometría final.  
(Fuente: Propia)

A continuación, se procede a definir las operaciones de fresado que se deben realizar sobre el tocho para obtener la geometría deseada; para lo cual básicamente se realizan 2 operaciones las cuales son:

- Desbaste.
- Acabado.

Con estas dos operaciones se puede mecanizar la pieza y obtener la geometría deseada, por lo tanto, se sigue el procedimiento detallado a continuación:

- Se añade una nueva operación de desbaste.
- Se selecciona el CAD que representa la geometría deseada.
- Se selecciona la herramienta de fresado más adecuada para realizar la operación de desbaste; que para el presente caso de desbaste se elige una fresa de vástago cuyo diámetro es de 16 mm.
- Se selecciona los niveles de trabajo que representan las distintas zonas donde se realizará el mecanizado.
- Posteriormente se selecciona la tolerancia entre pases que, para el presente caso al ser una primera operación de desbaste se da un valor de 0.5 mm
- Una vez seleccionados correctamente todos los parámetros antes expuestos se procede a seleccionar el comando "CALCULAR"; con la finalidad de que el software

genere la trayectoria de mecanizado óptima en referencia al cuerpo inicial a mecanizar.

Una vez ejecutados correctamente los pasos anteriores se obtiene una representación de la trayectoria de la herramienta como se observa en la Figura 2. 77, donde se presenta la trayectoria tanto para el molde positivo, así como también para el molde negativo.

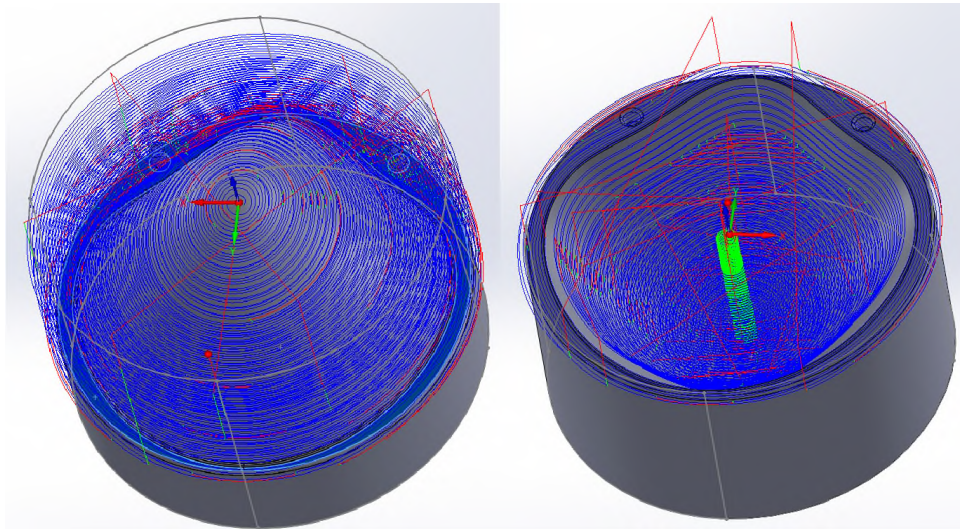


Figura 2. 77. Representación del tocho a partir del cual se obtendrá la geometría final.  
(Fuente: Propia)

Al ejecutar el primer paso de la herramienta de desbaste se obtiene una geometría cercana a la final; sin embargo, la superficie es irregular además de carecer de varios detalles como se aprecia en la Figura 2. 78.

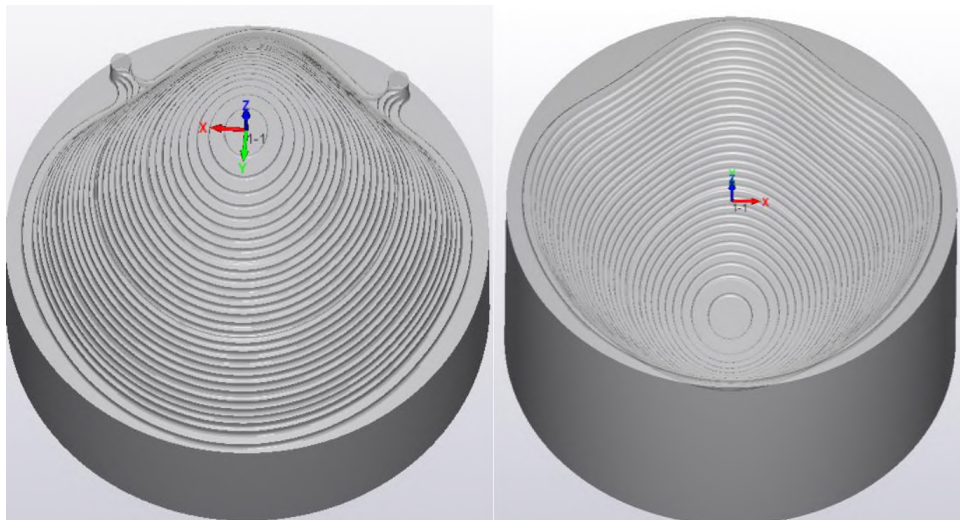


Figura 2. 78. Molde positivo y negativo luego del desbaste (simulado en SolidCAM).  
(Fuente: Propia)

Por lo tanto, en base a la figura anterior se hace evidente la necesidad de realizar una nueva pasada de mecanizado que permita disminuir las irregularidades para lo cual es necesario una nueva herramienta, así como también, incrementar el número de revoluciones de esta; para lo cual se realizará pasadas adicionales de desbaste y de afinamiento o terminado con herramientas distintas las cuales están disponibles en el Laboratorio de Máquinas Herramientas de la EPN.

La geometría de estas fresas permiten obtener una superficie irregular mucho más detallada así como también permite que las tolerancias sean menores lo cual para el presente caso de mecanizado de moldes es lo deseado; el procedimiento es el mismo que se realizó para el desbaste inicial; salvo que para los casos de afinado se selecciona una operación de fresado denominada "3D HSM" que significa "3D high speed machining" ideal para operaciones de acabado; una vez ingresados los parámetros nuevamente se obtiene la trayectoria simulada de la herramienta durante el afinado generada por SolidCAM en los moldes positivo y negativo respectivamente, como se observa en la Figura 2. 79; en este caso la tolerancia en los pases es de 0.01 mm.

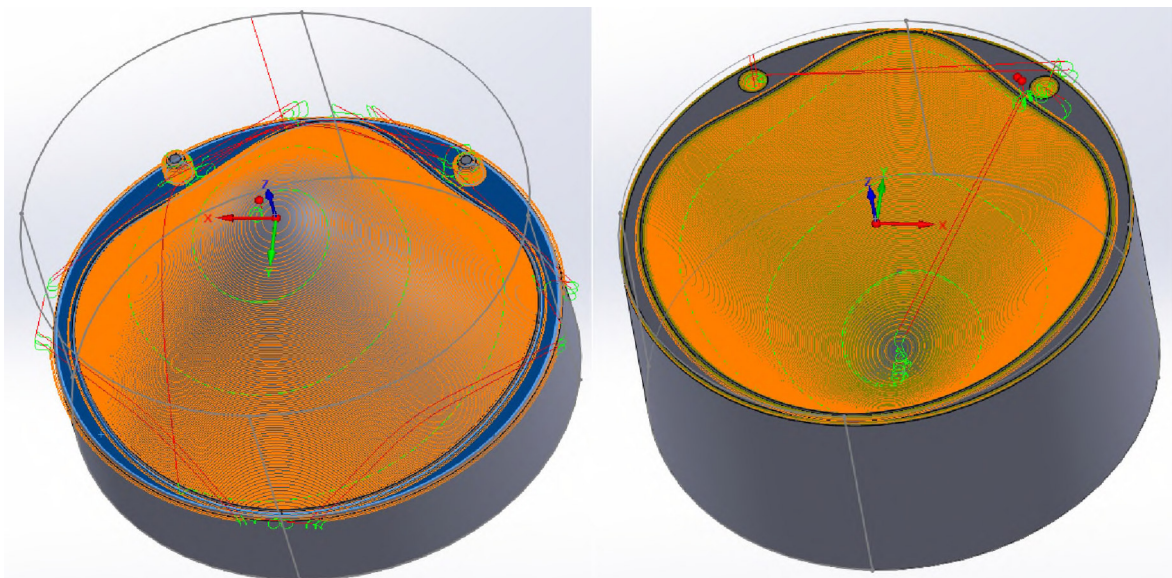


Figura 2. 79. Trayectoria de la herramienta generada por SolidCAM en los moldes.  
(Fuente: Propia)

Una vez realizadas las distintas pasadas de la herramienta y verificando que el software no de ninguna advertencia de impacto durante el proceso de mecanizado se procede a obtener el código G (Ver ANEXO VII) de los moldes, el mismo que permitirá simular en un software distinto el proceso de mecanizado con la finalidad de verificar su validez; así como también para su posterior mecanizado final en el centro de mecanizado.



El procedimiento que se sigue para la obtención del código G es el siguiente:

- Dirigirse a la pestaña "SolidCAM Manager".
- Dar clic derecho sobre la carpeta "Setup".
- Dirigirse a "GCode All" y luego a "Generate".
- Elegir el nombre del archivo con el cual se desea generar el archivo de texto y aceptar.

Una vez realizados los pasos se genera automáticamente el código G solicitado y se lo puede ver en el ANEXO VI.

### 2.4.2.1. Cálculo de parámetros de mecanizado

En el presente subcapítulo se realiza una breve descripción de los parámetros que influyen en el mecanizado; para lo cual se describe cada ecuación con sus respectivas variables, cabe recalcar que se deben ajustar los valores obtenidos según un porcentaje dependiendo la experiencia que se tenga al trabajar con estos materiales.

#### Velocidad de corte y avance por diente

Este parámetro permite determinar la velocidad relativa con la cual la herramienta ejerce la salida de la viruta del material mecanizado; mismo que es medida en m/min. Para la velocidad de corte en una fresadora se emplea la Figura 2. 80 sacada del folleto de producción por virutaje [47]:

MATERIALES kg/mm <sup>2</sup>	dientes destalonados						dientes fresados					
	acabado		desbaste				acabado		desbaste			
	a ≤ 0.3 mm		a ≤ 5 mm		a ≤ 10 mm		a ≤ 0.3 mm		a ≤ 5 mm		a ≤ 10 mm	
	V m/min	u1 mm	V m/min	u1 mm	V m/min	u1 mm	V m/min	u1 mm	V m/min	u1 mm	V m/min	u1 mm
Acero al C 50 60	22-26	0.06-0.08	21-24	0.08-0.10	20-22	0.09-0.11	24-26	0.06-0.08	22-24	0.08-0.10	21-23	0.08-0.1
Aceros al C 70 80	14-15	0.06-0.08	12-14	0.07-0.09	8-10	0.08-0.10	15-17	0.06-0.07	12-15	0.07-0.09	10-12	0.08-0.1
Ac. Al Cr Ni Vg 110	13-11	0.06-0.07	10-13	0.07-0.08	8-10	0.07-0.08	14-16	0.05-0.06	12-14	0.07-0.08	10-13	0.05-0.08
Ac. Mold. 50	18-20	0.07-0.09	16-18	0.08-0.12	15-16	0.12-0.15	20-22	0.06-0.08	19-20	0.09-0.12	18-20	0.12-0.14
Ac. Mold. 70	15-16	0.07-0.08	13-15	0.1-0.11	12-14	0.1-0.12	15-17	0.06-0.09	11-16	0.08-0.1	12-14	0.1-0.12
fundición Br 200	20-22	0.06-0.1	17-22	0.12-0.16	16-18	0.16-0.22	21-26	0.05-0.1	20-21	0.12-0.16	20-22	0.16-0.2
fundición Br 250	17-18	0.06-0.1	14-16	0.11-0.11	12-11	0.14-0.21	18-20	0.05-0.1	17-20	0.1-0.14	16-18	0.11-0.2
fundición maleable	10-21	0.07-0.12	18-20	0.15-0.18	17-18	0.18-0.21	20-22	0.06-0.12	19-20	0.14-0.18	17-19	0.18-0.2
bronces	47-18	0.06-0.08	40-46	0.1-0.12	38-40	0.13-0.18	46-50	0.05-0.08	42-45	0.1-0.12	40-42	0.13-0.15
Aleaciones Al	140-150	0.05-0.1	100-110	0.20-0.21	50-90	0.26-0.30	169-175	0.06-0.1	130-160	0.21-0.22	100-130	0.26-0.28

FRESA

NOTA> a = profundidad

u1 = avance por diente

Figura 2. 80. Velocidad y avance por diente para fresado.  
(Fuente: [47])

## Revoluciones por minuto

Este parámetro define el número de revoluciones a las cuales gira la herramienta durante el mecanizado; está sujeta con la velocidad de corte establecida y el diámetro de la herramienta; para lo cual se emplea la (21) para el fresado:

$$n = \frac{v_c \times 1000}{\pi \times d} \text{ rpm} \quad (21)$$

Dónde:

$n$  = número de revoluciones por minuto.

$v_c$  = velocidad de corte m/min.

$d$  = diámetro de la fresa en mm.

## Avance

Se denomina avance a la distancia lateral que recorre la pieza mecanizada por cada revolución de la herramienta; depende de variables como: número de dientes de la fresa, número de revoluciones o velocidad del husillo y el avance por diente de la fresa; para determinar el avance se usa (22):

$$\mu = \mu_1 \times n \times z \frac{\text{mm}}{\text{min}} \quad (22)$$

Dónde:

$\mu$  = avance medido en mm/min.

$\mu_1$  = avance por diente medida en mm/min (Valor de la Figura 2.80).

$z$  = número de dientes de la herramienta a emplear.

A continuación, se describe el procedimiento a seguir para mecanizar los moldes para lo cual se realizarán las siguientes operaciones:

- Primera pasada de desbaste con fresa de vástago de diámetro 19 mm.
- Segunda pasada de desbaste con fresa de vástago de diámetro 8 mm.
- Pasada de afinamiento con fresa redonda de diámetro 6 mm.

## Primera pasada de desbaste

Antecedentes:

- Tipo de fresa: fresa de vástago.
- Diámetro de la fresa: 19 mm.

- Tipo de dientes: destalonados.
- N° de filos o dientes: 4.
- Profundidad de corte:  $a=1,5$  mm.
- Material por mecanizar: duraluminio 7075.
- Fresa HSS.

Solución:

Por la Figura 2. 80, se tiene que:

$$v_t = 100 - 110 \frac{m}{min} \text{ y } \mu_1 = 0,20 - 0,21 \text{ mm}$$

Se eligen los siguientes valores:

$$v_T = 100 \frac{m}{min} \text{ y } \mu_1 = 0,20 \text{ mm}$$

$$n = \frac{100 \times 1000}{\pi \times 19} = 1675,31 \text{ rpm} = 1600 \text{ rpm}$$

$$\mu = 0,20 \times 1600 \times 4 = 1280 \text{ mm/min}$$

### Segunda pasada de desbaste

Antecedentes:

- Tipo de fresa: fresa de vástago.
- Diámetro de la fresa: 8 mm.
- Tipo de dientes: destalonados.
- N° de filos o dientes: 4.
- Profundidad de corte:  $a=0,75$  mm.
- Material por mecanizar: duraluminio 7075.
- Fresa HSS.

Solución:

Por la Figura 2. 80, se tiene que:

$$v_t = 100 - 110 \frac{m}{min} \text{ y } \mu_1 = 0,20 - 0,21 \text{ mm}$$

Se eligen los siguientes valores:

$$v_T = 100 \frac{m}{min} \text{ y } \mu_1 = 0,20 \text{ mm}$$

$$n = \frac{100 \times 1000}{\pi \times 8} = 3978,87 \text{ rpm} = 3900 \text{ rpm}$$

$$\mu = 0,20 \times 3900 \times 4 = 3120 \text{ mm/min}$$

### **Pasada de afinamiento**

Antecedentes:

- Tipo de fresa: fresa redonda.
- Diámetro de la fresa: 6 mm.
- Tipo de dientes: destalonados.
- Profundidad de corte:  $a = 0,2 \text{ mm}$
- N° de filos o dientes: 2.
- Material por mecanizar: duraluminio 7075.
- Fresa HSS.

Solución:

Por la Figura 2. 80, se tiene que:

$$v_t = 140 - 150 \frac{m}{min} \text{ y } \mu_1 = 0,05 - 0,1 \text{ mm}$$

Se eligen los siguientes valores:

$$v_T = 140 \frac{m}{min} \text{ y } \mu_1 = 0,05 \text{ mm}$$
$$n = \frac{140 \times 1000}{\pi \times 6} = 7427,23 \text{ rpm} = 7400 \text{ rpm}$$
$$\mu = 0,05 \times 7400 \times 2 = 740 \text{ mm/min}$$

Los valores calculados pueden variar dependiendo de las capacidades de la máquina y de las condiciones de las herramientas disponibles, los valores reales usados se detallan en la Tabla 2.36.

### **2.4.3. Información extra para el maquinado de piezas en el centro de mecanizado**

Después de obtener el código, se procede con la mención de algunas actividades, conceptos y características que se debe tener en cuenta para trabajar en el centro de mecanizado, por este motivo se menciona información de este centro de mecanizado, para conocer las restricciones, parámetros y otras instrucciones que son importantes antes de empezar a construir los moldes.

### 2.4.3.1. Centro de mecanizado VCM3-M400AC

Es una máquina (ver Figura 2.81) armada en México con tecnología americana, altamente automatizada bajo control numérico computarizado con exigua intervención humana, para operaciones de mecanizado vertical de corte rotatorio (con fresas y brocas), presentando ventaja su alta velocidad de producción y como desventaja su elevado costo de adquisición según el folleto de Producción por virutaje [47].



Figura 2. 81. Centro de Mecanizado CNC.  
(Fuente: Propia)

#### Características técnicas del centro de mecanizado VIWA

Características obtenidas de [47]:

- Velocidad del cabezal: 100-8000 RPM.
- Peso: 1600 kg.
- Potencia:
  - Motor principal: 5 HP.
  - Servomotor Brushless AC X: 1 Kw. Carrera máxima: 475 mm.
  - Servomotor Brushless AC Y: 1 kW. Carrera máxima: 300 mm.
  - Servomotor Brushless AC Z: 2 kW. Carrera máxima: 350 mm.
- Avance:
  - Rápido: 20 m/min.
  - Corte: 8 m/min.
- Enlace directo husillo-servomotor para mayor precisión.
- Cuenta con un control numérico americano basado en PC "CENTROID" para un manejo amigable y fácil.

- Cambiador automático para 12 herramientas (9 herramientas disponibles) mediante sistema neumático.
- Capacidad de carga: 100 kg.
- Bomba para refrigerante 185 W.
- Bomba de lubricación automática 100 W.
- Extractor de viruta.
- Cabina con puerta corredera.
- Consumo de energía: 7,5 kVA.
- Cuenta con foco de seguridad.

Con todo esto mencionado se recalca las revoluciones a las que llega la máquina, el avance de la mesa, la carrera de la mesa, y el fenómeno de empastamiento que se produce al trabajar con aluminio a altas velocidades, para decidir trabajar con diferentes valores de revoluciones y avance.

### 2.4.3.2. Cargar el código

Es importante aclarar esta sección debido a que es un proceso es repetitivo, ya que la memoria del controlador es insuficiente para compilar programas con un gran número de líneas de códigos y requiere dividir al programa en varias partes, o simplemente a la hora de realizar el código se configura al mecanizado para que trabaje solo en ciertas zonas divididas en el eje Z. El código obtenido se lo guarda en una memoria USB, para luego colocarla en el controlador del centro de mecanizado. Se coloca al controlador en un modo de editar, esto se puede apreciar cuando los focos de seguridad están apagados, con la tecla F2 se ingresa al menú de cargar el programa, como se lo ve en la Ver Figura 2. 82.

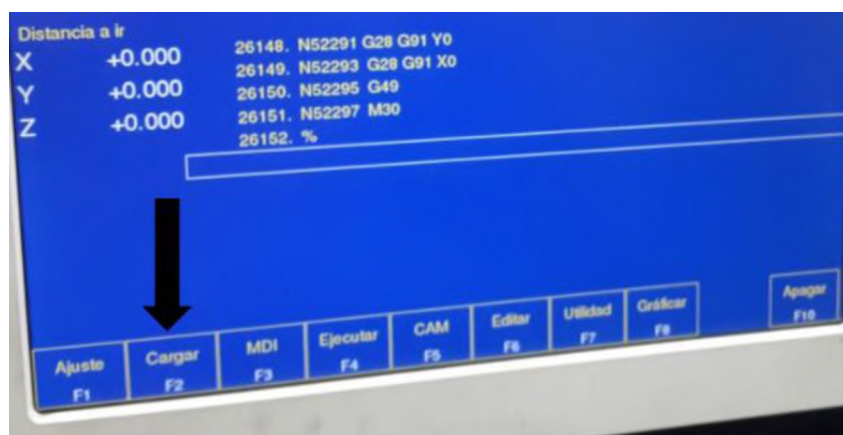


Figura 2. 82. Menú principal del controlador "F2".  
(Fuente: Propia)

Se usa la tecla F2 dos veces más, para ingresar al USB que es el lugar donde está el archivo que se va a cargar para realizar el mecanizado. Como se lo ve en la Figura 2. 83 y en la Figura 2. 84.

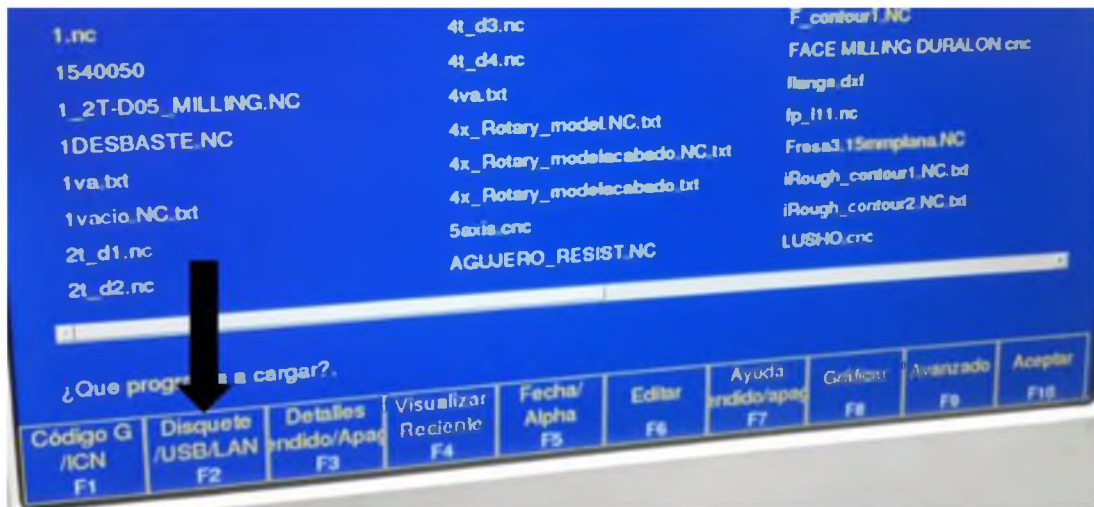


Figura 2. 83. Menú para cargar archivos  
(Fuente: Propia)

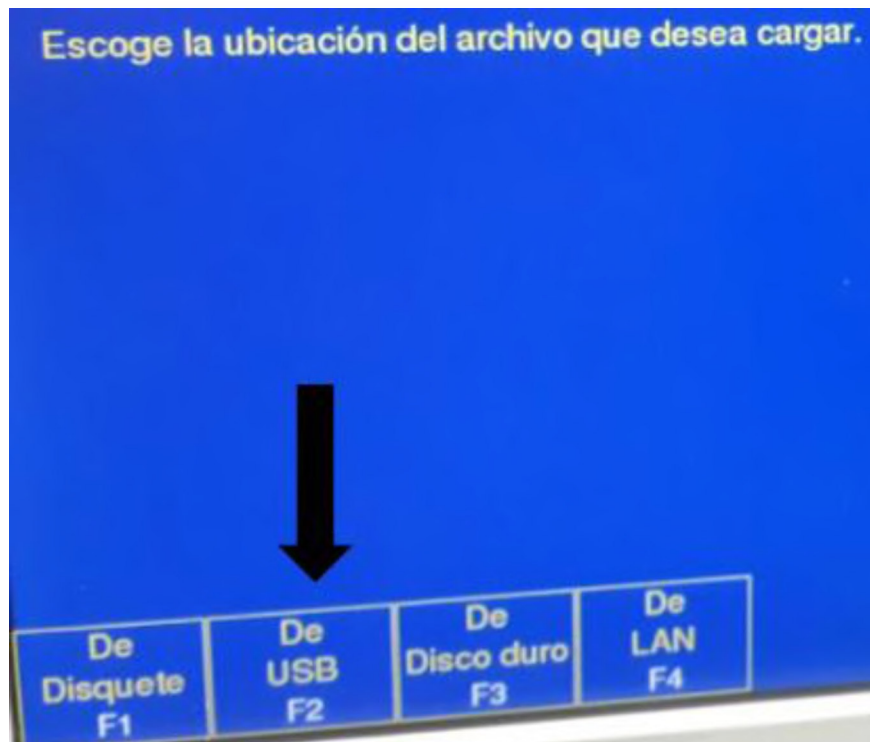


Figura 2. 84. Menú de selección de ubicación de archivos.  
(Fuente: Propia)

Se selección la carpeta últimos, donde estarán los programas guardados, se selecciona el archivo deseado y se lo abre con la tecla F6 para abrir el programa. Esto se lo puede ver en la Figura 2. 85 y en la Figura 2. 86.

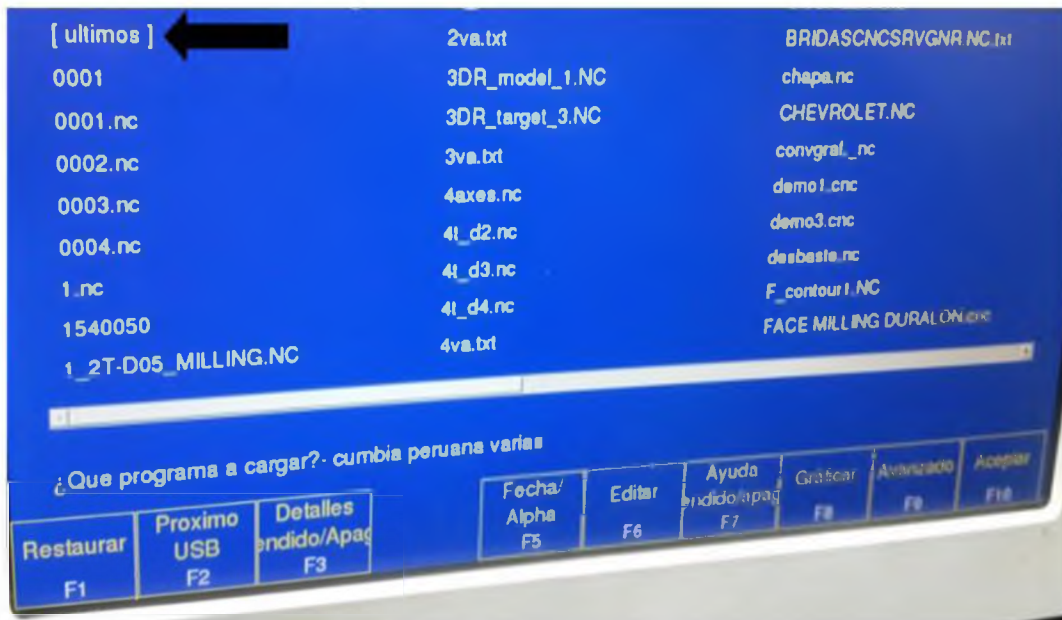


Figura 2. 85. Menú de selección de carpetas de archivos.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 86. Menú de selección de archivos.  
(Fuente: Propia)

Al ver el código se puede verificar ciertos comandos como lo son el de la herramienta, revoluciones y avances, para luego usar los botones CTRL+A, para seleccionar todo el código y copiarlo con F6, y con F10 se cierra la pantalla de edición del código como se lo ve en la Figura 2. 87.



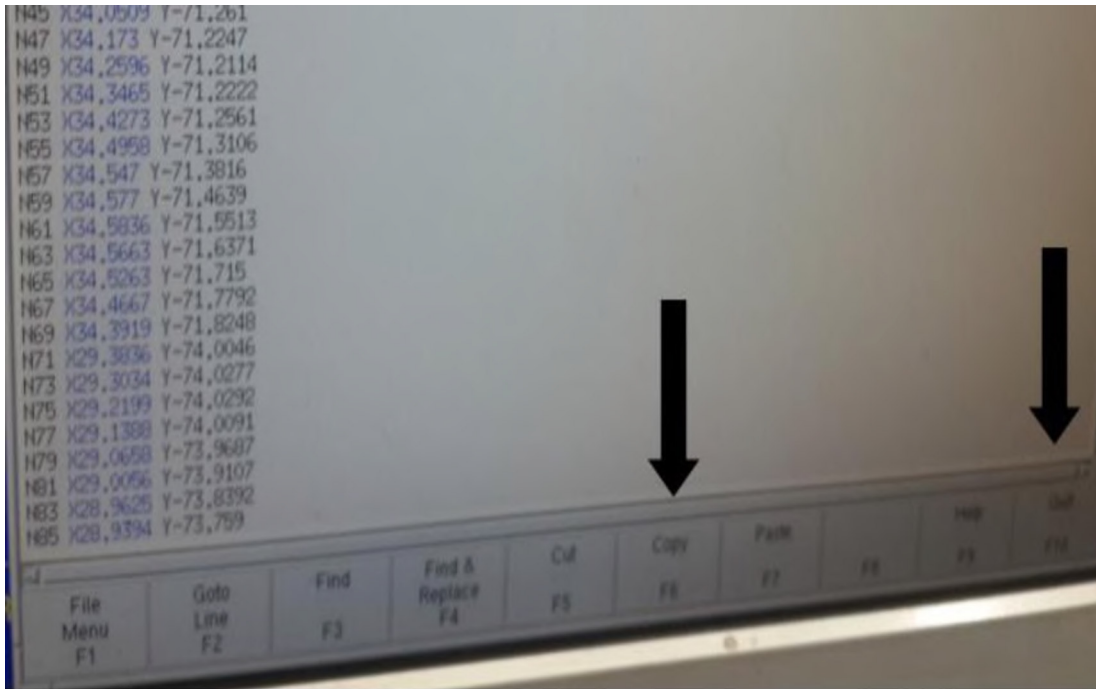


Figura 2. 87. Visualización de código.  
(Fuente: Propia)

Al retornar a la pantalla de cargar se selecciona cualquier programa ya cargado, para que con F6 se despliegue la pantalla de edición y poder pegar aquí el código anteriormente copiado con F7, finalmente con F10 se guarda la edición. Esto se lo puede ver en la Figura 2. 88 y Figura 2. 89.

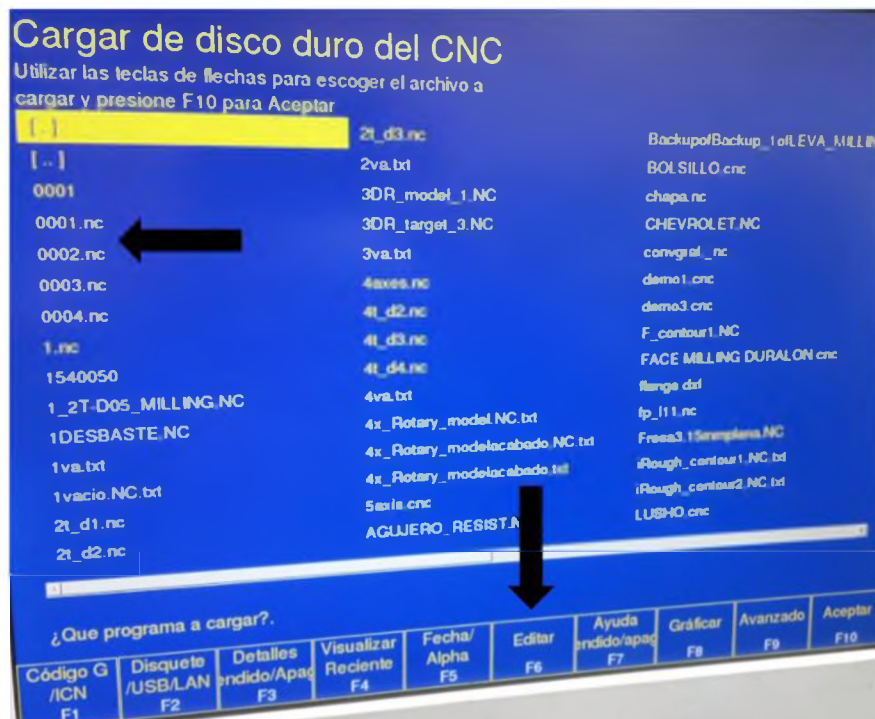


Figura 2. 88. Edición de códigos existentes.  
(Fuente: Propia)

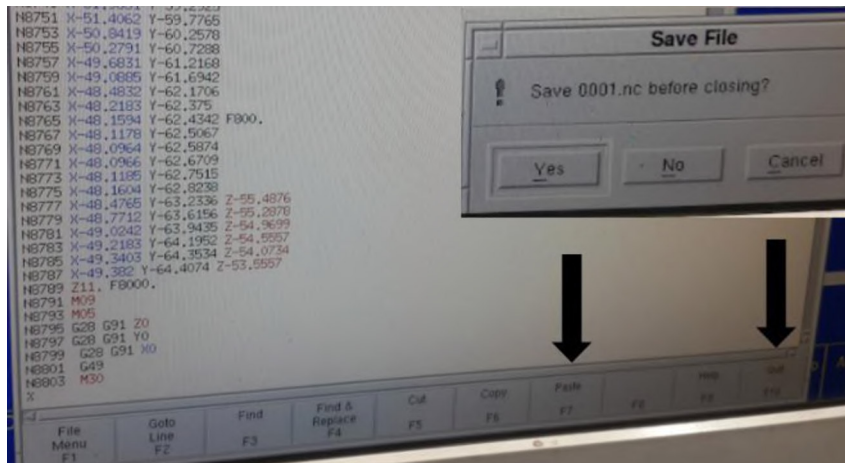


Figura 2. 89. Ingreso del nuevo código.  
(Fuente: Propia)

Finalmente se oprime el botón “Cycle Start”, es el botón verde ubicado en el panel de la máquina.

### 2.4.3.3. Alineamiento de herramientas

El generador de códigos de SolidCAM, requiere de ciertos datos y parámetros de las herramientas de las fresas o brocas, como diámetros, distancia libre, largo de las herramientas, ángulos, etc. Por lo que es importante planificar y colocar de una vez todas las herramientas en el intercambiador neumático de herramientas con el menú MDI con la tecla F3. Con la tecla F1 se abre el menú “AJUSTE”, y luego dos veces más con F2 se ingresa al menú de “Herramienta” y “Herram Biblio”, como se lo ve en la Figura 2. 90 y en la Figura 2. 91.

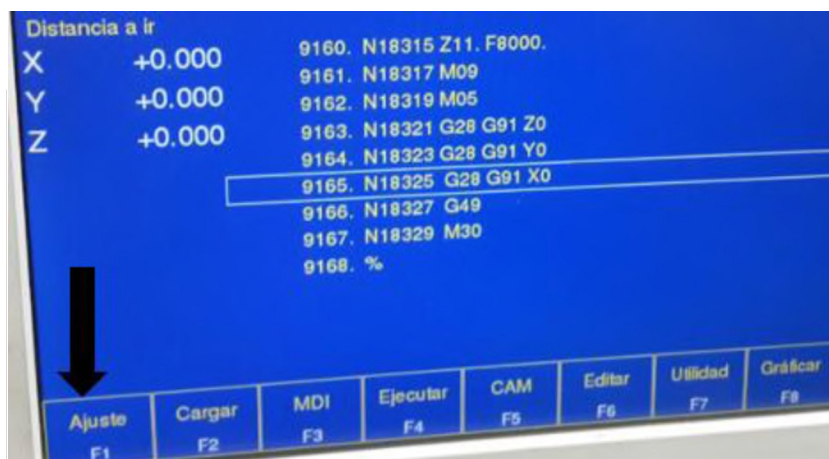


Figura 2. 90. Menú principal del controlador “F1”.  
(Fuente: Propia)

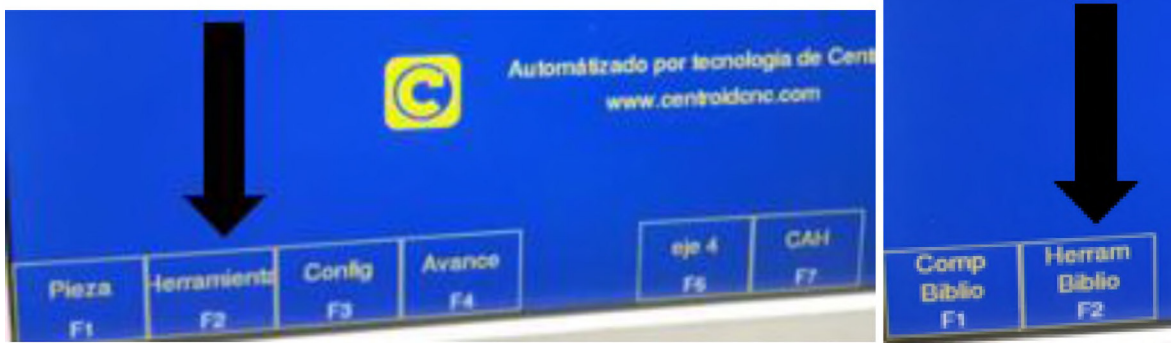


Figura 2. 91. Ingreso a la Biblioteca de herramientas.  
(Fuente: Propia)

Aquí aparecerá una lista de todas las herramientas (ver Figura 2. 92) donde se puede guardar los datos como los diámetros de todas las herramientas usadas y las “Height Offset” que es la distancia entre el filo de la herramienta contra el material base.

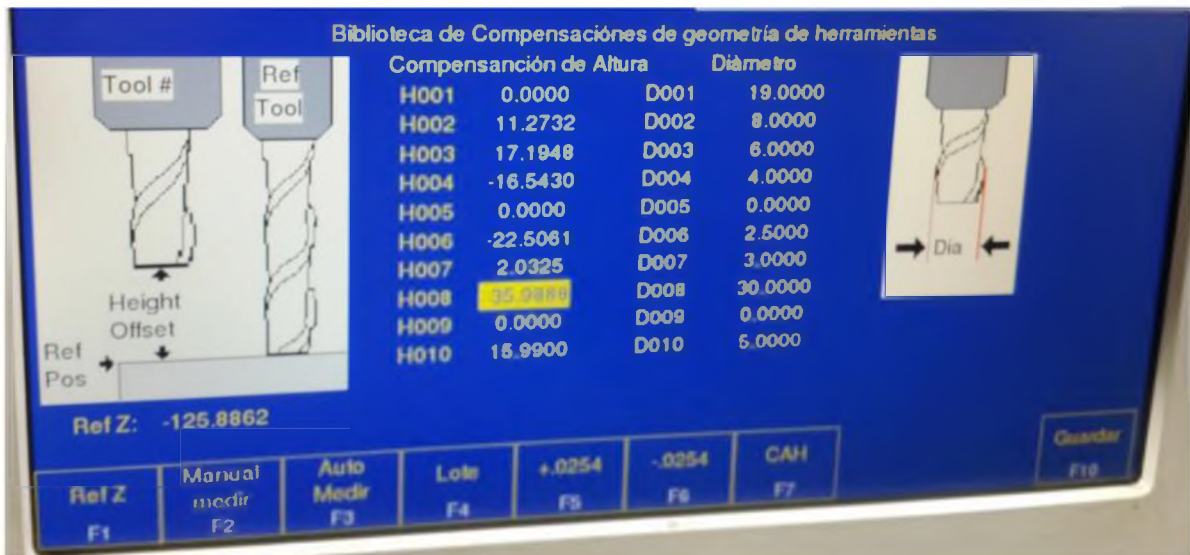


Figura 2. 92. Biblioteca de herramientas.  
(Fuente: Propia)

A la herramienta 1 se la configura como la referencia Z con la tecla F1, para que la compensación de altura de H001 sea igual a 0, para la configuración de las demás herramientas se las puede hacer manualmente con la tecla F2 y los botones x1, x10, x100, X+, X-, Y+, Y-, Z+ y Z- ubicadas en el panel de máquina, pero por mayor precisión se usa un palpador “CENTROID TT-1 S/N 01573” (ver Figura 2. 93), que medirá estas compensaciones con la tecla F3 de manera automática. Este palpador se lo coloca encima de la mesa metálica del centro de mecanizado, solo hay que asegurarse que la mesa esté completamente limpia, ya que funciona como un circuito cerrado al hacer contacto la herramienta con el palpador.



Figura 2. 93. Palpador “CENTROID TT-1 S/N 01573”.  
(Fuente: Propia)

#### 2.4.3.4. Sentido de giro de las herramientas y de la trayectoria

Como último paso antes de comenzar con la construcción de los moldes hay que definir el sentido de giro de la trayectoria que se puede simular al realizar el código, este va a depender específicamente del sentido de giro de la herramienta (horario o antihorario) y este a su vez depende del sentido de los filos de corte que tenga la herramienta, todo esto para el beneficio del arranque de viruta del material, así se podrá alargar la vida de la fresa, la vida de sus filos y evitar esfuerzos extra para la máquina, que llegan a producir incluso sonidos y vibraciones ajenos al trabajo normal del centro de mecanizado.

Para el caso del arranque de viruta del molde positivo se pueden presentar los siguientes casos (ver Figura 2. 94):

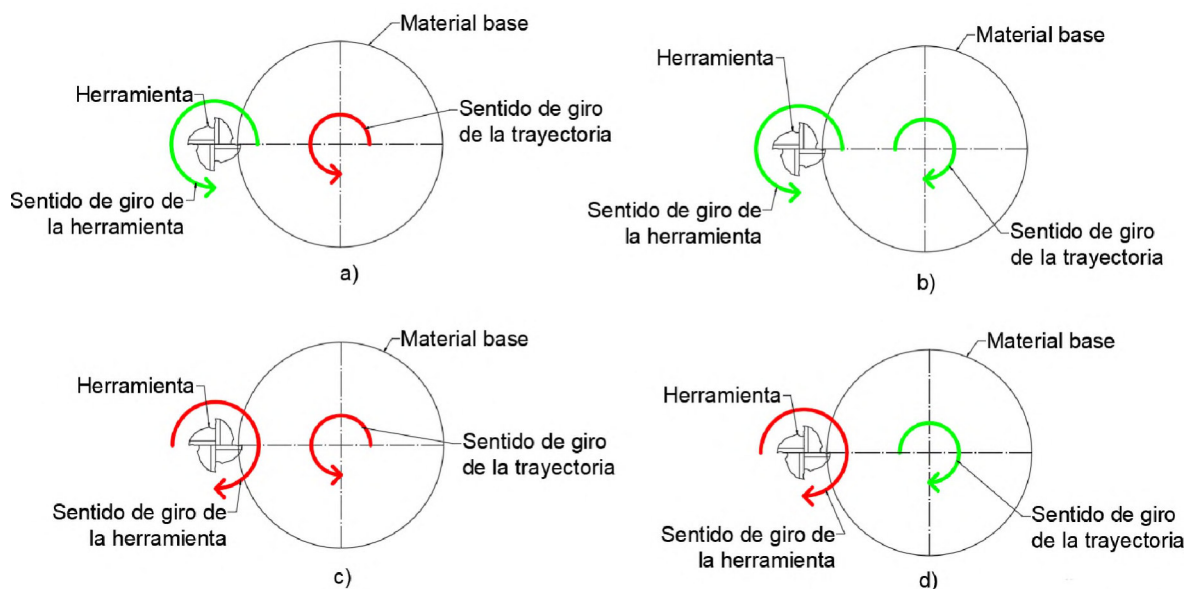


Figura 2. 94. Sentidos de giro en el molde positivo.  
(Fuente: Propia)

De los 4 casos presentados el ideal sería el literal b), debido a que el literal c) y el d) no están alineados con los filos de corte, y el literal a) no ayuda con la extracción de la viruta, generando vibraciones en la máquina y desgaste excesivo de la herramienta.

Para el caso del arranque de viruta del molde negativo se pueden presentar los siguientes casos (ver Figura 2. 95):

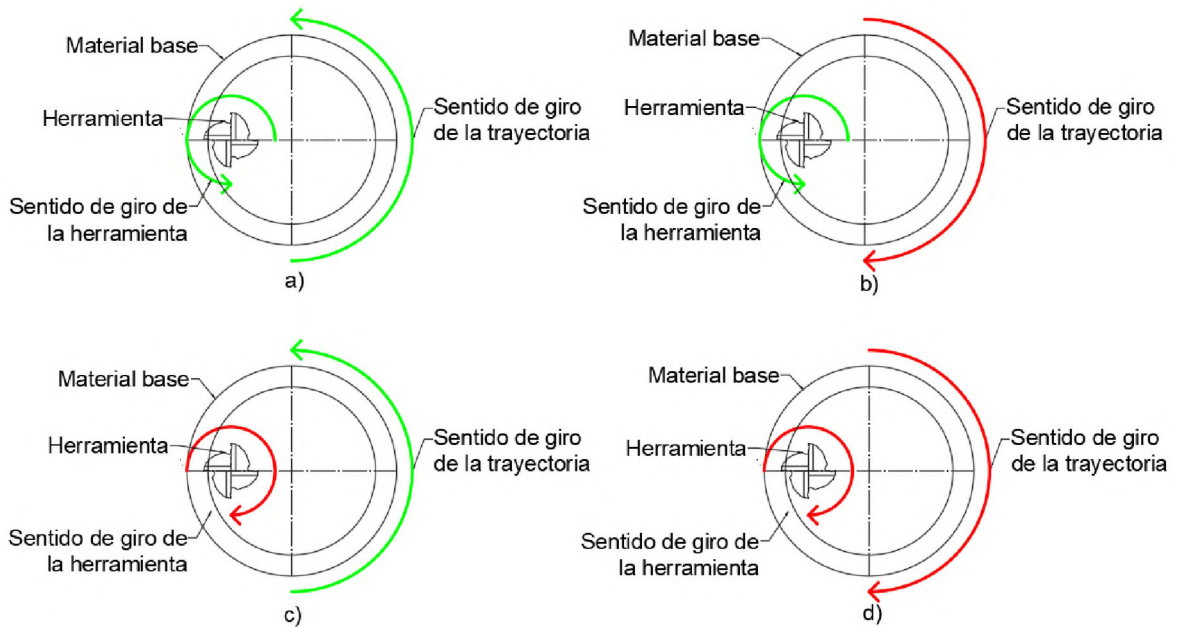


Figura 2. 95. Sentidos de giro en el molde negativo.  
(Fuente: Propia)

De los 4 casos presentados el ideal sería el literal a), debido a que el literal c) y el d) no están alineados con los filos de corte, y el literal b) no ayuda con la extracción de la viruta, generando vibraciones en la máquina y desgaste excesivo de la herramienta.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Construcción de la matriz en el centro de mecanizado

Los moldes van a ser fabricados en el centro de mecanizado VIWA, disponible en el Laboratorio de Máquinas Herramientas, por lo que se realizó pruebas para la fabricación de moldes en otro tipo de materiales que en este caso es la madera, esto para reducir el daño de las herramientas de corte y poder verificar el acabado y forma que van a tener los moldes a través del código G generado.

##### Mecanizados de prueba

Para realizar los moldes de madera se requiere de dos cilindros, uno de 150 mm y otro de 140 mm, por lo que se adquirió la materia prima en forma de paralelepípedo de medidas una sección transversal aproximada de 200 x 200 mm. Como se lo puede ver en la Figura 2. 96.



Figura 2. 96. Madera para moldes de prueba.  
(Fuente: Propia)

Luego se la adecuó en un torno de madera para que tengan un diámetro requerido aproximado. Después a estos moldes se los sujetó mediante mandriles para una correcta sujeción contra la mesa del centro de mecanizado, también se usó aire a presión a través de la válvula. Todo esto se lo puede ver en la Figura 2.97.

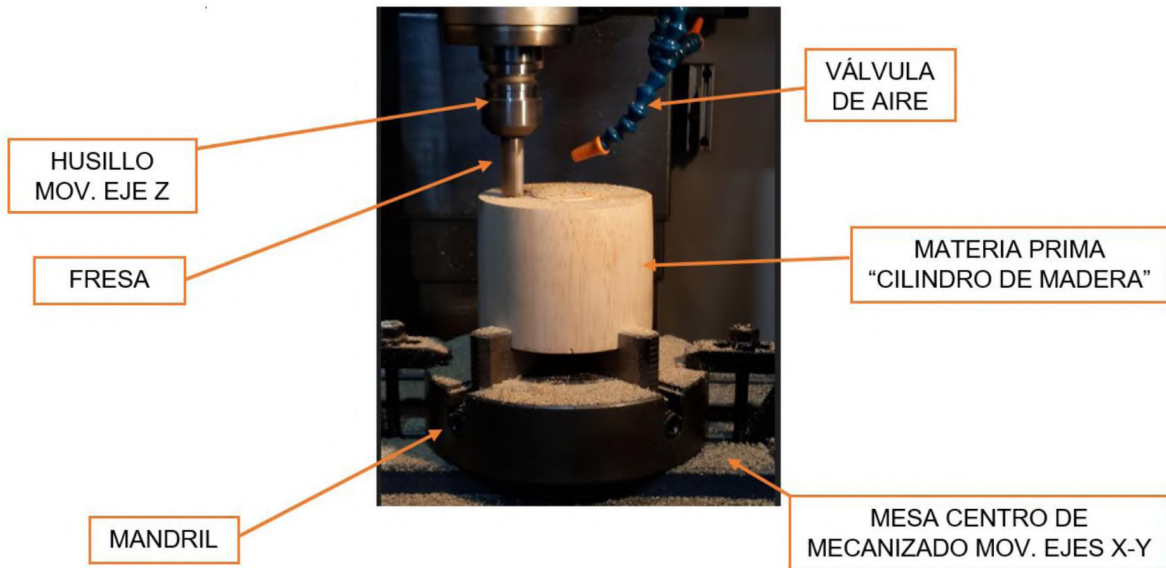


Figura 2. 97. Elementos usados en el centro de mecanizado.  
(Fuente: Propia)

Después de ciertas pasadas el cilindro de madera va adoptando las formas de los contornos de la mascarilla, se puede diferenciar el acabado en cada pasada como en la Figura 2. 98 donde se usó una fresa de 19 mm, y en la Figura 2. 99 donde se usó una fresa de 8 mm con diferentes revoluciones y avances.



Figura 2. 98. Trabajo en madera con una fresa de 19 mm.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 99. Trabajo en madera con una fresa de 8 mm.  
(Fuente: Propia)

Como resultado de haber realizado las respectivas pasadas de desbaste y afinado para la obtención del contorno de las mascarillas y las guías, se obtuvo el siguiente resultado (ver Figura 2. 100):



Figura 2. 100. Molde positivo y negativo terminado.  
(Fuente: Propia)

Se puede apreciar el perfecto encaje de ambas en la Figura 2. 101, por lo que ahora se puede proceder a la realización de los moldes en el material metálico, después de limpiar toda la madera del centro de mecanizado.






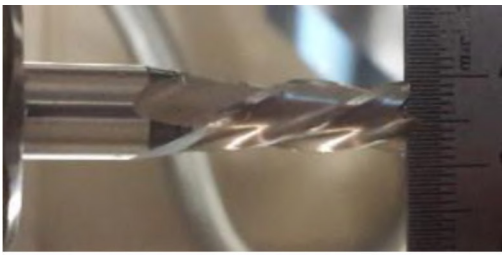

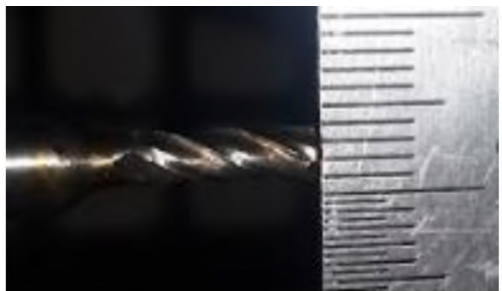



Figura 2. 101. Molde positivo y negativo de madera encajados.  
(Fuente: Propia)

### 3.1.1. Construcción de los moldes de duraluminio 7075

Para empezar la construcción de los moldes primero se muestra todos los implementos que requerirá el centro de mecanizado (ver la Tabla 2. 35). Luego se prepara la mezcla de taladrina de proporción 30/1, se requerirá una cantidad aproximada de 4 litros de aceite para el sistema de refrigeración en el maquinado. Después se acopla el mandril a la mesa del centro de maquinado, mediante unos acoples ajustados manualmente. Luego se ingresan las herramientas en el portaherramientas, se observa que el compartimento 5 y 9 no funciona correctamente, por lo que descarta el uso de estas, al haber 5 fresas para ocupar en todo el maquinado se ocuparán los compartimientos 1-2-3-7-8. Finalmente se aplican todo lo mencionado en el capítulo 2.4.3.

Tabla 2. 35. Lista de herramientas para el centro de mecanizado.

Código Herr.	Tipo	Diámetro (mm)	Operación/ Función	Imagen
H001	Fresa plana de 4 dientes	19	Primera pasada de desbaste.	

H002	Fresa plana de 4 dientes	8	Segunda pasada de desbaste.	
H003	Fresa esférica de 2 dientes	6	Pasada de afinado.	
H007	Fresa plana de 4 dientes	3	Creación de guías.	
H008	Fresa plana de 6 dientes	30	Orificio para resistencia.	
-	Mandril	-	Sujetar los moldes.	
-	Sujetadores	-	Acoplar al mandril con la mesa del CM.	

-	Boquillas	-	Acoplar las herramientas con el husillo del CM.	
-	Llave inglesa	-	Ajustar las boquillas con las herramientas.	
-	Taladrina	-	Lubricar y refrigerar (Composición 30/1)	

(Fuente: Propia)

### 3.1.1.1. Preparación del material

Para el molde positivo se adquirió un cilindro de 150 mm y un largo de 100 mm aproximadamente, el cual se lo ubica en el torno para realizar un proceso de cilindrado y refrentado (ver Figura 2. 102) con el fin de conseguir un buen acabado en el exterior, también con una broca de centros se taladra un centro en las caras del cilindro que servirá también para centrar al molde en el centro de mecanizado, todo esto se describe en las hojas de procesos del ANEXO VI.



Figura 2. 102. Refrentado del molde positivo.  
(Fuente: Propia)

El molde positivo también requiere de un compartimento donde se coloca una resistencia eléctrica, por lo que se corta un pedazo para que quede de una medida cercana a la deseada, por lo que se realiza un ranurado como se ve en la Figura 2. 103 que sirva de guía para cortar al material con una sierra (ver Figura 2. 104) como si se tratase de una clase de tronzado.



Figura 2. 103. Línea de tronzado.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 104. Corte con sierra del molde positivo.  
(Fuente: Propia)

Después de cortar una parte, se refrenta una vez más a las secciones ásperas para tener un buen acabado, con esto ya está listo el molde positivo para entrar en el centro de mecanizado. Para el molde negativo se usó una materia prima existente en el Laboratorio de Máquinas Herramientas, posee una sección útil para este proyecto de 140 mm de diámetro.

### 3.1.1.2. Operaciones en el centro de mecanizado

Se coloca y se ajusta el mandril contra la mesa del centro de mecanizado, para luego colocar el material base de manera centrada, en este caso se empezó con el molde positivo, donde se creó la cavidad para colocar la resistencia (ver Figura 2. 105).



Figura 2. 105. Antes y después de usar la fresa de 30 mm.  
(Fuente: Propia)

Después se hicieron 2 pasadas de desbaste en escalón para formar el contorno de las mascarillas, para adoptar poco a poco la forma de la mascarilla (ver Figura 2. 106).

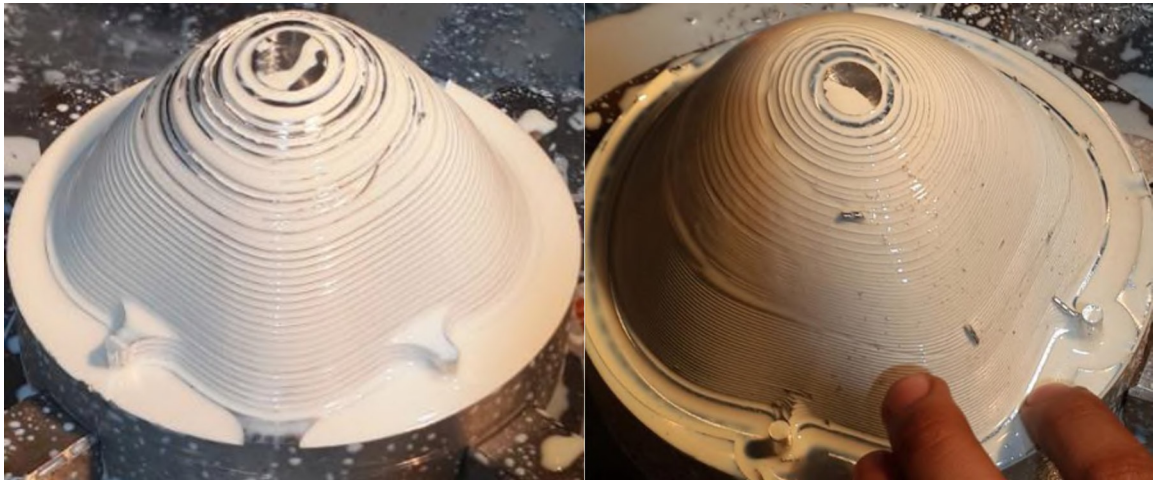


Figura 2. 106. Desbaste con fresa de 19 mm y de 8 mm para el molde positivo.  
(Fuente: Propia)

Para la superficie de la base y el contorno de las guías se usa una fresa plana de 3 mm. Y finalmente una pasada de afinado lineal que elimine las marcas de las dos operaciones de desbaste anteriores y conseguir un acabado diferente en el contorno de la mascarilla con una fresa redonda de 6 mm (ver Figura 2. 107). Luego se retira al molde del mandril.



Figura 2. 107. Acabado final del molde positivo.  
(Fuente: Propia)

Después de colocar el molde negativo en el mandril, se empieza directamente con los dos desbastes teniendo como resultado lo que se puede ver en la Figura 2. 108.



Figura 2. 108. Desbaste con fresa de 19 mm y de 8 mm para el molde negativo.  
(Fuente: Propia)

Para la superficie de la base se usa una fresa plana de 3 mm y para el afinado lineal se usa una fresa redonda de 6 mm que elimine las marcas de las dos operaciones de desbaste anteriores (ver Figura 2. 109). Luego se retira del mandril.



Figura 2. 109. Acabado con fresa plana de 3 mm y redonda de 6 mm.  
(Fuente: Propia)

En la Tabla 2. 36, se observa los parámetros usados para cada operación con su respectiva herramienta, se escogieron estos valores debido a las herramientas disponibles en el Laboratorio de Máquinas Herramientas, y sobre todo por la capacidad de la máquina.

Tabla 2. 36. Resumen de operaciones y parámetros aplicados para los moldes.

Operación	Código-Herramienta	RPM	Avance (mm/min)	Profundidad (mm)
Desbaste 1	H001	1600	400	1,5
Desbaste 2	H002	1800	400	0,75
Afinado	H003	2000	300	0,2
Desbaste para guías	H007	1800	400	0,2
Ranura para resistencia	H008	2000	500	1

(Fuente: Propia)

### 3.1.2. Análisis de costos

Esta sección abarca todos los costos de diseño y construcción del proyecto (ver Tabla 2. 39) de manera desglosada y específica para analizar la viabilidad del proceso. Para esto se divide en costos directos y costos indirectos.

En los costos directos se tiene:

- Materia prima
- Insumos
- Costos de maquinado
- Costos de montaje

Y como costos indirectos se tiene:

- Repuestos, lubricantes y combustibles
- Imprevistos
- Amortización del centro de mecanizado

#### 3.1.2.1. Análisis de costos directos

Según R. Molinam [21] los costos directos en terminología empresarial son todos aquellos que están relacionados o asociados concisamente con la producción de un producto, o todos aquellos que figuran en la contabilidad de costos de solamente un producto, cabe recalcar que estos costos pueden variar con el tiempo. Todo esto se los resumen en la Tabla 2.37 y en la Tabla 2. 38.



## **Materiales directos**

- Materia prima

Dentro de estos costos se encuentra los dos cilindros de aluminio de 15 cm de diámetro y 10 cm de largo los cuales serán los moldes, también está la madera la cual servirá como material de prueba en el centro de mecanizado.

- Insumos

Aquí constan algunos elementos normalizados de la estructura como perfiles, pernos, tuercas, arandelas, platinas, el amortiguador, una cocineta eléctrica y las correderas telescópicas de alta carga, por otro lado, también están las fresas, brocas usadas en el centro de mecanizado para fabricar los moldes, e incluso un spray de color rojo que se va a usar para cubrir a la estructura.

## **Mano de obra directa**

- Costos de maquinado

Dentro del maquinado está el uso del centro de mecanizado VIWA y del torno para el maquinado de los moldes de aluminio los cuales son de 10 y 15 dólares por hora respectivamente, aquí ya se toman en cuenta los costos de herramienta menor, electricidad y el costo que se le paga al dueño y operario de las diferentes máquinas. Y finalmente el costo asignado al dueño u operario del torno de madera que maquinó el material de prueba para dejarlo de las dimensiones requeridas, este igualmente incluyó herramienta menor y uso de la máquina dentro del costo final.

- Costos de montaje

Para el montaje se lo puede realizar sin acudir a un tercero, solo se toma en cuenta los costos de soldaduras realizadas en ciertos elementos pertenecientes a la estructura como el caso de la unión de perfiles o para la unión de las pletinas que funcionarán como base, las cuales se las realizó en un taller mecánico.

## **Costo directo total**

Tabla 2. 37. Costos directos.

<b>Costos Directos</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio unitario (\$)</b>	<b>Precio total (\$)</b>
Materiales directos (Materia prima e insumos)	Duraluminio	2u	75,89	151,78
	Madera	1u	4,46	4,46
	Fresa plana HSS 19 mm	1u	33,14	33,14
	Fresa plana HSS 8 mm	1u	11,70	11,70
	Fresa HSS redonda 6 mm	1u	10,2	10,20
	Fresa plana HSS 3 mm	1u	10,16	10,16
	Cocineta eléctrica	1u	10	10
	Tubo cuadrado ¼ x 1.5-8.2	1u	13,8702	13,87
	Platina ¼ x 1/8-4.24	1u	6,5575	6,56
	Platina 1/2 x 1/8-5.37	1u	8,2454	8,25
	Tornillos M3	18u	0,0251	0,45
	Pernos M6 60	2u	0,5585	1,12
	Pernos M8 70	3u	0,7562	2,27
	Pernos M4 20	12u	0,0852	1,02
	Tuerca M3	12u	0,0316	0,38
	Tuerca M4	12u	0,0514	0,62
	Tuerca M6	6u	0,0798	0,48
	Tuerca M8	3u	0,1214	0,36
	Arandela M3	18u	0,041	0,74
	Arandela M6	6u	0,0479	0,29
	Arandela M8	4u	0,0572	0,23
	Broca 6 mm	1u	1,2547	1,25
	Broca 7 mm	1u	2,4781	2,48
	Broca 9 mm	1u	2,7845	2,78
	Spray rojo	2u	3,8621	7,72
	C. T. alta carga 50 mm	1u	4,9547	4,95
	Amortiguador 80 N	1u	12,9707	12,97
	Pulimento 3M	1u	7,3014	7,30
	Lija grano extrafino 2000	5u	0,5527	2,76
	Sierra N.24	2u	1,4722	2,94
Sierra 12-18 S.M.	2u	1,16	2,32	
Mano de obra directo (costos de maquinado y de montaje)	Operario CM	76/h	10	760,00
	Operario torno	4/h	15	60,00
	Operario torno de madera	1	5	5,00
	Soldadura	1	38	38,00
<b>Total</b>				<b>1178,56</b>

(Fuente: Propia)

### **3.1.2.2. Análisis de costos indirectos**

Según R. Molinam [21] los costos indirectos son todo aquel que tiene que ver con el proceso productivo en general de los productos, o también en otras palabras de todo costo que afecte a todos los productos generados.

#### **Materiales indirectos**

- Repuestos, lubricantes y combustibles

Aquí se encuentra materiales como la taladrina (mezcla agua aceite relación 30/1), donde la caneca (5 galones o 18,92) que tiene un costo de \$135,9 o \$7,18/litro. También está el material de las telas pertenecientes a las mascarillas, donde se adquirió 1 metro de polipropileno (cambrella), 1 metro de poliéster (tela antilíquido) y 2 metros de poliéster con goma (tela termoadhesiva o pellón), para realizar las pruebas de termoformado, cuyas fichas técnicas están ubicadas en el ANEXO I.

#### **Gastos indirectos**

- Imprevistos

Aquí se toma un determinado porcentaje del costo directo para destinarlo al gasto generado por algún contratiempo en el caso de que se necesite adquirir de un repuesto, material extra o pieza faltante que no se ha tomado en cuenta en los materiales ya enlistados anteriormente, se asume un 10% del costo directo.

- Amortización del centro de mecanizado

Aquí se debe tomar en cuenta el costo para la reposición del equipo, que va a ser igual al tiempo usado para la fabricación de los moldes multiplicado por el costo de la máquina y dividido para el tiempo de vida útil, este equipo ya tiene un cierto tiempo de antigüedad por lo que no se puede encontrar un precio fijo de una máquina nueva por lo que se usó un aproximado de \$70000 proporcionado por los operarios del equipo y un tiempo de vida útil de 15 años que sería igual a 131400 horas, lo que da un costo por hora de \$0,53/h. A este valor se le debe multiplicar por el tiempo que tomó hacer los moldes que fueron un alrededor de 24 y 16 horas o un total de 40 horas de uso del centro de mecanizado.

## Costos indirecto total

Tabla 2. 38. Costos Indirectos.

Costos Indirectos	Descripción	Cantidad	Precio unitario (\$)	Precio total (\$)
Materiales indirectos	Aceite	4 litros	7,18	28,73
	Polipropileno (cambrella)	1 metro	1,40	1,4
	Poliéster (tela antifluido)	1 metro	3,08	3,08
	Poliéster (tela termoadhesiva o pellón)	2 metros	1,4	2,8
Gastos indirectos (Imprevistos y amortización)	% de los costos directos	0,1	1175,70	117,57
	Amortización del equipo	40	0,53	21,2
<b>Total</b>				<b>174,78</b>

(Fuente: Propia)

### 3.1.2.3. Costo total de la máquina

Tabla 2. 39. Costo total de la máquina.

Costos totales	\$
Directo	1178,56
Indirecto	174,78
<b>Total</b>	<b>1353,34</b>

(Fuente: Propia)

## 3.2. Montaje y pruebas de la matriz

Una vez concluido el proceso de construcción de la estructura, el maquinado para la obtención de los moldes y adquisición tanto del sistema de calentamiento como del material para la fabricación de las mascarillas, se procede con el montaje de todos los elementos siguiendo los planos de taller y de conjunto del ANEXO V.

Luego se procede con el protocolo de pruebas para comprobar el comportamiento adecuado de las funciones principales de la máquina.

En la Figura 2. 110 y en la Figura 2. 111 se puede ver a toda la estructura ya conformado y permitiendo ver a los moldes separados y unidos respectivamente, también se puede observar al sistema de calentamiento acoplado.



Figura 2. 110. Máquina termoformadora ensamblada (Moldes separados).  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 111. Máquina termoformadora ensamblada (Moldes unidos).  
(Fuente: Propia)

Para poder verificar el funcionamiento de la matriz de termoformado mecánico para mascarillas propuesta en este trabajo se realiza el protocolo de pruebas, en este apartado del documento se describen todas las actividades (ver Tabla 2. 40, Tabla 2. 41, Tabla 2. 42 y Tabla 2. 43) que se realizan para determinar si la matriz cumple con los objetivos del proyecto detallado en los objetivos y en el capítulo del diseño concurrente en la parte del análisis funcional. Incluso se permitirá encontrar algún desperfecto o problema para poder corregirlo.

### 3.2.1. Montaje de las matrices y del sistema de calentamiento

#### Objetivos:

- Acoplar los moldes a la estructura metálica.
- Acoplar la resistencia eléctrica y el controlador dentro del molde positivo.

#### Actividades:

Tabla 2. 40. Montaje de la matriz.

N°	Actividad	Instrumento	Persona a cargo	Lugar
1	Verificar que los moldes y la estructura se encuentren en buen estado.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
2	Colocar y alinear al molde negativo dentro de la base circular de la estructura.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
3	Colocar los tornillos para acoplar al molde negativo con su base.	Tornillos, arandelas y destornillador	Estudiante	Taller mecánico
4	Introducir la resistencia en el molde positivo.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
5	Colocar y alinear al molde positivo dentro de la base circular de la estructura.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
6	Colocar los tornillos para acoplar al molde positivo con su base.	Tornillos, arandelas y destornillador	Estudiante	Taller mecánico
7	Realizar todas las conexiones eléctricas con la resistencia, para incluir el regulador de temperaturas.	Manual	Estudiante	Taller mecánico

(Fuente: Propia)

#### Resultados:

Después de realizar lo detallado en la Tabla 2.40, se constata que los equipos se encuentran en buen estado, los elementos de la estructura no presentan defectos de

importancia, por lo que se pudo dar un correcto montaje de todas las piezas, como se ve en la Figura 2. 112 y en la Figura 2. 113.



Figura 2. 112. Alineamiento de los moldes y montaje de los moldes con la estructura.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 113. Sistema de calentamiento colocado dentro del molde positivo.  
(Fuente: Propia)

### 3.2.2. Pruebas para verificación de apertura y cierre

#### Objetivos:

- Verificar que a través del uso de la palanca se separen y se cierren los moldes.

#### Actividades:

Tabla 2. 41. Pruebas para verificación de apertura y cierre.

Nº	Actividad	Instrumento	Persona a cargo	Lugar
1	Verificar que la apertura y cierre de los moldes se den sin problemas al mover la palanca.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
2	Colocar algunos tipos de tela para verificar acople de los moldes.	Manual	Estudiante	Taller mecánico

(Fuente: Propia)

#### Resultados:

Como se puede ver en la Figuras 2. 114 los moldes se acoplan de manera correcta sin problemas de desalineamiento y como se ve en la Figura 2. 115 se pueden acoplar los moldes sin problemas al existir material entre ambos, aunque si se colocan demasiadas capas de material no va a poder cerrarse debido a que el material ocupa más espacio que la tolerancia dejada, evitando un cierre completo de los moldes.



Figura 2. 114. Verificación de cierre de moldes.  
(Fuente: Propia)



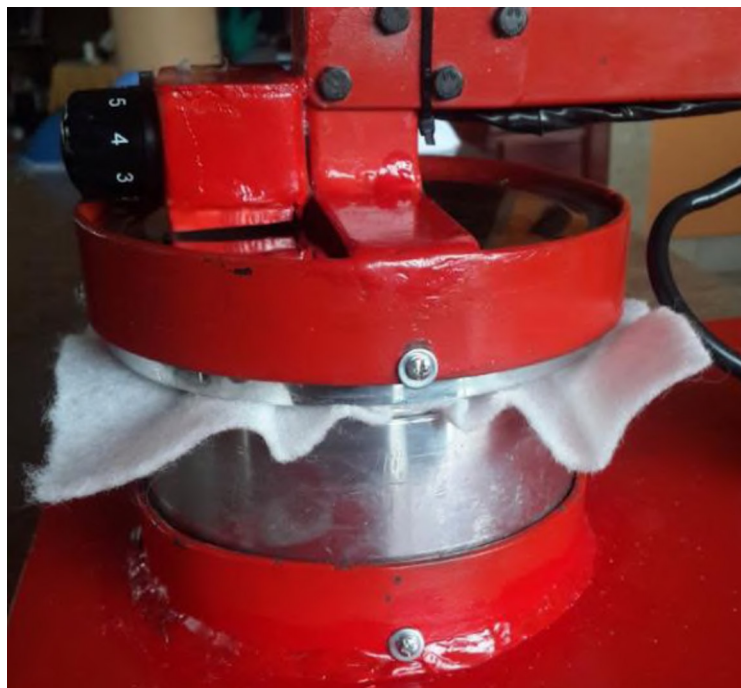


Figura 2. 115. Verificación de cierre de moldes con material en medio.  
(Fuente: Propia)

### 3.2.3. Verificación de dimensiones y de aspecto de la termoformadora

#### Objetivos:

- Verificar que el molde positivo y negativo estén dentro de las tolerancias y dimensiones establecidas.
- Verificar que los moldes no sufran de alguna aspereza u otro defecto.

#### Encargados:

- Estudiantes

#### Actividades:

Tabla 2. 42. Verificación de dimensiones y de aspecto de la termoformadora.

N°	Actividad	Instrumento	Persona a cargo	Lugar
1	Medir ciertas zonas de los moldes y de la estructura para comprobar que las medidas estén dentro de los rangos.	Calibrador, regla y micrómetro	Estudiante	Taller mecánico
2	Revisar que los moldes no tengan imperfecciones en la superficie que pueda dañar al material de las mascarillas.	Manual	Estudiante	Taller mecánico

(Fuente: Propia)

## Resultados:

El prototipo real de la termoformadora cumple y está cerca de lo propuesto en los planos, no se presenta imágenes de estas pruebas ya que las dimensiones medidas son poco apreciables a la vista, los moldes no presentan asperezas o imperfecciones en la superficie debido al acabado que se le dio, por lo que estas imperfecciones solo existirán si al momento de termoformar la mascarilla, se llega a sobrepasar la temperatura de fusión del polipropileno que hará que se adhiera directamente al molde.

### 3.2.4. Verificación de dimensiones y de aspecto de las mascarillas

#### Objetivos:

- Verificar que las mascarillas estén dentro de las tolerancias y dimensiones para propuestas.
- Verificar que las mascarillas realmente cubran con la zona de protección del rostro para la cual fueron diseñadas.

#### Actividades:

Tabla 2. 43. Verificación de dimensiones y de aspecto de las mascarillas.

N°	Actividad	Instrumento	Persona a cargo	Lugar
1	Preparar los materiales de la mascarilla	Tijera, regla	Estudiante	Taller mecánico
2	Termoformar varios prototipos de mascarillas.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
3	Medir ciertas zonas de las mascarillas para comprobar que las medidas estén dentro de los rangos propuestos.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
4	Comparar las mascarillas obtenidas con otras del mercado local.	Manual	Estudiante	Taller mecánico
5	Realizar varios prototipos de mascarillas para ser probadas en varios individuos.	Manual	Estudiante	-

(Fuente: Propia)

## Resultados:

En la Figura 2. 116 se puede ver la preparación del material base para mascarillas, las cuales tienen dimensiones de 20 x 20 cm. Y en la Figura 2. 117 se observa el cierre de los moldes mediante una fuerza aplicada en la palanca. En la Figura 2. 118 se puede ver el resultado de las mascarillas realizadas, demostrando que, si adoptan la forma propuesta,

cabe recalcar que después de desprender las mascarillas de los moldes, se debe esperar algunos segundos para que se enfríen y no sufran de alguna deformación extra que se pueda crear con las manos.



Figura 2. 116. Preparación de las telas para mascarillas.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 117. Termoformado de mascarillas.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 118. Mascarillas obtenidas.  
(Fuente: Propia)

En la Figura 2. 119 se puede apreciar de mejor manera a las mascarillas ya cortadas y se puede ver como mantienen su forma.



Figura 2. 119. Mascarillas cortadas.  
(Fuente: Propia)

También se hizo pruebas con otro material para la capa externa, y verificar su comportamiento, esto se lo puede ver en la Figura 2. 120 donde las mascarillas de color blanco tienen una capa externa de poliéster antifluido, obviamente al requerir una

temperatura mayor de termoformado no se lograron pegar algunos pliegues que se forman en la parte externa, que a diferencia de las de color morado y azul, se pegaron sin ningún problema.



Figura 2. 120. Mascarillas con capa externa de poliéster antifluido.  
(Fuente: Propia)

Se procedió también a fabricar las mascarillas variando un poco los parámetros de tiempo y de temperatura, presentando varios defectos en las mascarillas obtenidas, una de estas se puede ver en la Figura 2. 121, donde la mascarilla fue sometida a una temperatura mayor a 150 °C mostrando un deterioro total de la capa externa de polipropileno, en la Figura 2. 122 se sometió a la mascarilla a un termoformado por tiempo prolongado, llegando a casi 3 minutos y como resultado se mostró un deterioro en la punta de la mascarilla.



Figura 2. 121. Mascarilla expuesta a una temperatura mayor a 150°C.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 122. Mascarilla termoformada por tiempo prolongado.  
(Fuente: Propia)

También se hizo pruebas a una temperatura menor a la de 150°C aprox., donde el resultado fue una mascarilla apenas termoformada que no adoptó la forma completa propuesta (ver Figura 2. 123).



Figura 2. 123. Mascarilla expuesta a una temperatura menor a 150°C.  
(Fuente: Propia)

Al compararla con otro tipo de mascarillas comerciales, se puede notar claramente los pliegues tanto en la parte interna como la externa, pero básicamente tienen los mismos materiales, pero diferente tipo de fabricación (Ver Figura 2. 124).



Figura 2. 124. Mascarilla propuesta vs mascarilla KN95.  
(Fuente: Propia)

Por último, se agregaron elásticos para las orejas y un clip de plástico para la nariz (ver Figura 2. 125), con el fin de ser probadas a ver si cumplen con la función de cubrir la nariz y la boca (ver Figura 2.126).



Figura 2. 125. Mascarilla Vista trasera y vista frontal.  
(Fuente: Propia)



Figura 2. 126. Prueba de mascarilla en una persona de 23 años.  
(Fuente: Propia)

### 3.3. Pruebas de conformado y resultados

En las Figuras 2. 127, Figura 2. 128 y Figura 2. 129, se puede ver que la mascarilla cumple con las medidas propuestas en el diseño de los modelos, presentando pequeños errores como se lo indica en la Tabla 2. 44.

Tabla 2. 44. Porcentaje de error entre mascarillas propuestas y obtenidas.

Dimensión de la mascarilla	Mascarilla propuesta (mm)	Mascarilla obtenida (mm)	% Error
Largo	136	132	3,03
Ancho	130	125	4
Alto	52	54	3,7

Se obtuvo una mascarilla que protege la zona de la cara para la cual fue diseñada, y muestra como la selección de materiales y de equipo fue correcta para lograr estas medidas.



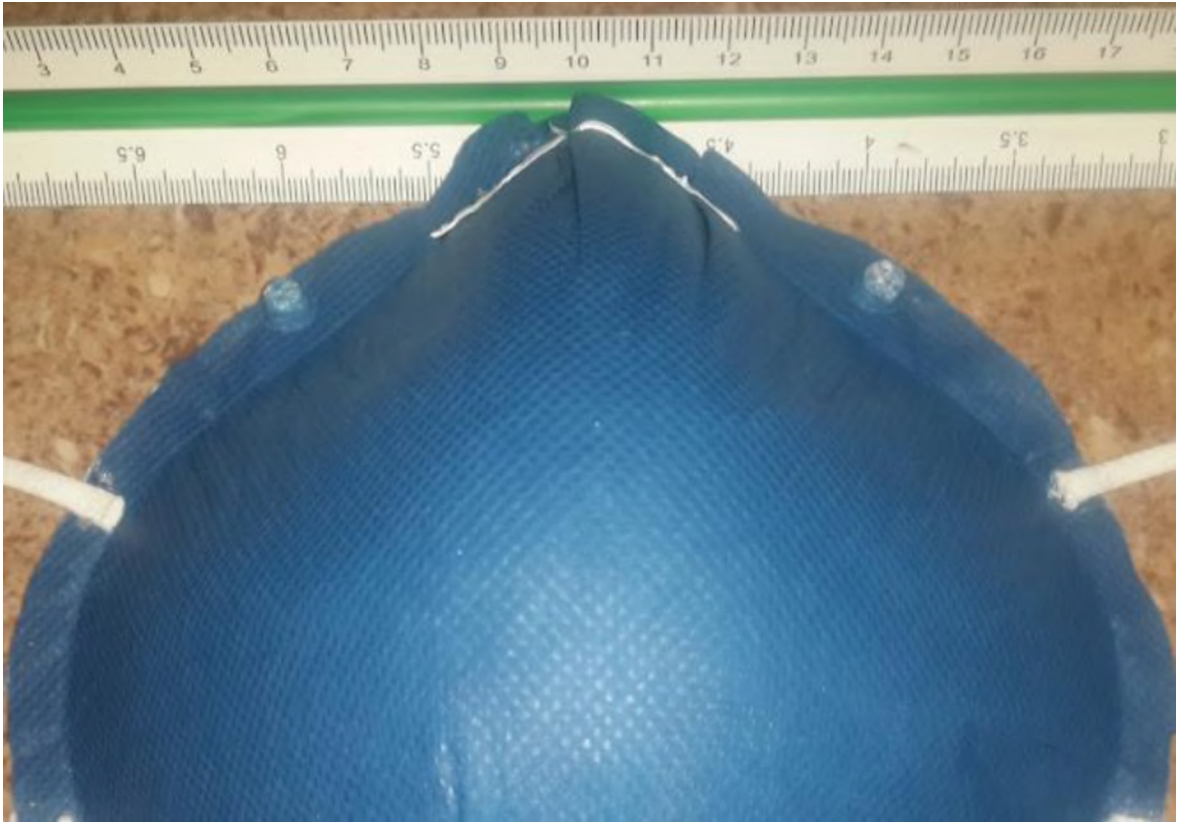


Figura 2. 127. Ancho de la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

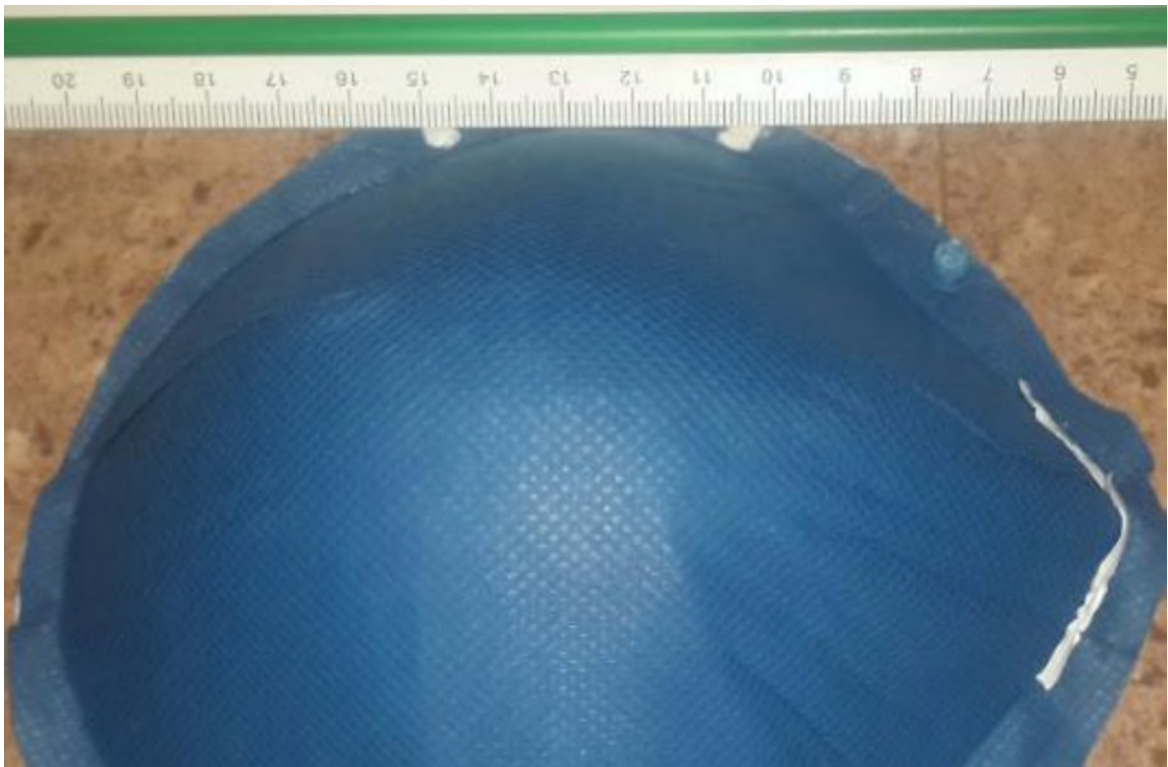


Figura 2. 128. Largo de la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

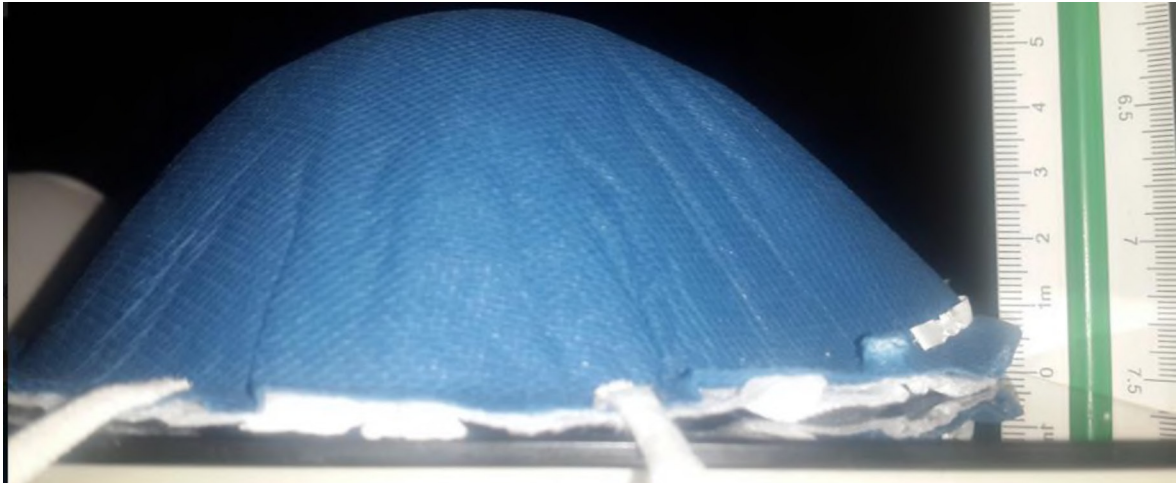


Figura 2. 129. Altura de la mascarilla.  
(Fuente: Propia)

### 3.4. Discusión de resultados

Como se puede observar en la Tabla 2.44, ese error se debe al espacio sobredimensionado entre los moldes, este sobredimensionamiento se optó con el fin de experimentar con telas un poco más gruesas de lo calculado, aunque para las telas propuestas fue más que suficiente para obtener medidas muy cercanas a las propuestas en el CAD gracias al comportamiento propio del textil.

Gracias al tipo de material a usarse en las mascarillas (polipropileno y poliéster) y dependiendo de las condiciones con las que se trabaje, variará el tiempo de calentamiento de los moldes siendo estos un máximo de 20 minutos y el de la mascarilla será aproximadamente medio minuto gracias a las partículas de pegamento. Cabe recalcar que el textil soporta hasta los 2 minutos sin sufrir un daño en la capa externa de polipropileno.

Uno de los parámetros que se tomó en cuenta es la presión debida que al ejercer presión extra a un material sometido a su temperatura de termoformado logra que ciertas partes del textil se pegue en la superficie de los moldes, dañando su acabado y generando tarea extra de limpieza que afectaría los tiempos de fabricación de mascarillas a escala industrial.

El sistema de seguridad que se usó fue muy acertado, este fue un amortiguador de 80N, el cual apenas se ejercía un toque en la palanca, hará que suba el molde positivo, y quede en su punto más alto, evitando cualquier desastre al operarlo.

Los materiales seleccionados (aluminio), tanto de los moldes como los de la estructura (acero), fueron perfectos para cada función específica indicada en el diseño concurrente, el duraluminio fue perfecto para ser usado en el centro de mecanizado por su buena maquinabilidad y su rápido calentamiento, en cambio el acero de los perfiles y las pletinas cumplen con su función de soportar los esfuerzos generados, incluyendo la idea de dos columnas perpendiculares a la base para hacer el recorrido de la apertura y cierre de los moldes.

## 4. CONCLUSIONES

Se logró obtener una matriz para la fabricación de mascarillas termoformadas, esto se evidencia con los bajos porcentajes de error entre dimensiones propuestas en el diseño realizado en herramientas de CAD y las dimensiones obtenidas de las mascarillas caseras, además de la facilidad y funcionalidad que presenta la máquina a la hora de operarla.

A través de catálogos y manuales se lograron obtener parámetros como: dimensiones, tolerancias, materiales y geometría que logran cubrir con la mayoría de información posible sobre el estado de arte en este tema de fabricación de mascarillas.

Por medio de la aplicación del estudio concurrente se establecieron las funciones básicas con las que debe cumplir una máquina termoformadora, las cuales se las organizó por módulos permitiendo determinar las especificaciones técnicas de la máquina.

Gracias a la evaluación de alternativas mostradas en la metodología de ingeniería concurrente se logró seleccionar los parámetros más factibles posibles para el diseño y la construcción de una matriz para fabricación de mascarillas.

Con la ayuda de las herramientas de CAD y CAM se logró obtener el código G el cual es ingresado en el centro de mecanizado VIWA que maneja tolerancias de una milésima de milímetro, las cuales son necesarias para alcanzar acabados superficiales que muestren un pulido a pesar de no haber realizado dicho acabado con herramientas propias para este objetivo.

Se concluye que las mascarillas termoformadas durante el protocolo de pruebas son aceptables; esto debido a que el material formado adquiere por completo la geometría deseada y en las pruebas se evidenció que cubren la zona de la nariz y boca; respaldando así la correcta operatividad del conjunto de moldes.

### Recomendaciones

Verificar durante el fresado que la dirección de giro de la fresa sea el adecuado considerando la orientación de los dientes de la fresa; además se recomienda que la rotación de la fresa sea contraria a la del movimiento de la mesa; esto con la finalidad de

que se facilite el desprendimiento de la viruta y de esta forma evitar un posible empastamiento del material desprendido entre los dientes de la fresa.

Verificar en la simulación que la fresa no penetre directamente sobre el material en el eje Z ya que las fresas no trabajan como una broca; se debe comprobar que la fresa desbaste el material ingresando al mismo en forma de rampa lo que le permite a la fresa aprovechar al máximo su geometría y evitar el desgaste prematuro de los filos de esta.

Se puede armar un propio sistema de calentamiento con un controlador más preciso que puede beneficiar mucho a la producción en masa de mascarillas al colocar el sensor en uno de los extremos de los moldes, pero esto también significa un costo extra considerable, ya que los reguladores de temperaturas que trabajan con temperaturas mayores a los 100°C tienen un costo elevado dentro del mercado local.

Si se desea trabajar con temperaturas inferiores a las probadas en este documento, se lo puede hacer, siempre y cuando se ejerzan presiones mayores como las presentadas en el capítulo 2, las cuales se pueden lograr con cilindros neumáticos, que también se presentan como un costo extra a tomarse en cuenta.

A partir de este trabajo se puede plantear futuros proyectos que complementen el proceso de fabricación de mascarillas, entre estas se puede proponer el diseño de un troquel para cortar las mascarillas y retirar el material sobrante, como también se puede proponer el diseño de una selladora de ultrasonido para mantener unidas las capas de tela.

## Referencias bibliográficas

- [1] Servicio Ecuatoriano de Normalización INEN, Noticias, "Proceso de importación de mascarillas y demás insumos médicos se priorizó y optimizó," Junio 2020. [Online]. Available: <https://www.normalizacion.gob.ec/proceso-de-importacion-de-mascarillas-y-demas-insumos-medicos-se-priorizo-y-optimizo-en-el-inen/>
- [2] NIOSH, National institute for occupational safety & health, "NIOSH anthropometric data and ISO digital headforms", Febrero 2021. [Online]. Available: <https://www.cdc.gov/niosh/data/datasets/rd-10130-2020-0/default.html>
- [3] J. Florian, "Practical thermoforming, principles and applications", New York: Taylor & Francis Group, 1996.
- [4] J. Throne, "Understanding thermoforming", Florida: Hanser Publishers, 2008.
- [5] Made-in-China, "Kst termostato ajustable para cocineta eléctrica con resistencia de cinta", Agosto 2021. [Online]. Available: [https://es.made-in-china.com/co\\_jayeheater/product\\_Adjustable-Kst-Thermostat-for-Electric-Stove-with-Resistance-Tape\\_eyeuriony.html](https://es.made-in-china.com/co_jayeheater/product_Adjustable-Kst-Thermostat-for-Electric-Stove-with-Resistance-Tape_eyeuriony.html)
- [6] M. Groover, "Fundamentos de manufactura moderna", México D.F.: McGraw-Hill Interamericana, 2007.
- [7] WHO, Organización Mundial de la Salud, "Preguntas y respuestas sobre la transmisión de la COVID-19", Julio 2020. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/q-a-detail/coronavirus-disease-covid-19-how-is-it-transmitted>
- [8] MSCBS, Ministerio de Consumo y Sanidad de España, "Proceso de fabricación habitual de mascarillas protectoras", Junio 2020. [Online]. Available: <https://www.mincotur.gob.es/es-es/COVID-19/Paginas/guias-para-fabricacion-de-mascarillas-y-ropa-de-proteccion.aspx>
- [9] MSCBS, Ministerio de Consumo y Sanidad de España, "¿Qué mascarilla necesito según mi situación?", Octubre 2020. Online. [Avaible]: [https://www.mincotur.gob.es/es-es/COVID-19/industria/GuiaFabricacionEpis/Que%20Mascarilla%20Necesito/Que\\_mascarilla\\_necesito\\_segun\\_mi\\_situacion.pdf](https://www.mincotur.gob.es/es-es/COVID-19/industria/GuiaFabricacionEpis/Que%20Mascarilla%20Necesito/Que_mascarilla_necesito_segun_mi_situacion.pdf)

- [10] Fundación UNAM, Noticias, "UNAM colabora en la fabricación de mascarillas N95," Mayo 2020. [Online]. Available: <https://www.fundacionunam.org.mx/unam-al-dia/unam-colabora-en-la-fabricacion-de-mascarillas-n95/>
- [11] J. Valverde, "Desarrollo de metodologías enfocadas a aplicaciones de ingeniería inversa para reproducir objetos mediante escaneado 3D, sistemas CAD/CAM y prototipado rápido", Tesis de Maestría en Diseño y Simulación (FIM), EPN, Quito, Ecuador, pp. 10-12, 2019.
- [12] J. Orejuela, "Desarrollo de las interfaces de integración CAD CAM a través del sistema de manufactura virtual; mediante el aprendizaje asistido por computadora para la programación y manejo de diferentes controladores de máquinas CNC", Tesis Maestría en Diseño, Producción y Automatización Industrial (FIM), EPN, Quito, Ecuador, pp. 22-25, 2013.
- [13] L. Juiña, "Implementación de un sistema de manufactura Cad Cam en la sección de matricería de la empresa Cobiplast", Tesis Maestría en Ingeniería Industrial y Productividad (FIQA), EPN, Quito, Ecuador, pp. 29-34, 2015.
- [14] Plastiglas de México, S. A. de C.V., "Manual Técnico de Termoformado", MEX: IEEE, 2015. [Online]. Available: <https://tecnologia3bunlp.files.wordpress.com/2015/03/manual-determoformado.pdf>
- [15] A. Capritto, "N95 vs. KN95 vs. KF94 masks: What's the difference and which should you use?," CNET, Health and wellness, February 2021.
- [16] Y. Cengel and M. Boles, "TERMODINÁMICA", Séptima edición, Mc Graw Hill, 2012.
- [17] I. Kirshenbaum, "Entropy and heat of fusion of Polymers," Journal of Polymer Science Part A, vol. 3, pp. 1869-1875, 1965. doi [10.1002/pol.1965.100030518].
- [18] K. Sreenivasan, "Differential scanning calorimetric studies of polyester fabrics used in sewing ring of a heart valve," Bulletin of Materials Science, vol. 5, pp. 123-126, 1983. doi [10.1007/BF02744024].
- [19] C. Códova, "Fundamentos de Termodinámica", Quito: EPN, 2016.
- [20] V: Boljanovic, J. Paquin, "Die Design Fundamentals", New York: Industrial Press Inc., 2006.

- [21] R. Molinam, "Contabilidad de costos" Instituto Profesional Diego Portales, p. 7, 2007.
- [22] Universal Plastics, Formiung Customers for life, "Thermoforming Design Guidelines", February 2014. [Online]. Available: <http://www.universalplastics.com/wp-content/uploads/2014/03/UP-Design-Guide-v1.2.pdf>.
- [23] SPE Thermoforming division, "Thermoforming Quarterly", First quarter 2008. [Online]. Available: <http://thermoformingdivision.com/wp-content/uploads/pdf-downloads/quarterly-mags/2008-1st.pdf>
- [24] Multifab Corporation, Multifab Manufacturing, "Thermoforming Design Guidelines" [Online]. Available: <https://multifabmanufacturing.com/assets/Uploads/Multifab-Thermoforming-Guidelines-Rev-3-12-18.pdf>
- [25] Christopher Manufacturing LLC dba, PDI Plastics, "Thermoforming & Vacuum Forming Design Guide", 2017 [Online]. Available: <http://pdiproducts.com/wp-content/uploads/2017/02/PDI-Plastics-Vacuum-Forming-Design-Guide-5-12-17-1.pdf>
- [26] R. Budynas and K. Nisbett, "Diseño en ingeniería mecánica de Shigley", Novena edición, Mc Graw-Hill, 2012.
- [27] R. Norton, "DISEÑO DE MÁQUINAS", Un enfoque integrado", Cuarta edición, México, 2011.
- [28] A. Rubiera, El Periódico Cataluya, "Como contención, las mascarillas caseras tienen más impacto de lo que se piensa", Abril 2020. [Online]. Available: <https://www.elperiodico.com/es/sociedad/20200426/como-contencion-las-mascarillas-caseras-tienen-mas-impacto-de-lo-que-se-piensa-7941308>
- [29] Dongguan Haobang Automation Machinery Co., Ltd, "Turntable type cup mask machine", Guangdong Province, China. [Online]. Available: <https://www.hbultrasonic.com/Turtable-type-cup-mask-machine.html>
- [30] Made-In-China, SKR, "Cup-Type Mask Thermoforming Machine N95 Mask Thermoforming Machine", Diciembre 2019. [Online]. Available: <https://dg-scara.en.made-in-china.com/product/ZNzJYpyrEMWS/China-Cup-Type-Mask->



Thermoforming-Machine-N95-Mask-Thermoforming-Machine.html

- [31] Made-In-China, Nanjing Angela Accessories Co., Ltd. , “Face Mask 3m 1860 N95 Regular Size”, Diciembre 2018. [Online]. Available: <https://angelaccs.en.made-in-china.com/product/HOBmuzForfWS/China-Face-Mask-3m-1860-N95-Regular-Size.html>
- [32] I. Zambrano, “Ingeniería Concurrente”, notas de clases para MEC7B3, Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, junio 2020.
- [33] SANDVIK, Fórmulas y definiciones de fresado. (2019, Abril 24). [Online]. Available: <https://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/milling.aspx>
- [34] Catálogo DAVICOM CIA LTDA, Herramientas y suministros industriales, Quito, Ecuador.
- [35] MAYKU, Unit 25 DeBeauvoir BlockLondon, “FormBox”, 2021. [Online]. Available: <https://www.mayku.me/products/formbox>
- [36] Estampadoras Quito, “SUBLIMADORA PARA GORRA”, 2021. [Online]. Available: <https://estampadorasquito.com/comprar/sublimadoras/sublimadora-de-gorras/sublimadora-para-gorra/>
- [37] M. Cardona, G. Padilla, J. Pérez, M. Ruiz, “Ensamblés y uniones”, Noviembre 2013. [Online]. Available: <https://es.slideshare.net/huelin1/ud-ensambles-y-uniones-presentaciones-didcticas-062922fp001/>
- [38] Wagner Group, “Pistola de aire caliente FURNO 300”, 2021. [Online]. Available: <https://www.wagner-group.com/es/bricolajeros/productos-y-accesorios/producto/pistola-de-aire-caliente-furno-300/>
- [39] Resistencias Tope, “Resistencias para el calentamiento de aire o gas”, 2014. [Online]. Available: <https://www.resistenciastope.com/es/listado-productos/11-resistencias-aire/>
- [40] Stahls', “Como Estampar y Diseñar Playeras”, Agosto 2015. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=6i-GVppAlsk/>
- [41] F. Zapata, Lifeder, “Sistema neumático”, Diciembre 2020. [Online]. Available:

<https://www.lifeder.com/sistema-neumatico/>

- [42] MS Solucioens de Ingeniería, Capacitación y Normativa, “INTRODUCCIÓN A LA HIDRÁULICA”, Abril 2019. [Online]. Available: <https://www.ms-ingenieria.com.mx/hidraulica/introduccion-a-la-hidraulica/>
- [43] T. Bergman, A. Lavine, F. Incropera and D. Dewitt, “FUNDAMENTALS OF HEAT and MASS TRANSFER”, Seventh Edition, JOHN WILEY & SONS, 2011.
- [44] ASTECO, “DURALUMINIO 7075”, 2020. [Online]. Available: <https://www.asteco.com.co/images/imagenes/productos/aceros/acerosparamoldes/fichastecnicas/7075.pdf>
- [45] C. Riba, “Diseño concurrente”, Departamento de Ingeniería Mecánica, ETSEIB – UPC, Barcelona, Enero 2002.
- [46] E. Cadena y K. Salazar, “Diseño y construcción de una máquina de termoformado por compresión para la fabricación de cubre bocas, controlado mediante un sistema neumático, para la microempresa tejidos Martínez”, Tesis de titulación, ESPE, Quito, Ecuador, 2021.
- [47] “Producción por virutaje”, folleto para MEC3B3, Departamento de Ingeniería Mecánica, Escuela Politécnica Nacional, 2018-A.
- [48] A. Serrano, “Neumática práctica”, Madrid: Paraninfo S.A., 2009.
- [49] Thomas Regout International B.V., “Telescopic Slides”, 2021. [Online]. Available: <https://pdf.directindustry.com/pdf/thomas-regout/standard-program/31222-929668.html>

## ANEXOS

### ANEXO I. HOJAS TÉCNICAS DE MATERIALES

- Ficha técnica del material a usarse para los moldes (aluminio 7075)

**CERTIFICADO DE CALIDAD EN 10204:2004 2.1/2.2**  
Quality Certificate EN 10204:2004 2.1/2.2

Cliente / Customer : C80004 LEON REA VICTOR HUMBERTO  
Pedido / Order :  
Albarán / Delivery Note : 338.561  
Fecha emisión / Date : 23.02.2021  
Producto / Product : BARRAS DURALUMINIO 7075 DIAM. 150 MM.

Factura / Invoice : 5.665/1  
Lote : 038244 Kg.: 150,00

---

**Características químicas**

Característica controlada	Unidad	Valores prescritos	
		min.	max.
Si	%		0.40
Fe	%		0.50
Cu	%		2.00
Mn	%	1.20	0.30
Mg	%		2.90
Cr	%	2.10	0.28
Zn	%	0.18	6.10
Ti	%	5.10	0.20
IMPUR	%		0.15
Al	%	RESTO	

---

**Ensayos mecánicos**

	Unidad	Valores prescritos	
		min.	max.
Límite alargamiento	%	390	
Resistencia	%	490	
Alargamiento elongación	%	4	
Dureza	%	144	

---

**Otros ensayos**

Comprobación de medidas	Resultado positivo
Comprobación visual	Resultado positivo

---

**Certificación de Conformidad**

- Ficha técnica poliéster (tela antifluido)

FICHA TÉCNICA	
NOMBRE DE LA TELA	IMPERMEABLE ELITE
CODIGO	IMP001
COMPOSICIÓN	100% NYLON
PESO	209.8 g/m <sup>2</sup>
EMPAQUE	ROLL PACKING
ANCHO	150 CM
COLORES	BLANCO
USO	TELA LONA PARA CARPAS

CARACTERÍSTICAS: TELA PARA TRAJES DE BIOSEGURIDAD  
IMPERMEABLE

PAIS DE ORIGEN: CHINA

- Ficha técnica polipropileno (cambrella)

# FICHA TÉCNICA: TELA SMS



Tela no tejida SMS (3 CAPAS), muy delgada y de amplio uso en la industria médica y de la salud por su capacidad filtración de virus y bacterias.

## GENERALIDADES

- CÓDIGO: 03ISMED
- COMPOSICIÓN: 100% POLIPROPILENO
- CONSTRUCCIÓN: Spun- Meltblown- Spun  
3 capas calandradas
- PESO: 70 [g/m<sup>2</sup>] ± 2%
- ANCHO: 160cm
- COLORIDO: Varios, teñido en lote
- ENCOGIMIENTO: E < 1 %

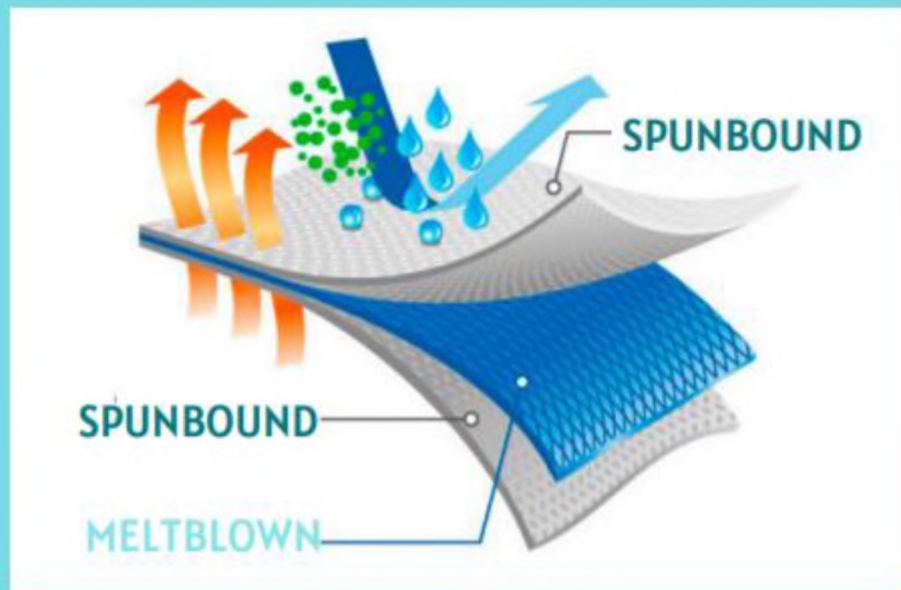


## MANTENIMIENTO

- No usar clorinas, ni derivados
- Temperatura máx. Lavado 30°C
- Evitar lavar, enjuagar a mano.
- No retuerza, NI USE CEPILLO.
- Preferible secar al sol.
- No planchar
- No usar secadora.



# ESTRUCTURA DE LA TELA SMS



## ¿CUÁL ES SU CONSTRUCCIÓN?

La TNT de triple capa llamada S-M-S es un laminado sintético multiuso de 3 capas filtrantes y protectoras. Su estructura es resultante de la combinación de 2 capas externas de extruido de polipropileno (Spunbond) y una capa intermedia de fibra corta de polipropileno fusionado aleatoriamente que construyen un laberinto = Meltblown.

Tiene una muy buena resistencia mecánica y química, gracias al polipropileno y su proceso de fabricación. No es tóxico, ni alérgico y posee baja flamabilidad. Dada su capa de fibras cortas permite capturar las bacterias y partículas de polvo en el interior de la misma, permitiendo la transpiración y actuando como una barrera bacteriana.

Posee una baja resistencia al lavado ya que se considera desechable por sus usos y, por su composición en fibras sintéticas ofrece baja regulación térmica de la prenda y se tintura con facilidad.

**MIL** COLORES

# CARACTERÍSTICAS DE LA SMS

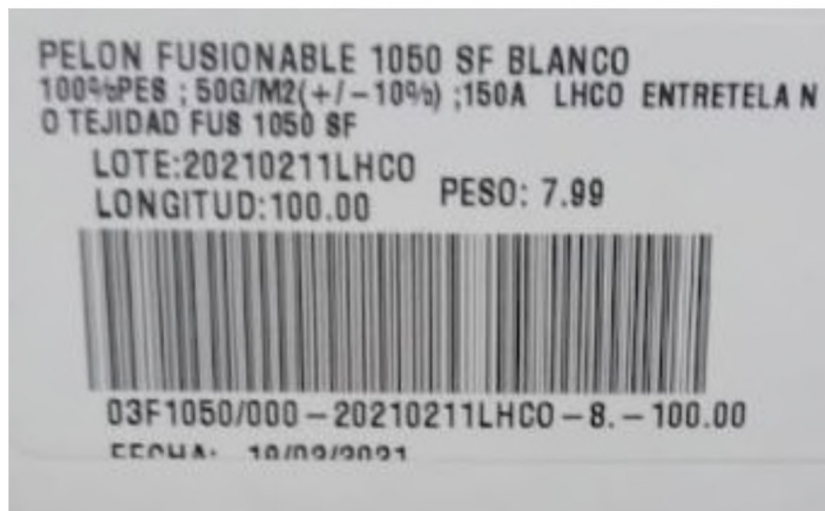
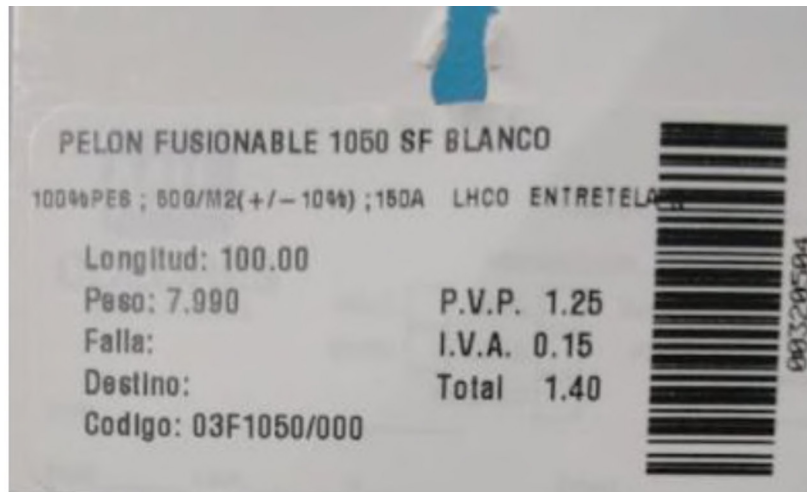


- Permeabilidad al aire
- Buena resistencia contra ácidos y solventes.
- No se degrada fácilmente, y tampoco absorbe olores al ser una fibra saturada
- No alberga bacterias - Antimoho
- No retiene, ni se satura de líquidos
- 100% Hidrofóbico
- Antialérgico y no tóxico
- Antiestático

NOTA: Esta información es una sugerencia, ya que cambia de acuerdo a las reglamentaciones del país de destino/origen. No seremos responsables si la información suministrada no va de acorde a la reglamentación de su país.



- Ficha técnica poliéster termoadhesivo





## ANEXO II. HOJAS TÉCNICAS DE ELEMENTOS NORMALIZADOS

- Tablas para cálculos de soldaduras

**Tabla 9-3**

Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

\* Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia aproximada a la tensión. El último dígito incluye variables en la técnica de soldadura, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de la soldadura, por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

**Tabla 12-2**

Tamaños mínimos de soldadura en filetes\*

Espesor del metal base (T)	Tamaño mínimo de la soldadura
tamaño en pulgadas	
T ≤ 1/4	1/8
1/4 < T ≤ 1/2	3/16
1/2 < T ≤ 3/4	1/4
3/4 < T	5/16
tamaños en mm	
T ≤ 6	3
6 < T ≤ 12	5
12 < T ≤ 20	6
20 < T	8

\* Fuente: tabla 5.8 AWS D1.1

**Tabla 12-3**

Resistencias mínimas de algunos aceros estructurales ASTM

Número ASTM	S <sub>y</sub> kpsi (MPa)	S <sub>ut</sub> kpsi (MPa)
A36	36 (250)	58-80 (400-500)
A572 Gr42	42 (290)	60 (415)
A572 Gr50	50 (345)	65 (450)
A514	100 (690)	120 (828)








- Tabla de selección para correas

telescopic slide full extension slides	technical drawing	description			load capacity			art. nr.	fixation
		length mm	travel mm	cycles 10.000	cycles 50.000	cycles 100.000			
		300	300	26 kg	20 kg	14 kg	13645561	Cabinet side	
		350	350	26 kg	20 kg	14 kg	13645562	Metal: M4 / DIN 7984	
		400	400	31 kg	25 kg	19 kg	13645563	M3 / DIN 7985 / ISO 7045	
		450	450	36 kg	30 kg	24 kg	13645564	M4 / ISO 7380	
		500	500	36 kg	30 kg	24 kg	13645565	Wood: 3.5 / DIN 7981 / ISO 7049	
		550	550	31 kg	25 kg	19 kg	13645566	Drawer side	
		600	600	31 kg	25 kg	19 kg	13645567	Metal: M3 / DIN 7984	
650	650	26 kg	20 kg	14 kg	13645568	M3 / DIN 7985 / ISO 7045 M4 / ISO 7380 Wood: 2.9 / DIN 7981 / ISO 7049			











- Tablas para cálculos de pernos

**Tabla 8-11**

Clases métricas de propiedad mecánica de pernos, tornillos y birlos de acero\*

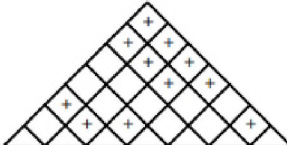
Clase de propiedad	Intervalo de tamaños, inclusive	Resistencia de prueba mínima, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la tensión, <sup>†</sup> MPa	Resistencia mínima a la fluencia, <sup>†</sup> MPa	Material	Marca en la cabeza
4.6	M5-M36	225	400	240	Acero de bajo o medio carbono	
4.8	M1.6-M16	310	420	340	Acero de bajo o medio carbono	
5.8	M5-M24	380	520	420	Acero de bajo o medio carbono	
8.8	M16-M36	600	830	660	Acero de medio carbono, T y R	
9.8	M1.6-M16	650	900	720	Acero de medio carbono, T y R	
10.9	M5-M36	830	1 040	940	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
12.9	M1.6-M36	970	1 220	1 100	Acero aleado, T y R	

- Tablas para cálculos de esbeltez

TABLE C-C2.2 Approximate Values of Effective Length Factor, <i>K</i>						
Buckled shape of column is shown by dashed line.						
Theoretical <i>K</i> value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Recommended design value when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
End condition code	 <i>Rotation fixed and translation fixed</i>  <i>Rotation free and translation fixed</i>  <i>Rotation fixed and translation free</i>  <i>Rotation free and translation free</i>					

### ANEXO III. CASA DE LA CALIDAD

Column #		ANÁLISIS DE LA COMPETENCIA																		
		1	2	3	4	5	6	7												
# Importancia	VOZ DEL USUARIO	VOZ DEL INGENIERO	Funcionamiento manual	Material resistente y comercial	Ligero y simple	Estabilidad	Mascarillas talla estándar	Rápido mantenimiento preventivo	Diseño eficiente	Producto propio	Competencia A	Competencia B	Objetivos	Índice de Mejora	Factor de Venta	Importancia	Ponderación	Ponderación en %		
	1	5	Debe ser manual	O	●	●			○	○	5	4	3	5	1,0	1,0	5	5	7,2	
	2	5	Material duradero y fácil de conseguir	B		●				●	5	4	4	5	1,0	1,5	5	7,5	11	
	3	5	Debe ser cómodo y fácil de usar	B	●			▽		○	3	5	5	4	1,3	1,5	5	10	14	
	4	5	Debe ser estable	B			▽	●			4	5	5	5	1,3	1,5	5	9,4	13	
	5	4	Genera mascarillas genéricas	E					●	○	3	5	5	5	1,7	1,2	4	8	11	
	6	4	Darle poco mantenimiento	O	○		○		○	●	●	1	4	3	4	4,0	1,5	4	24	34
	7	4	Debe ofrecer una matriz económica	B	○	●	○			●	●	5	1	1	5	1,0	1,5	4	6	8,6
Valores de Referencia		Unión y separación manual de maldes	Acero y Aluminio	Uso de una sola mano	Centro de gravedad centrado sobre la base	N95	Cheques en ciertas zonas	\$200-\$300 aprox.									70	100		
Evaluación Técnica		Producto Próprio	5	5	3	4	3	1	5											
		Competencia 1	4	4	5	5	5	4	1											
		Competencia 2	3	4	5	5	5	3	1											
		Incidencia	225	122	234	94,4	144	339	383	1540,8										
		Incidencia en %	15	7,9	15	6,1	9,3	22	25	100										
		Columna #	1	2	3	4	5	6	7											



Correlaciones	
Positiva	+
Negativa	-
No Correlación	

Factor de venta	
Fuerte	1,5
Posible	1,2
Ningún	1

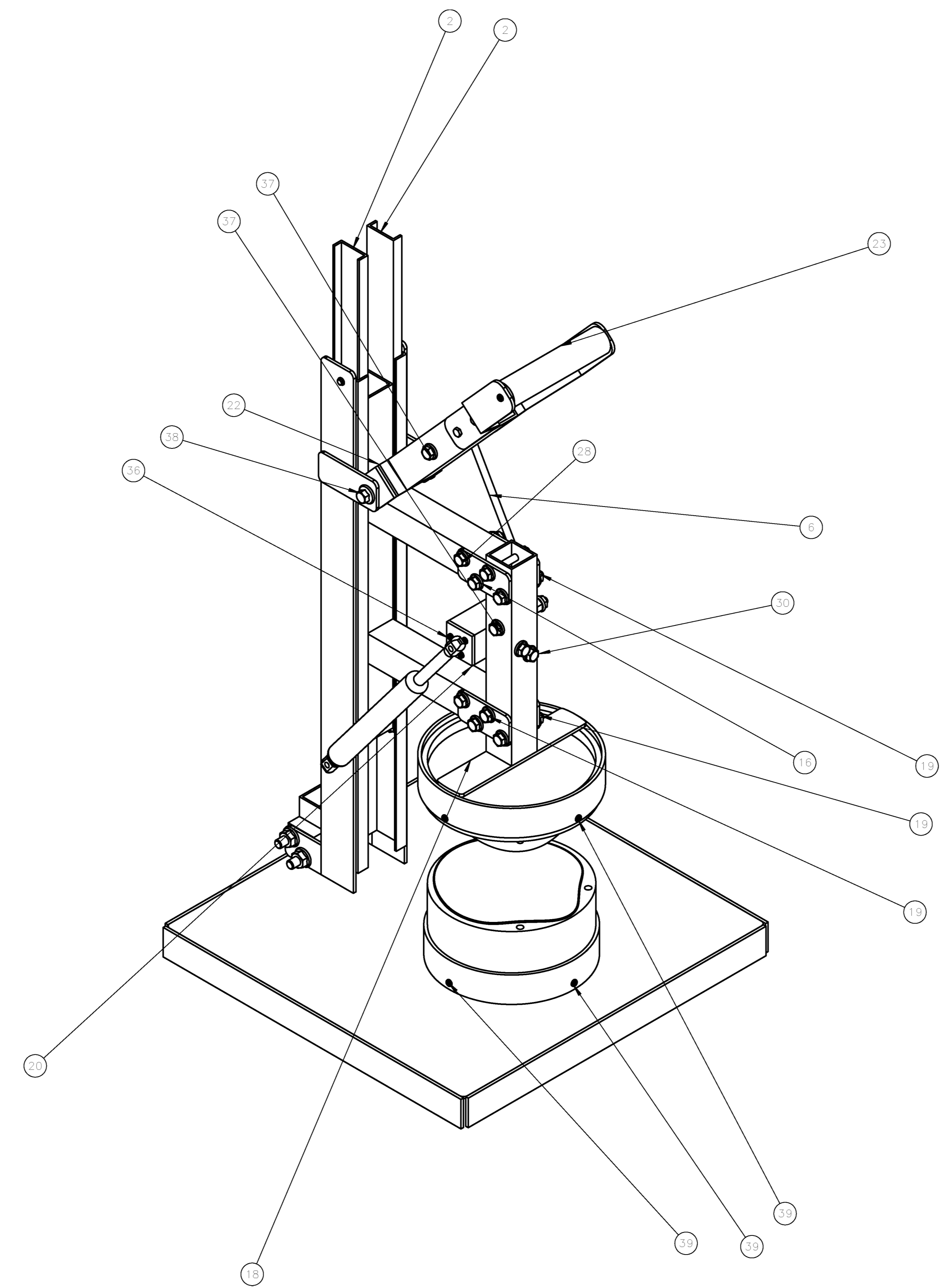
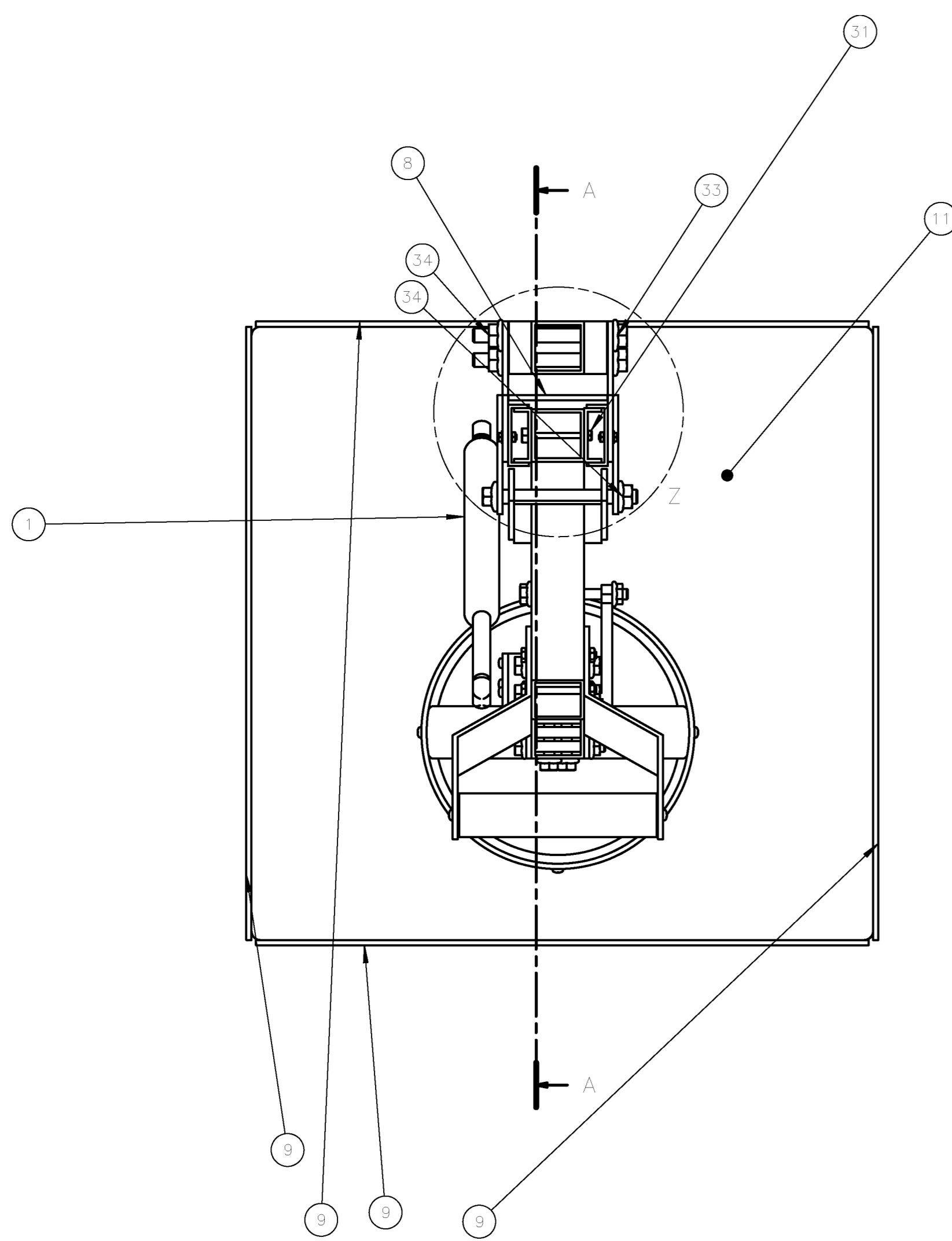
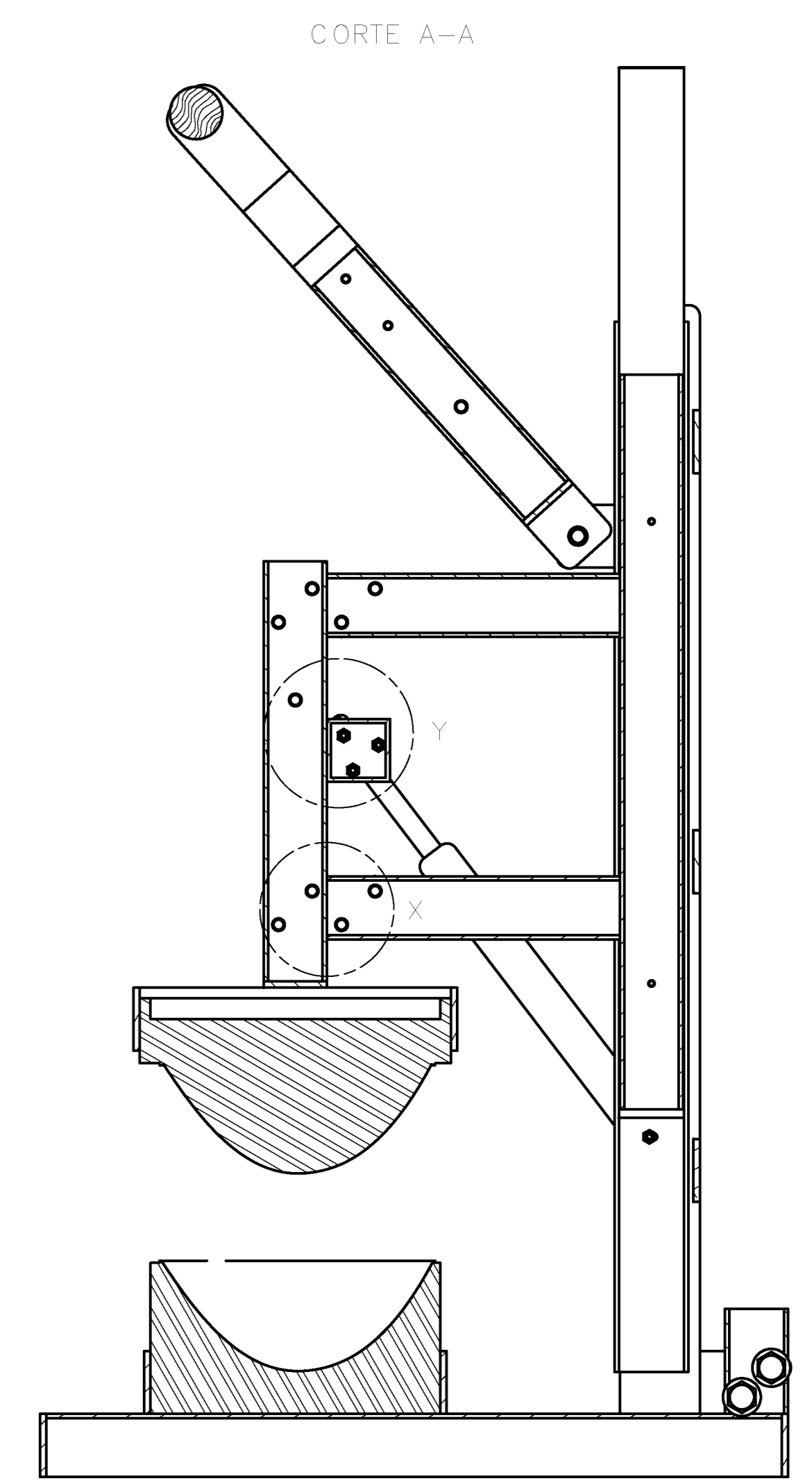
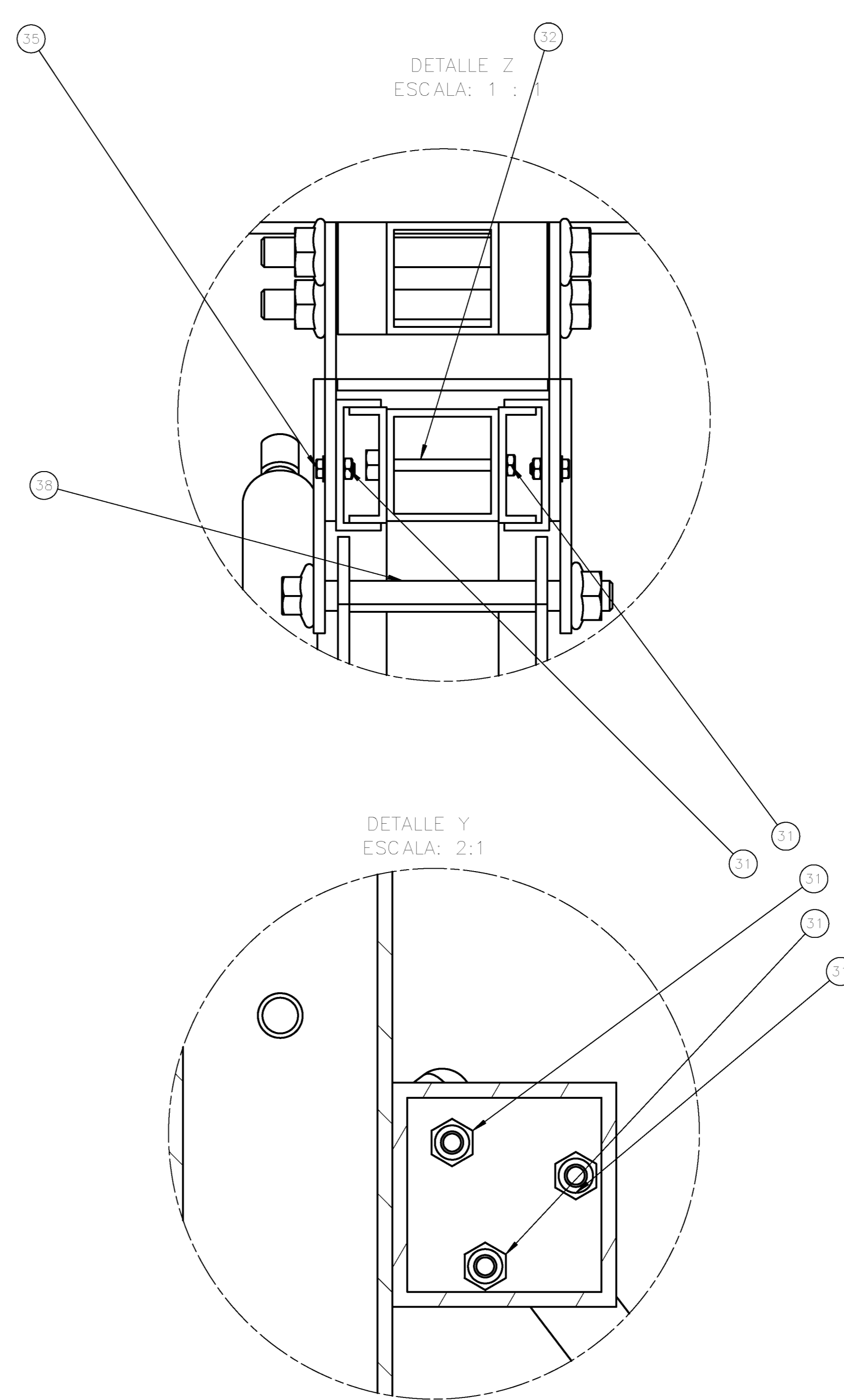
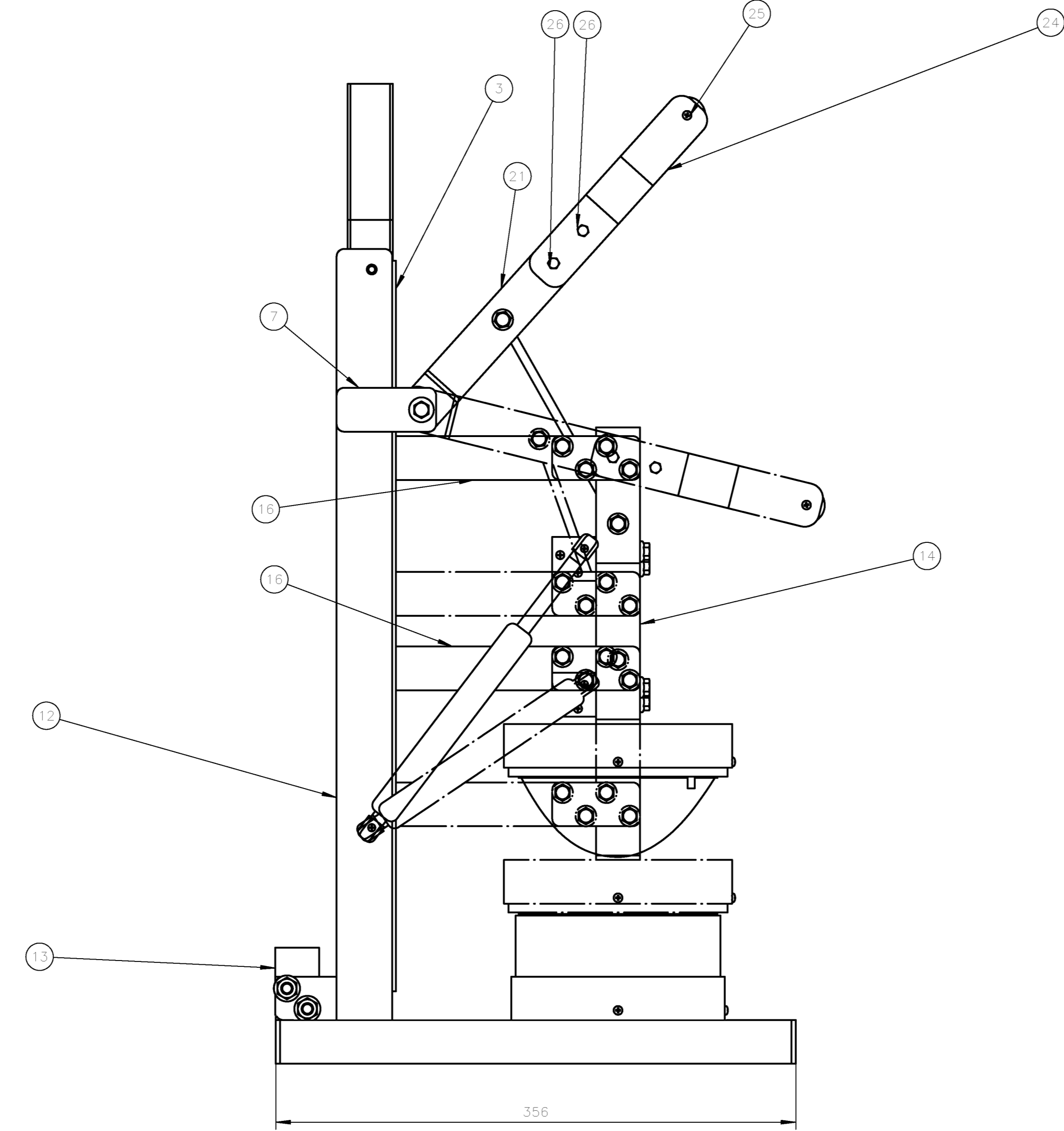
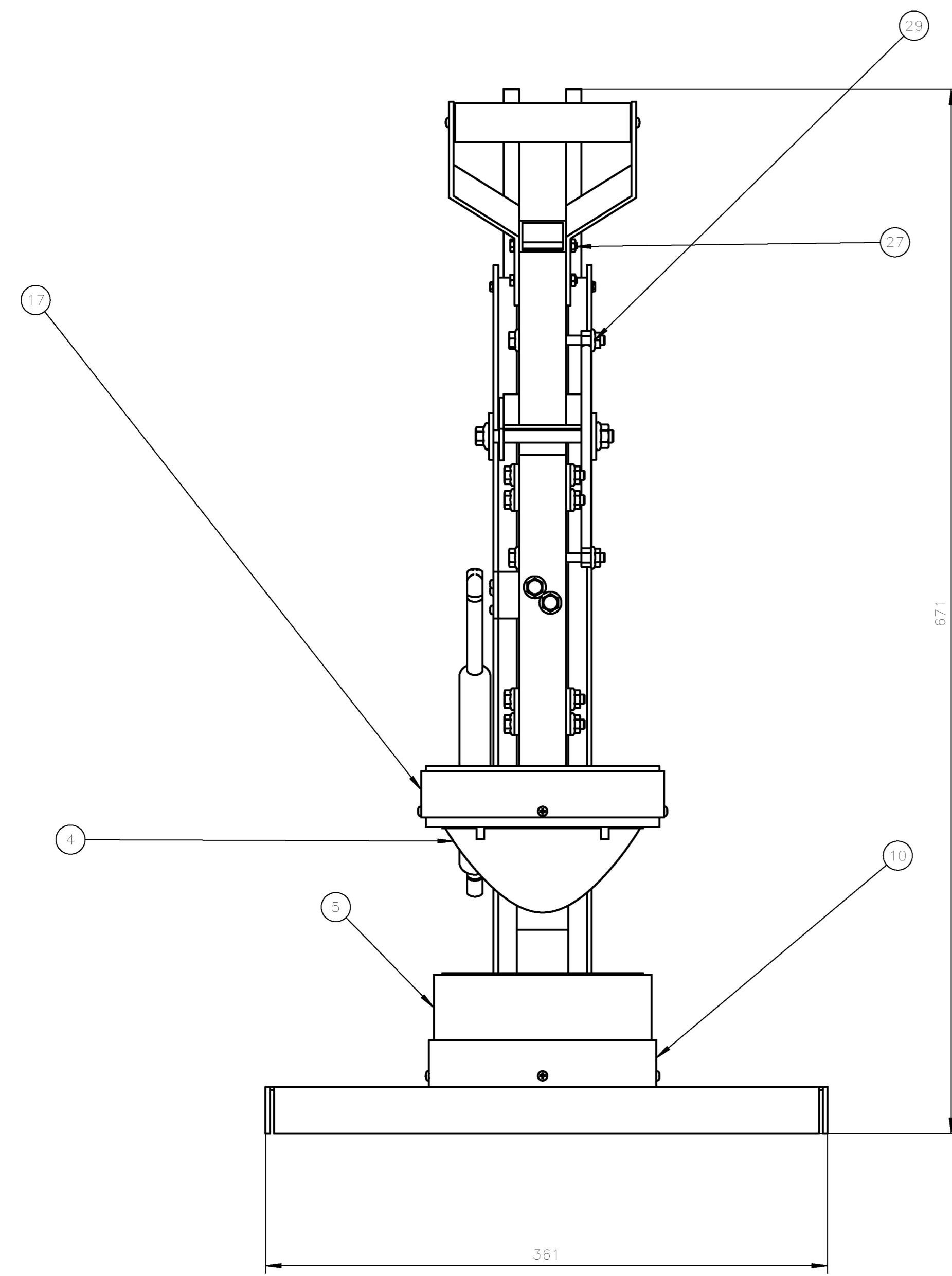
factor de incidencia	
Fuerte	● 9
Medio	○ 3
Bajo	▽ 1

B	Básico
O	Unidimensional
E	Estimulante

### ANEXO IV. DIAGRAMA DE GANTT

Código	Actividad	Enero		Febrero				Marzo				Abril				Mayo				Junio				Julio				Agosto				Sept.						
		1	2	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2					
<b>A1.1</b>	<b>Recopilar información bibliográfica</b>																																					
A1.1.1	Recopilar información sobre el estado del arte de la fabricación de mascarillas: procesos de termoformado, requerimientos de mascarillas, procesos CAD/CAM, fabricación de matrices.	X	X	X	X	X	X																															
<b>A1.2</b>	<b>Diseñar la matriz</b>																																					
A1.2.1	Usar el diseño concurrente (benchmarking, casa de calidad, voz del usuario y del ingeniero, análisis funcional).			X	X	X	X																															
A1.2.2	Plantear las alternativas y seleccionar la mejor.							X	X	X	X																											
A1.2.3	Diseñar la mascarillas, los moldes y la estructura, seleccionar el sistema de calentamiento.											X	X	X	X																							
<b>A1.3</b>	<b>Elaborar archivos CAD/CAM</b>																																					
A1.3.1	Diseñar los archivos CAD (Elaborar los planos).															X																						
A1.3.2	Obtener las piezas en CAM (Código).															X	X																					
A1.3.3	Calcular los parámetros de mecanizado.																X																					
<b>A1.4</b>	<b>Construir los moldes</b>																																					
A1.4.1	Elaborar los moldes en el centro de mecanizado.																				X	X	X	X														
A1.4.2	Construir la estructura.																																					
<b>A1.5</b>	<b>Montaje de la matriz</b>																																					
A1.5.1	Acoplar los moldes y el sistema de calentamiento en la estructura metálica.																											X	X									
<b>A1.6</b>	<b>Realizar el protocolo de pruebas</b>																																					
A1.6.1	Analizar los resultados.																										X	X	X	X	X	X						
A1.6.2	Analizar los costos.																										X	X	X	X								
<b>A1.7</b>	<b>Discutir los resultados</b>																																					
A1.7.1	Establecer las conclusiones y recomendaciones a partir de los resultados.																										X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>A1.8</b>	<b>Redactar tesis</b>																																					
A1.8.1	Incluir toda la información recopilada en formato IEEE.							X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	

## **ANEXO V. PLANOS DE CONJUNTO Y DE TALLER**



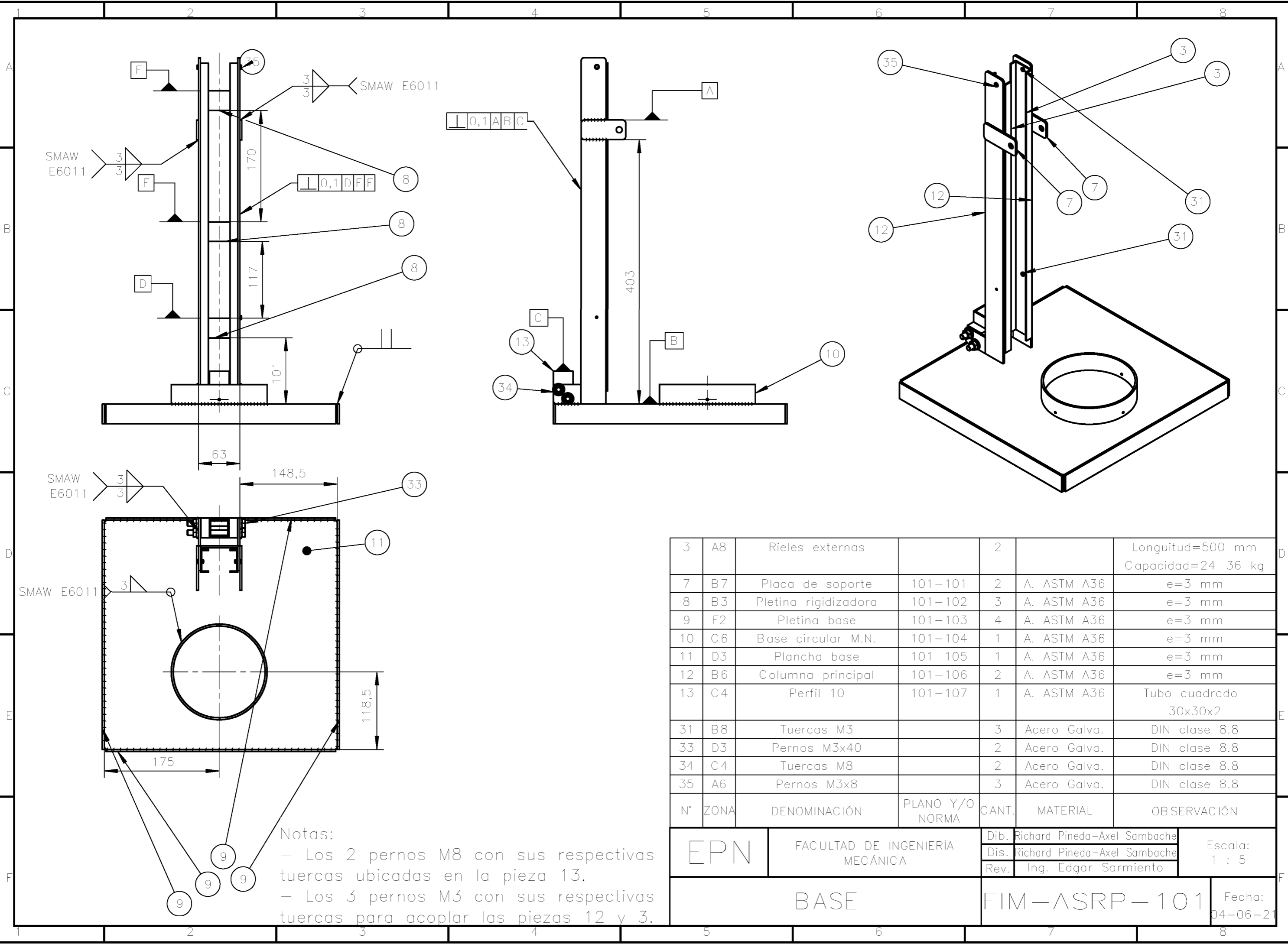
- Notas:
- El sistema de calentamiento y las conexiones eléctricas no está incluido en los planos.
  - El amortiguador requiere 3 tornillos M3 con tuercas para acoplarle al conjunto 102 y un tornillo M3 con tuercas para acoplarle al conjunto del plano 101.
  - Para conectar el conjunto de los planos 102 con el conjunto del plano 103 se requiere la pieza llamada biela, la cual requiere dos pernos M6 con tuercas para ser ensamblado.
  - Para conectar el conjunto de los planos 103 con el conjunto del plano 101 se requiere un perno M8 con su respectiva tuercas.
  - Para acoplar la pieza 4 y 7 se requieren 3 tornillos M3.
  - Para acoplar la pieza 10 y 5 se requieren 3 tornillos M3.
  - El resto de elementos de sujeción necesarios ya se especifican en los planos de montaje 101, 102 y 103.

Tabla de especificaciones de la máquina:

Temperatura	0-150 °C
Fuerza	80 N
Voltaje	110-230 V
Potencia	1000 W

ID	Descripción	CANT.	MATERIAL	Observación
1	I2 Amortiguador	1	Capacidad 80 N	
2	F10 Correderas internas	2	Longitud=500 mm Capacidad=24-36 kg	
3	A10 Correderas externas	2	Longitud=500 mm Capacidad=24-36 kg	
4	D2 Molde Positivo	100-101	1 Duraluminio 7075	
5	D3 Molde negativo	100-102	1 Duraluminio 7075	
6	I13 Biela	100-103	1 Acero ASTM A36	
7	B4 Placa de soporte	101-101	2 Acero ASTM A36	e=3 mm
8	H3 Pletina rigidizadora	101-102	3 Acero ASTM A36	e=3 mm
9	K3 Pletina base	101-103	4 Acero ASTM A36	e=3 mm
10	D5 Base circular M.N.	101-104	1 Acero ASTM A36	e=3 mm
11	H5 Plancha base	101-105	1 Acero ASTM A36	e=3 mm
12	D8 Columna principal	101-106	2 Acero ASTM A36	e=3 mm
13	E8 Perfil 10	101-107	1 Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
14	C13 Perfil 1	102-101	1 Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
15	H4 Perfil 4	102-102	1 Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
16	C9 Perfil 2-3	102-103	2 Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
17	B2 Base circular M.P.	102-104	1 Acero ASTM A36	e=3 mm
18	L9 Base superior M.P.	102-105	1 Acero ASTM A36	e=3 mm
19	J12 Sujetador de palanca	102-106	4 Acero ASTM A36	e=3 mm
20	K8 Perfil 9	102-107	1 Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
21	B10 Perfil 6	103-101	1 Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
22	H9 Base móvil palanca	103-102	1 Acero ASTM A36	e=3 mm
23	G12 Mango de madera	103-103	1 Madera	Diámetro=25 mm
24	A12 Mango de palanca	103-104	2 Acero ASTM A36	e=3 mm
25	B5 Tornillos M4x15	2	Acero Galva.	
26	B8 Pernos M4x40	2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
27	B5 Tuercas M4	2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
28	H8 Pernos M6x45	8	Acero Galva.	DIN clase 8.8
29	A5 Tuercas M6	12	Acero Galva.	DIN clase 8.8
30	I9 Pernos M4x40	2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
31	D13 Tuercas M3	9	Acero Galva.	DIN clase 8.8
32	A12 Pernos M3	2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
33	H4 Pernos M3x40	2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
34	H3 Tuercas M8	3	Acero Galva.	DIN clase 8.8
35	A10 Pernos M3x8	3	Acero Galva.	DIN clase 8.8
36	H6 Tornillos M3	4	Acero Galva.	
37	G7 Pernos M6x55	2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
38	H6 Pernos M8x80	1	Acero Galva.	DIN clase 8.8
39	L9 Pernos M3x15	6	Acero Galva.	

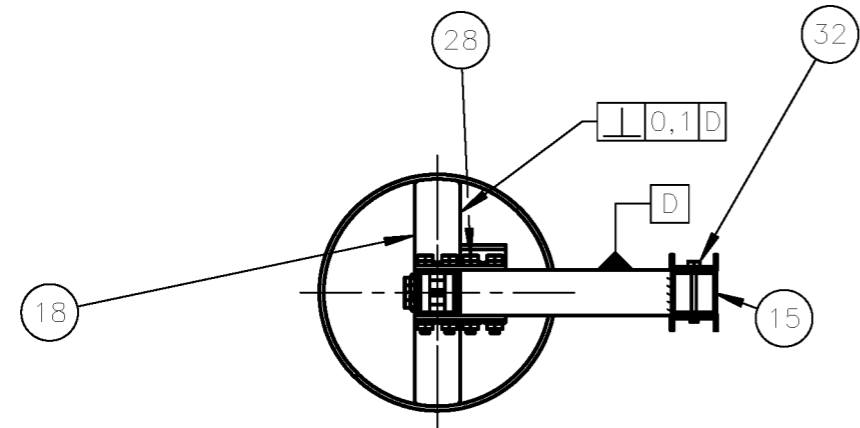
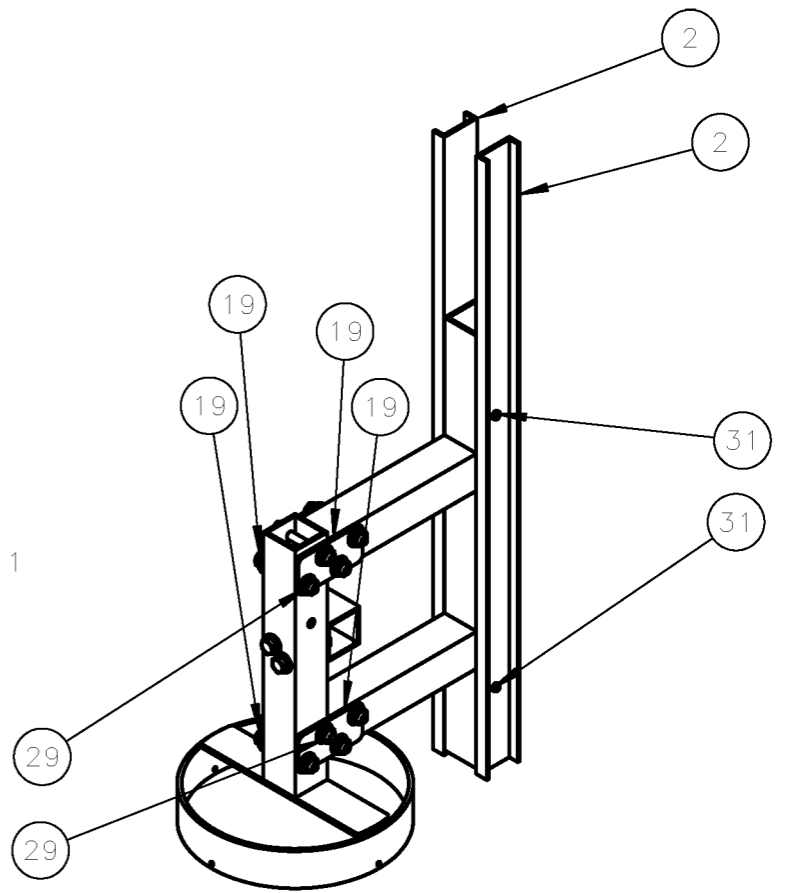
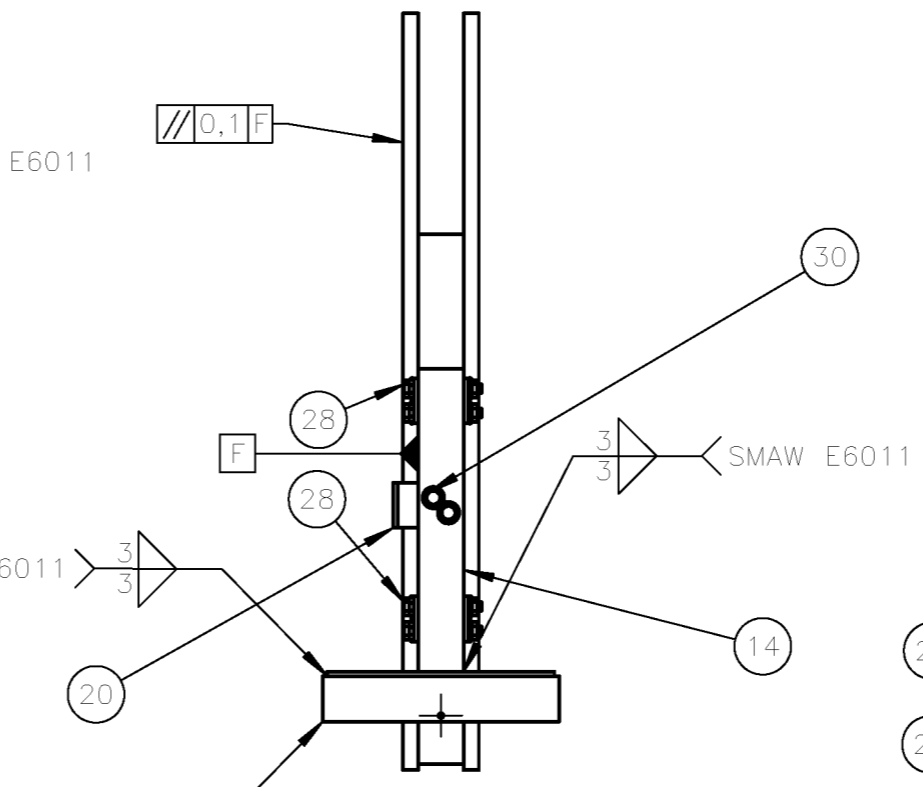
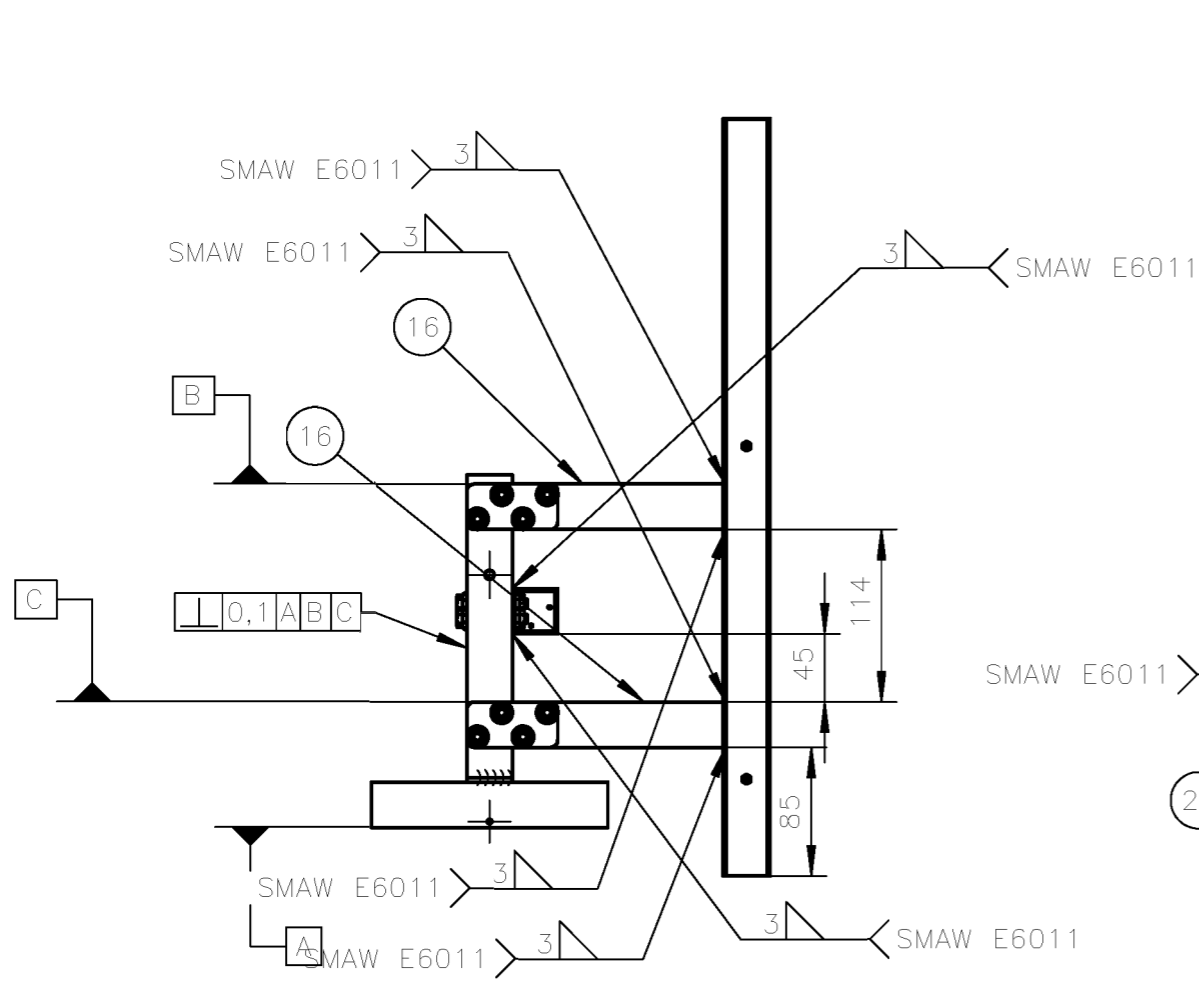
N° ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN												
<table border="0"> <tr> <td>EPN</td> <td>FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA</td> <td>Ing. Richard Pareda-Jesús Sarmiento</td> <td>Escuela:</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Rev. Ing. Edgar Sarmiento</td> <td>1 : 2.5</td> </tr> <tr> <td colspan="2">TERMOFORMADORA</td> <td>FIM-ASRP-100</td> <td>Fecha: 14-06-2</td> </tr> </table>						EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Ing. Richard Pareda-Jesús Sarmiento	Escuela:			Rev. Ing. Edgar Sarmiento	1 : 2.5	TERMOFORMADORA		FIM-ASRP-100	Fecha: 14-06-2
EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Ing. Richard Pareda-Jesús Sarmiento	Escuela:														
		Rev. Ing. Edgar Sarmiento	1 : 2.5														
TERMOFORMADORA		FIM-ASRP-100	Fecha: 14-06-2														



Notas:  
 - Los 2 pernos M8 con sus respectivas tuercas ubicadas en la pieza 13.  
 - Los 3 pernos M3 con sus respectivas tuercas para acoplar las piezas 12 y 3.

3	A8	Rieles externas		2		Longitud=500 mm Capacidad=24-36 kg
7	B7	Placa de soporte	101-101	2	A. ASTM A36	e=3 mm
8	B3	Pletina rigidizadora	101-102	3	A. ASTM A36	e=3 mm
9	F2	Pletina base	101-103	4	A. ASTM A36	e=3 mm
10	C6	Base circular M.N.	101-104	1	A. ASTM A36	e=3 mm
11	D3	Plancha base	101-105	1	A. ASTM A36	e=3 mm
12	B6	Columna principal	101-106	2	A. ASTM A36	e=3 mm
13	C4	Perfil 10	101-107	1	A. ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
31	B8	Tuercas M3		3	Acero Galva.	DIN clase 8.8
33	D3	Pernos M3x40		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
34	C4	Tuercas M8		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
35	A6	Pernos M3x8		3	Acero Galva.	DIN clase 8.8
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Dib. Richard Pineda-Axel Sambache	Escala: 1 : 5
		Dis. Richard Pineda-Axel Sambache	
		Rev. Ing. Edgar Sarmiento	
BASE		FIM-ASRP-101	Fecha: 04-06-21

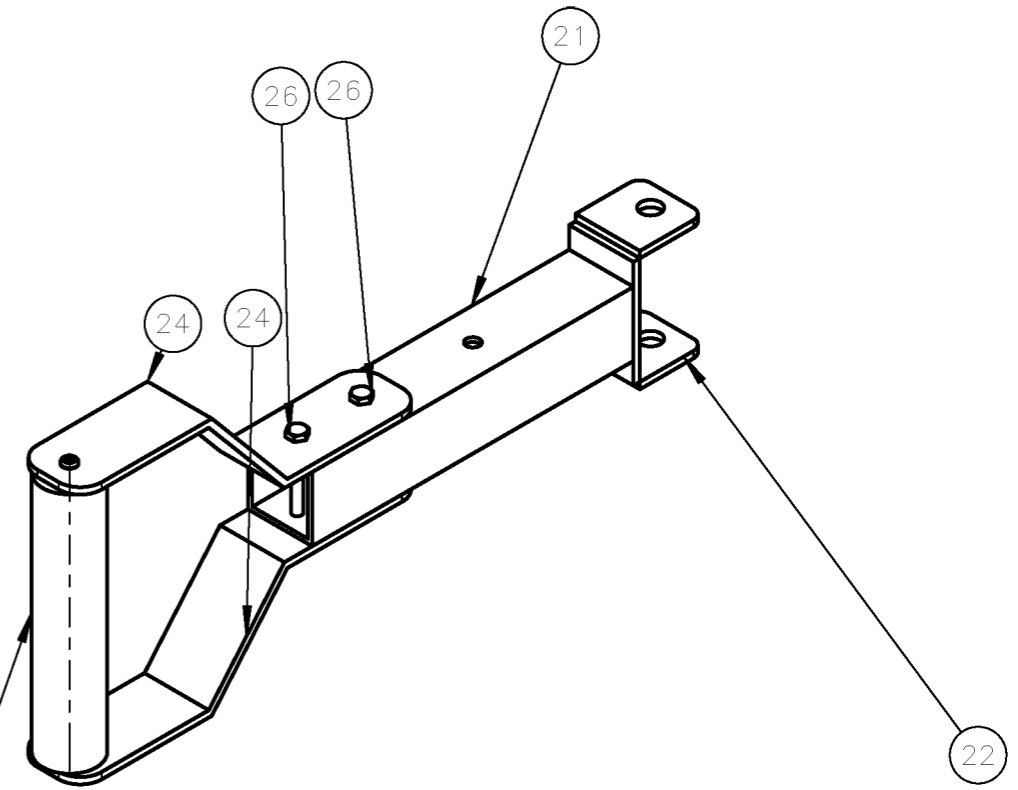
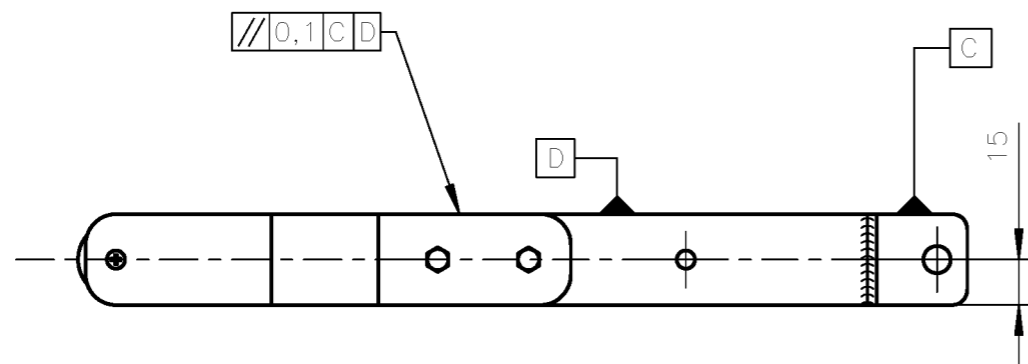
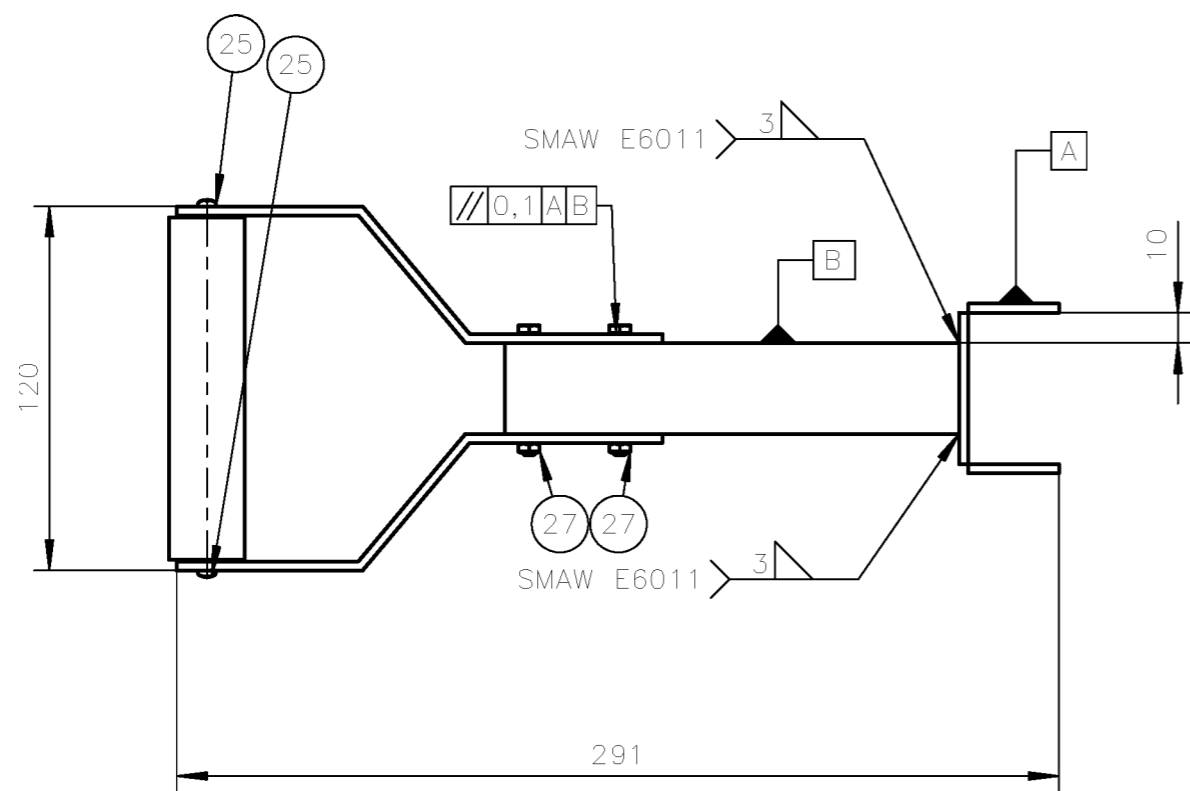


Notas:  
 - Los 8 pernos M6 con sus respectivas tuercas acoplan los elementos 19 y 16.  
 - Los 2 pernos M6 con sus respectivas tuercas acoplan los elementos 14 y 20.  
 - Los 4 pernos M3 con sus respectivas tuercas acoplan los elementos 2 y 15.

2	A8	Riel interna		2		Longitud=500 mm Capacidad=24-36 kg
14	C6	Perfil 1	102-101	1	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
15	E3	Perfil 4	102-102	1	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
16	B2	Perfil 2-3	102-103	2	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
17	D4	Base circular M.P.	102-104	1	Acero ASTM A36	e=3 mm
18	E1	Base superior M.P.	102-105	1	Acero ASTM A36	e=3 mm
19	B7	Sujetador de palanca	102-106	4	Acero ASTM A36	e=3 mm
20	C4	Perfil 9	102-107	1	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
28	B5	Pernos M6x45		8	Acero Galva.	DIN clase 8.8
29	C6	Tuercas M6		10	Acero Galva.	DIN clase 8.8
30	B6	Pernos M4x40		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
31	B8	Tuercas M3		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
32	D3	Pernos M3		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

EPN	FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA	Dib. Richard Pineda-Axel Sambache	Escala: 1 : 5
		Dis. Richard Pineda-Axel Sambache	
COLUMNAS Y VIGAS		Rev. Ing. Edgar Sarmiento	Fecha: 04-06-21





Notas:  
 - Los 2 tornillos M3 son para acoplar la pieza 23 y 24.  
 - Los 2 pernos M4 con sus respectivas tuercas son para acoplar la pieza 24 con la 7.

21	A7	Perfil 6	103-101	1	Acero ASTM A36	Tubo cuadrado 30x30x2
22	C8	Base móvil palanca	103-102	1	Acero ASTM A36	e=3 mm
23	D5	Mango de madera	103-103	1	Acero ASTM A36	Diámetro=25 mm
24	B6	Mango de palanca	103-104	2	Acero ASTM A36	e=3 mm
25	A2	Tornillos M4x15		2	Acero Galva.	
26	A6	Pernos M4x40		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
27	B3	Tuercas M4		2	Acero Galva.	DIN clase 8.8
N°	ZONA	DENOMINACIÓN	PLANO Y/O NORMA	CANT.	MATERIAL	OBSERVACIÓN

EPN

FACULTAD DE INGENIERIA MECÁNICA

Dib. Richard Pineda-Axel Sambache  
 Dis. Richard Pineda-Axel Sambache  
 Rev. Ing. Edgar Sarmiento

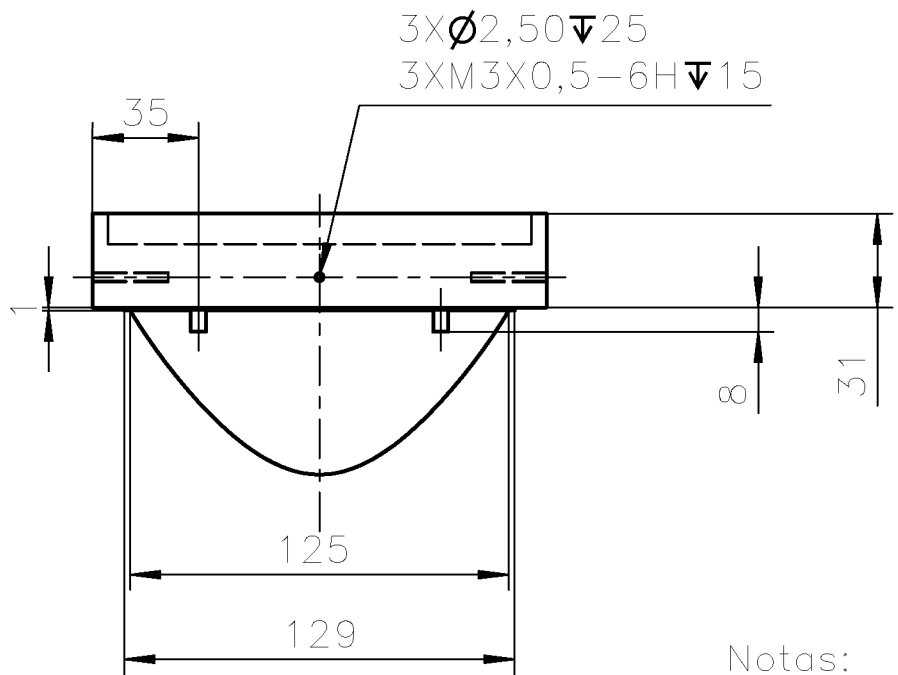
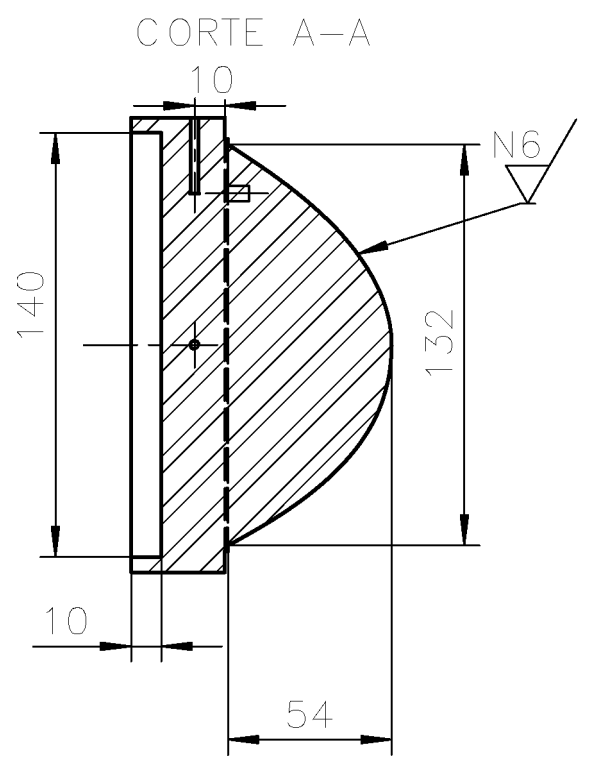
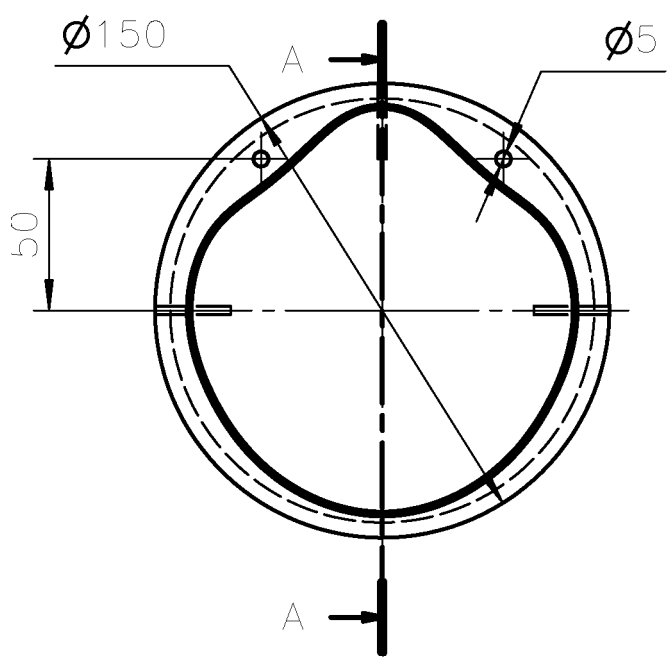
Escala:  
1 : 2.5

PALANCA

FIM-ASRP-103

Fecha:  
04-06-21

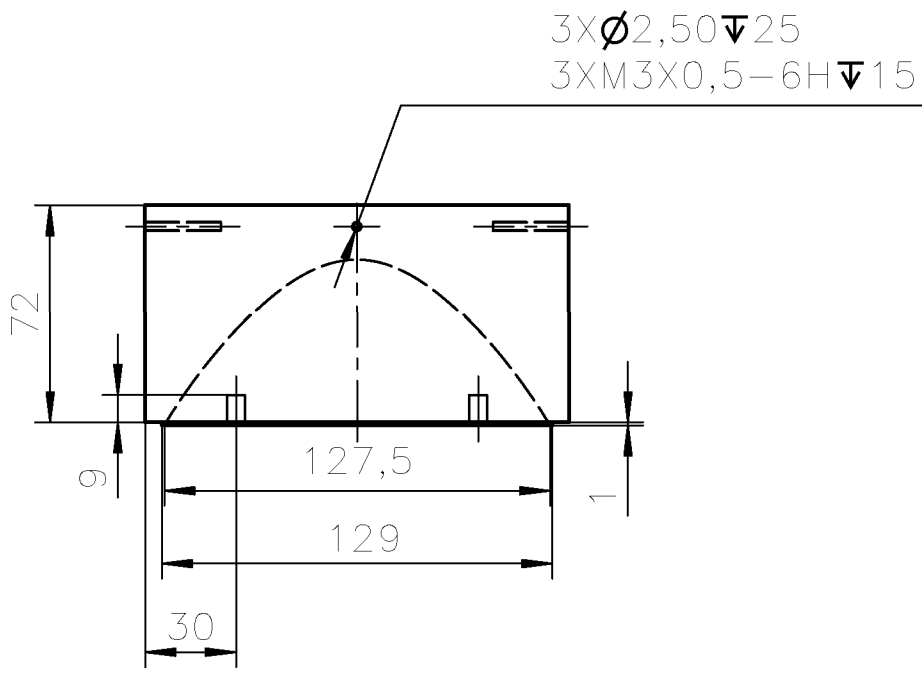
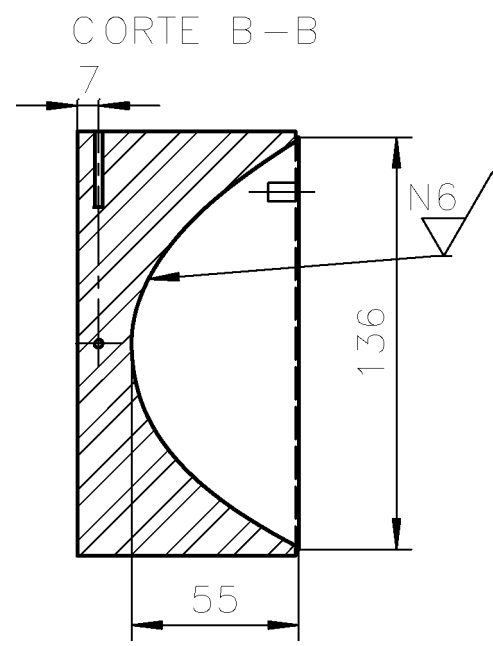
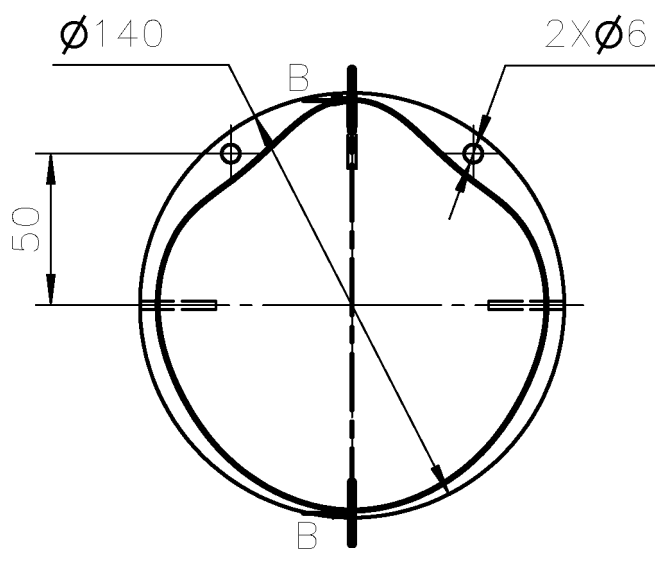
N6 / ( N7 )



Notas:  
- Eliminar aristas vivas.

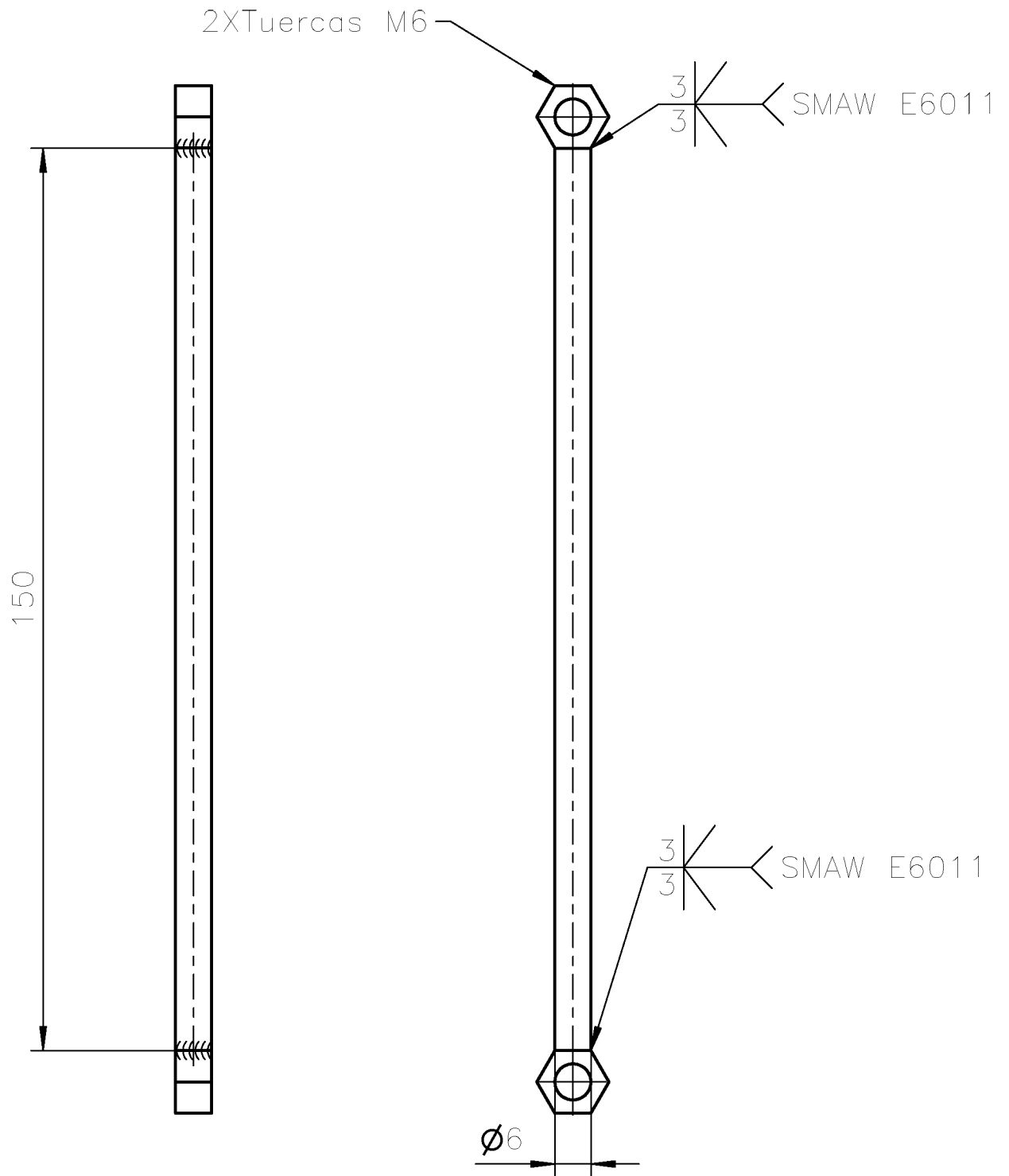
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: DURALUMINIO 7075	Tol. Gral. ± 0.02	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			MOLDE POSITIVO	
FIM-ASRP-100-101		Fecha: 04-06-21		

N6/ ( N7/ )



Notas:  
- Eliminar aristas vivas.

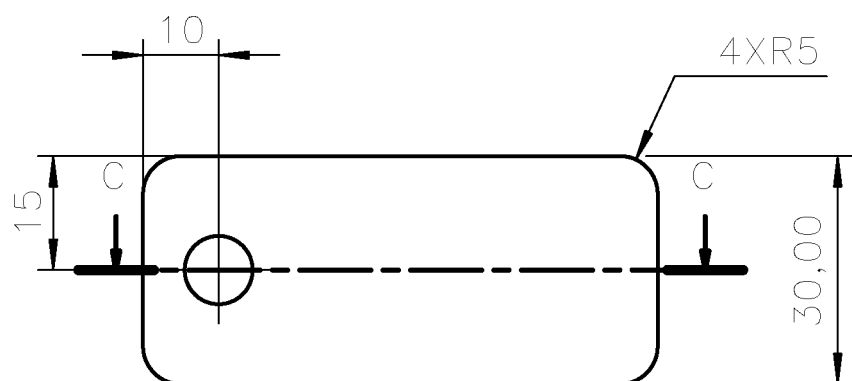
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Ninguno		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: DURALUMINIO 7075	Tol. Gral. $\pm 0.02$	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			MOLDE NEGATIVO	
			Fecha: 04-06-21	



Notas:

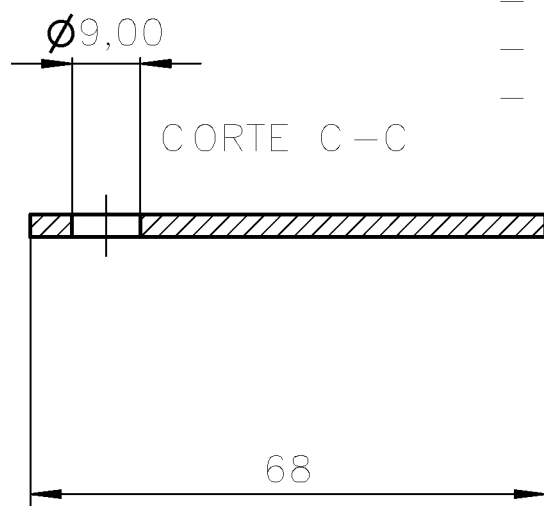
- Eliminar aristas vivas.
- Eliminar escoria de soldadura.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			BIELA	
FIM-ASRP-100-103		Fecha: 04-06-21		



Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.
- Espesor de la placa 3 mm.
- Redondear esquinas con limado.



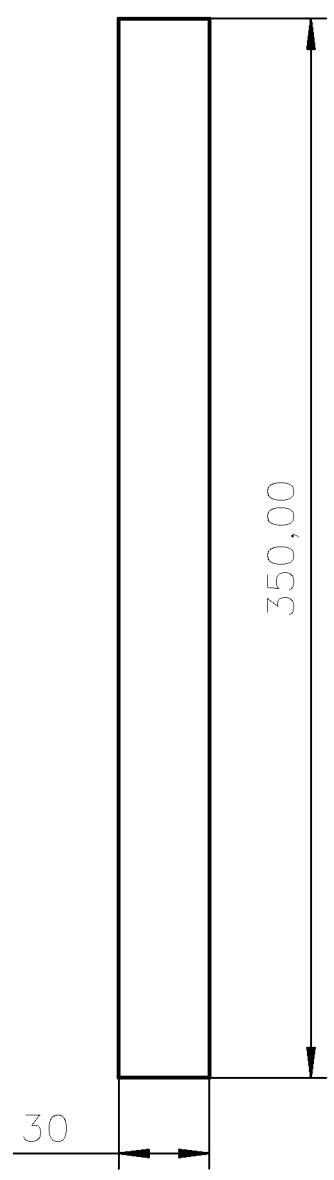
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			PLACA DE SOPORTE	



Notas:

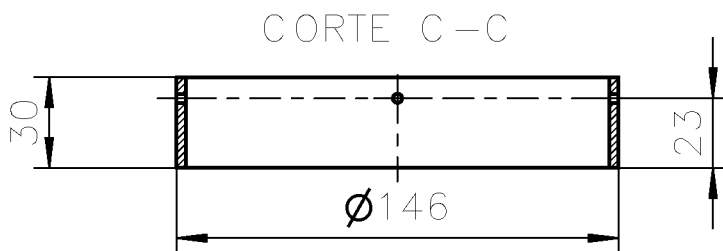
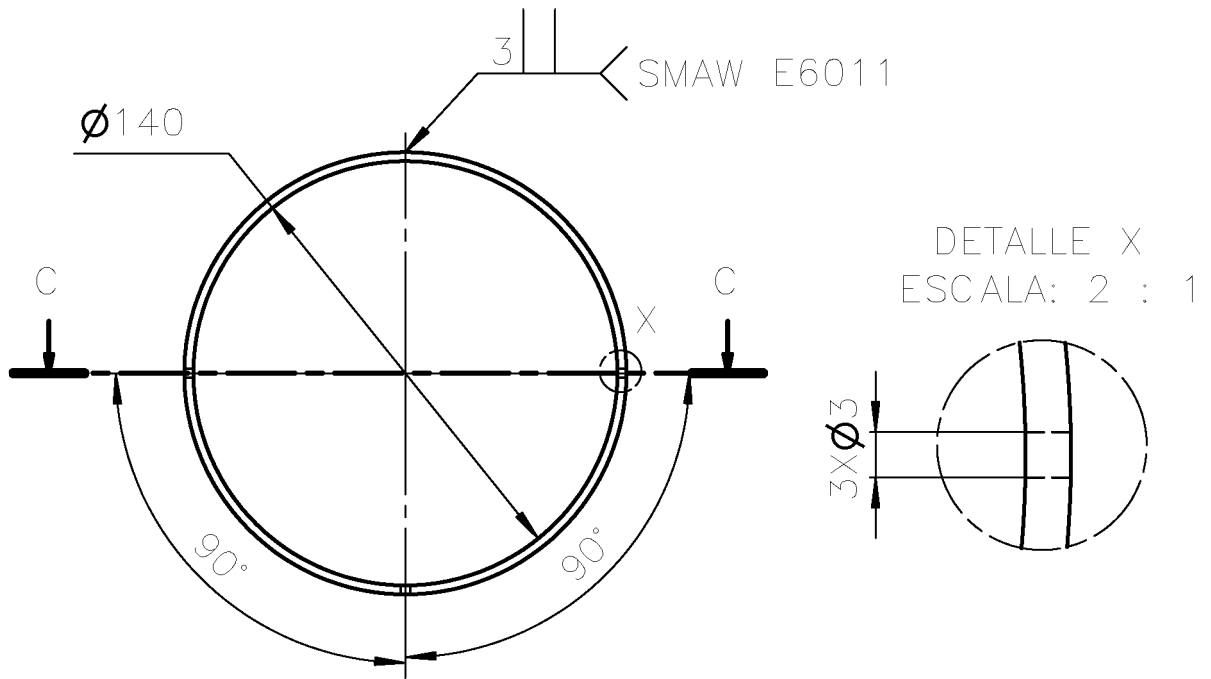
- Eliminar aristas vivas.
- Pletina de espesor 3 mm.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 2: 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			Fecha: 04-06-21	
PLETINA RIGIDIZADORA		FIM-ASRP-101-102		



- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Espesor placa 3 mm.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
PLETINA BASE		FIM-ASRP-101-103		Fecha: 04-06-21

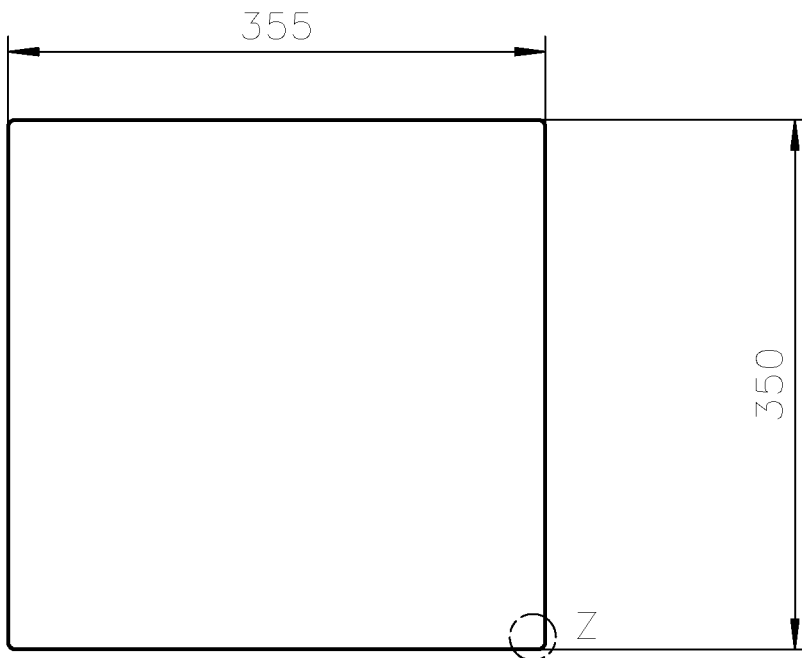


Notas:

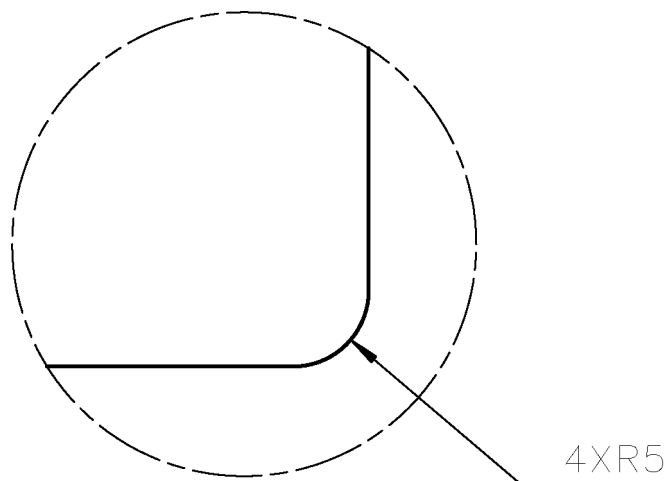
- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.
- Eliminar escoria de soldadura.
- Espesor 3 mm.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. $\pm 0.1$	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			BASE CIRCULAR MOLDE NEGATIVO	
		FIM-ASRP-101-104	Fecha: 04-06-21	





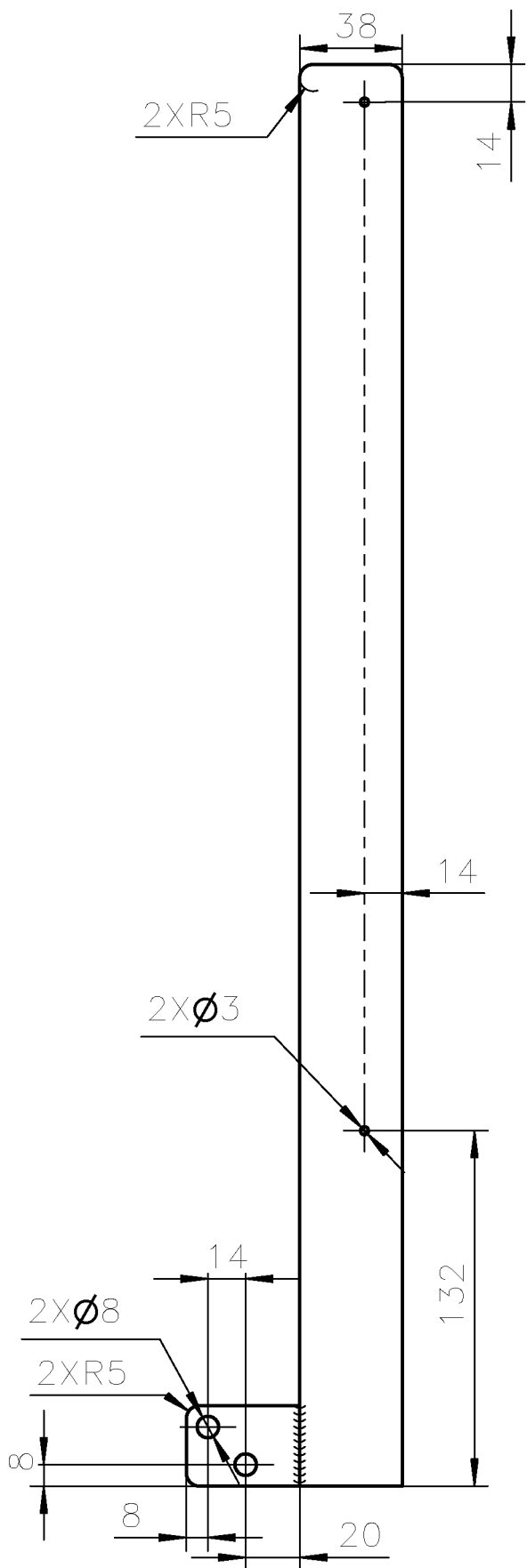
DETALLE Z  
ESCALA: 2 : 1



Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Espesor de la placa 2 mm.
- Redondear esquinas con limado.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			Fecha: 04-06-21	
PLANCHA BASE		FIM-ASRP-101-105		



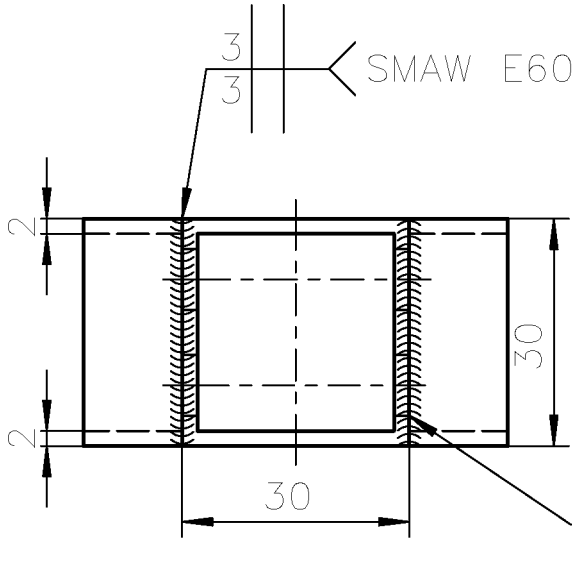
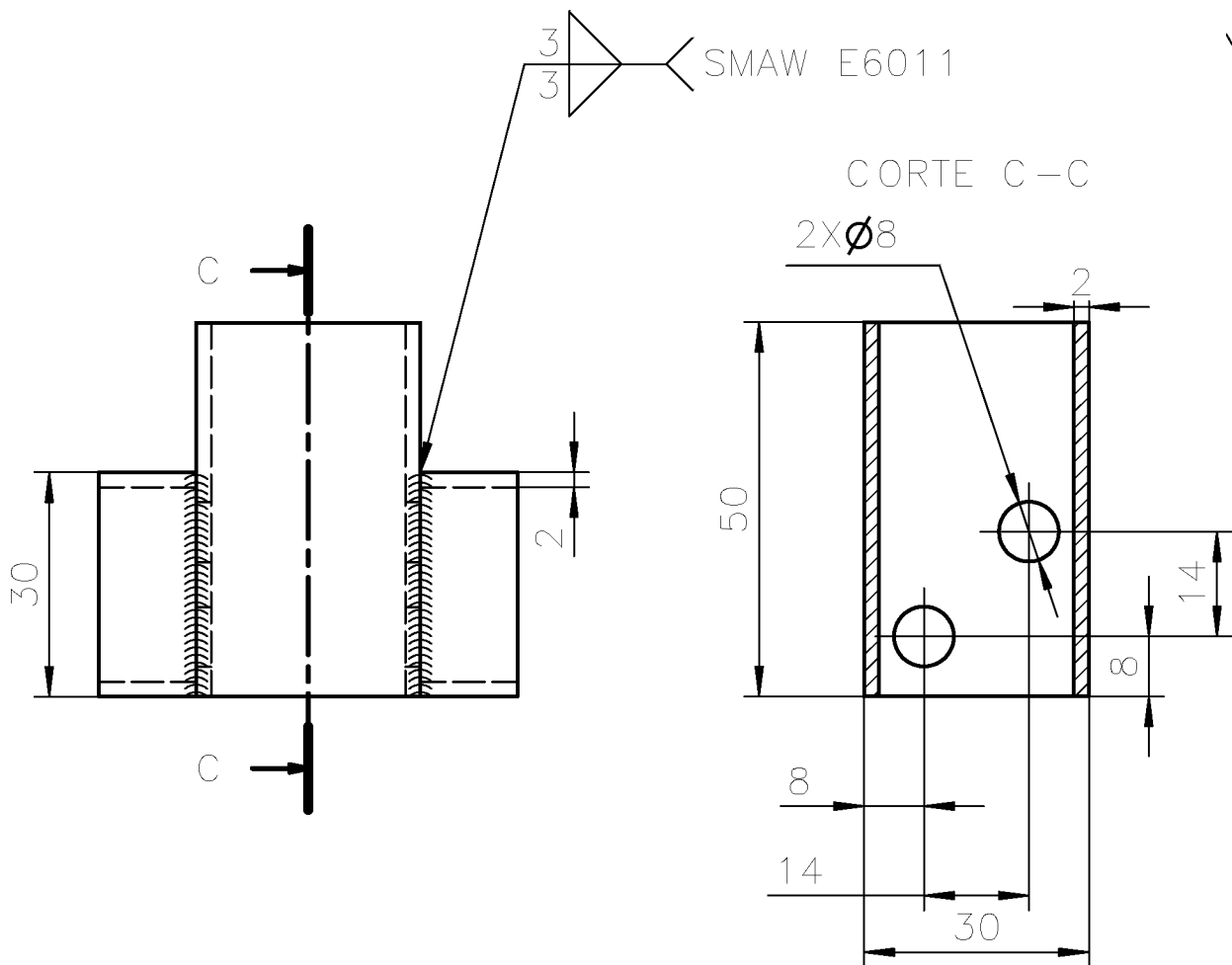
523

Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.
- Espesor de la placa 3 mm.
- Redondear esquinas con limado.

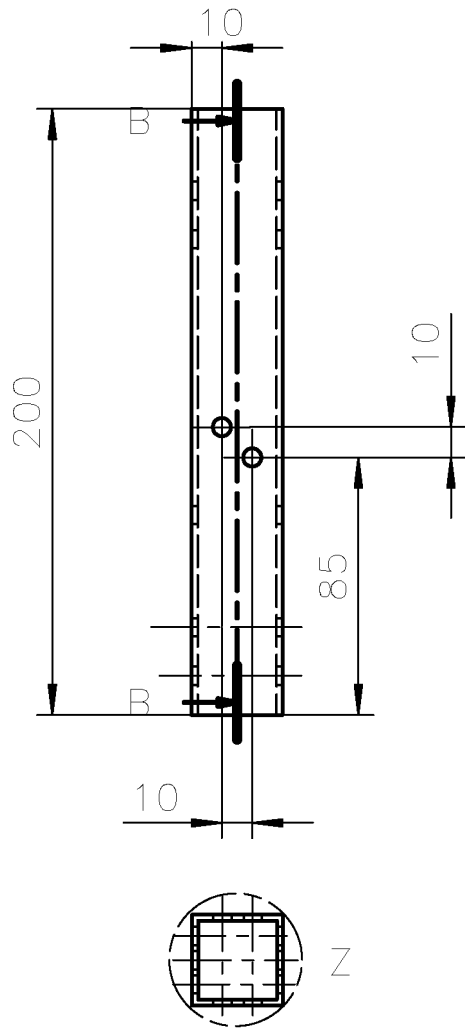
3  
3  
SMAW  
E6011

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			COLUMNA PRINCIPAL	
FIM-ASRP-101-106		Fecha: 04-06-21		

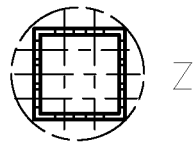
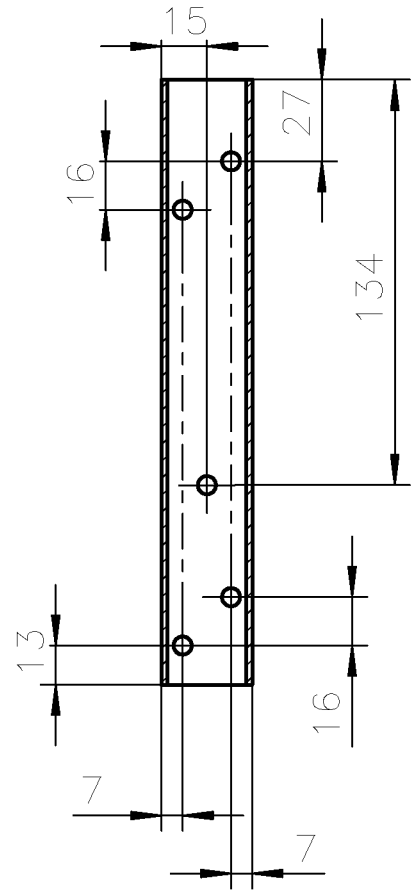


- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Agujeros taladrados.
  - Tubos cuadrados 30x30x2.
  - Eliminar escoria de soldadura.

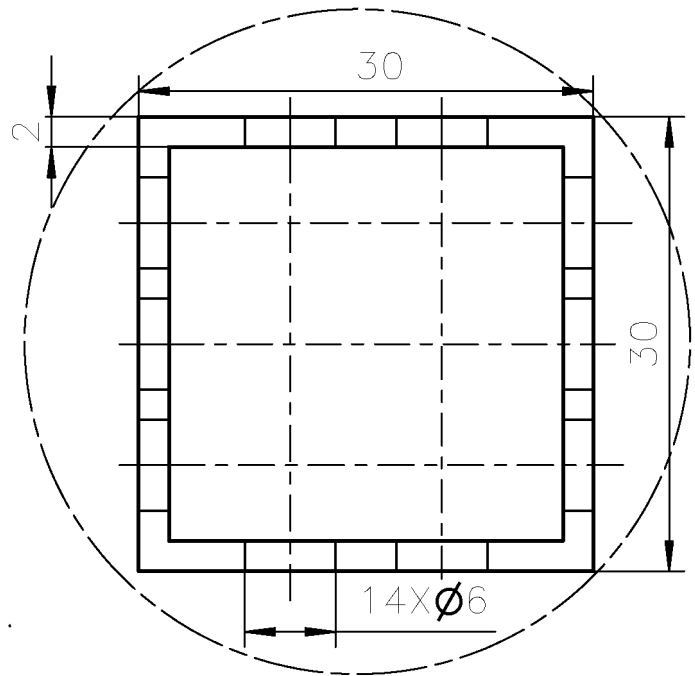
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			Fecha: 04-06-21	
PERFIL 10		FIM-ASRP-101-107		



CORTE B-B



DETALLE Z  
ESCALA: 2 : 1

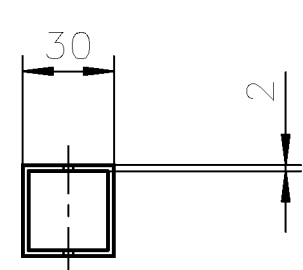
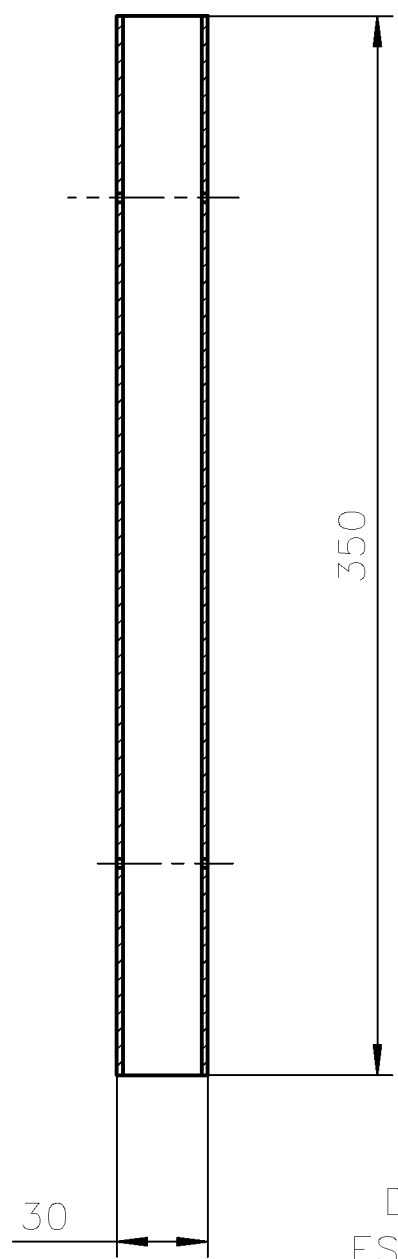
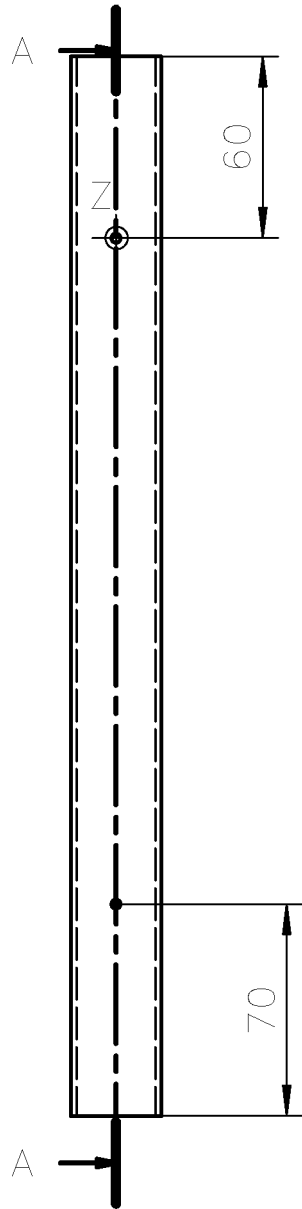


Notas:

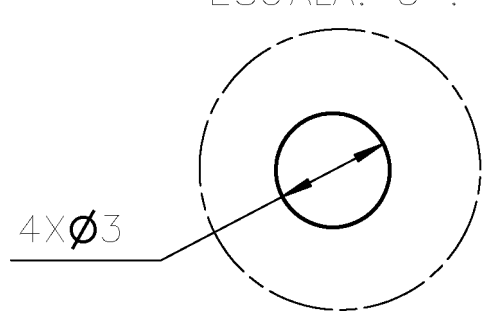
- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.
- Tubo cuadrado 30x30x2.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
PERFIL 1		FIM-ASRP-102-101		Fecha: 04-06-21

CORTE A-A

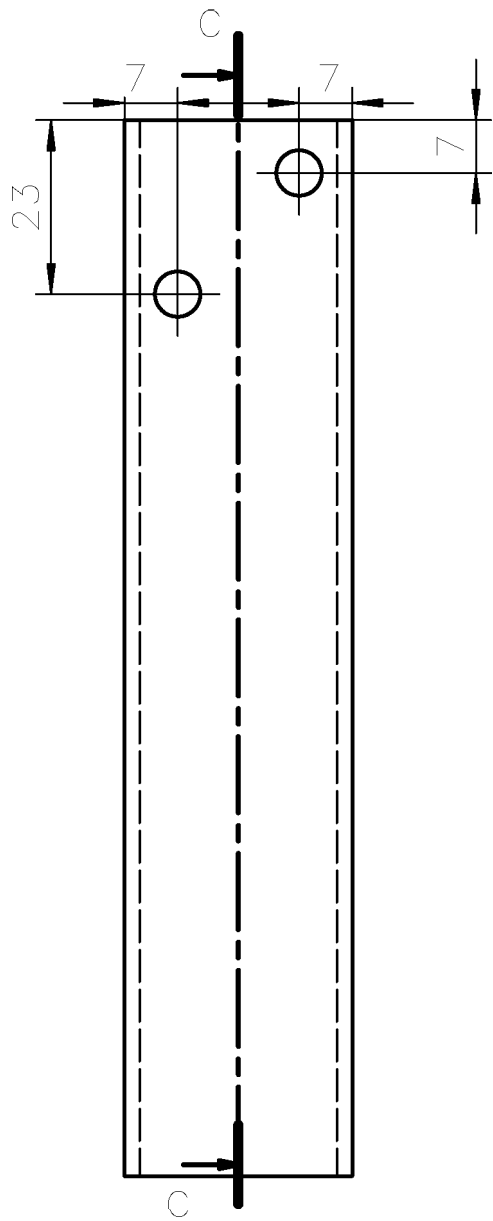


DETALLE Z  
ESCALA: 5 : 1

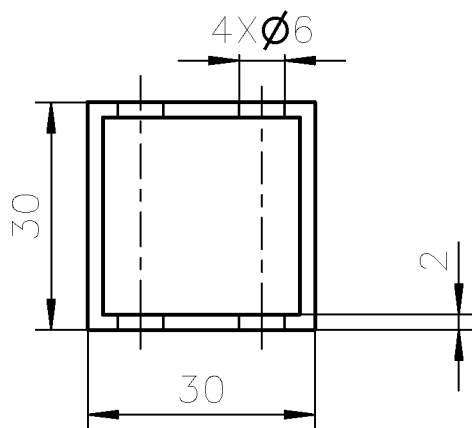
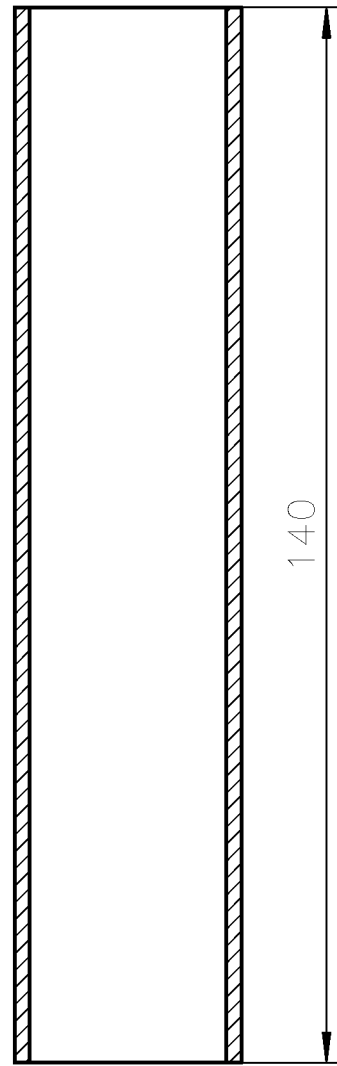


- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Agujeros taladrados.
  - Tubo cuadrado 30x30x2.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
PERFIL 4		FIM-ASRP-102-102		Fecha: 04-06-21



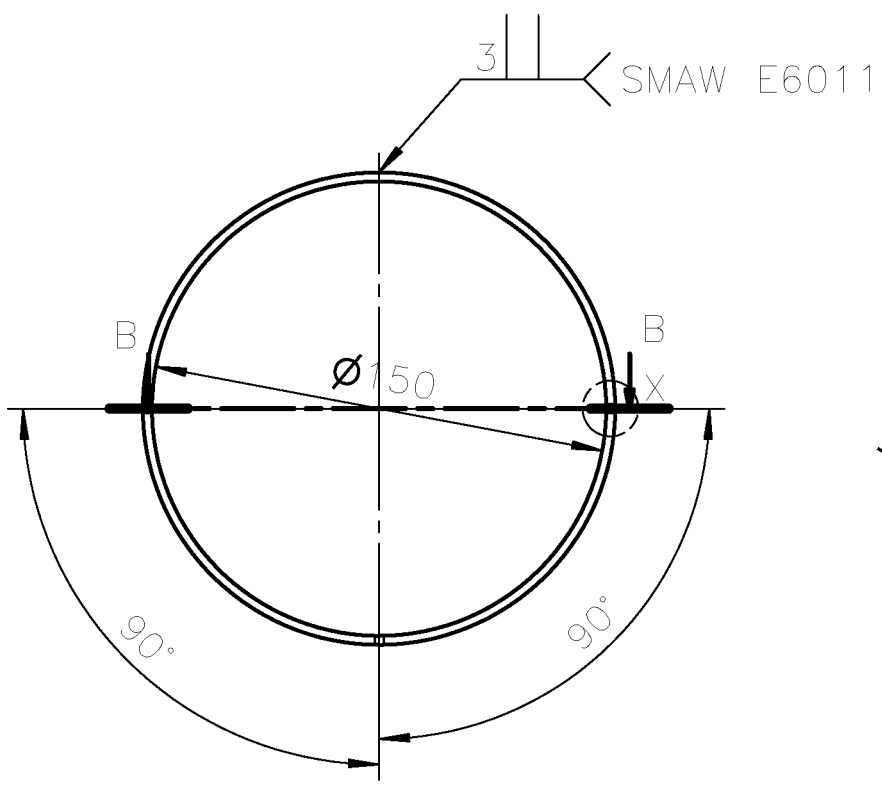
CORTE C-C



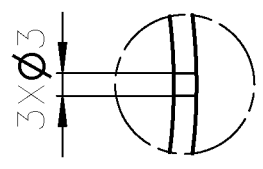
Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.
- Tubo cuadrado 30x30x2.

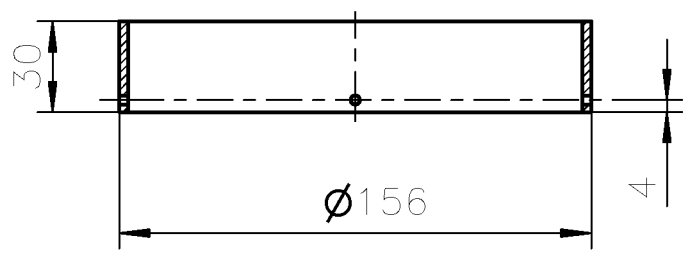
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
PERFIL 2-3		FIM-ASRP-102-103		Fecha: 04-06-21



DETALLE X  
ESCALA: 1 : 1

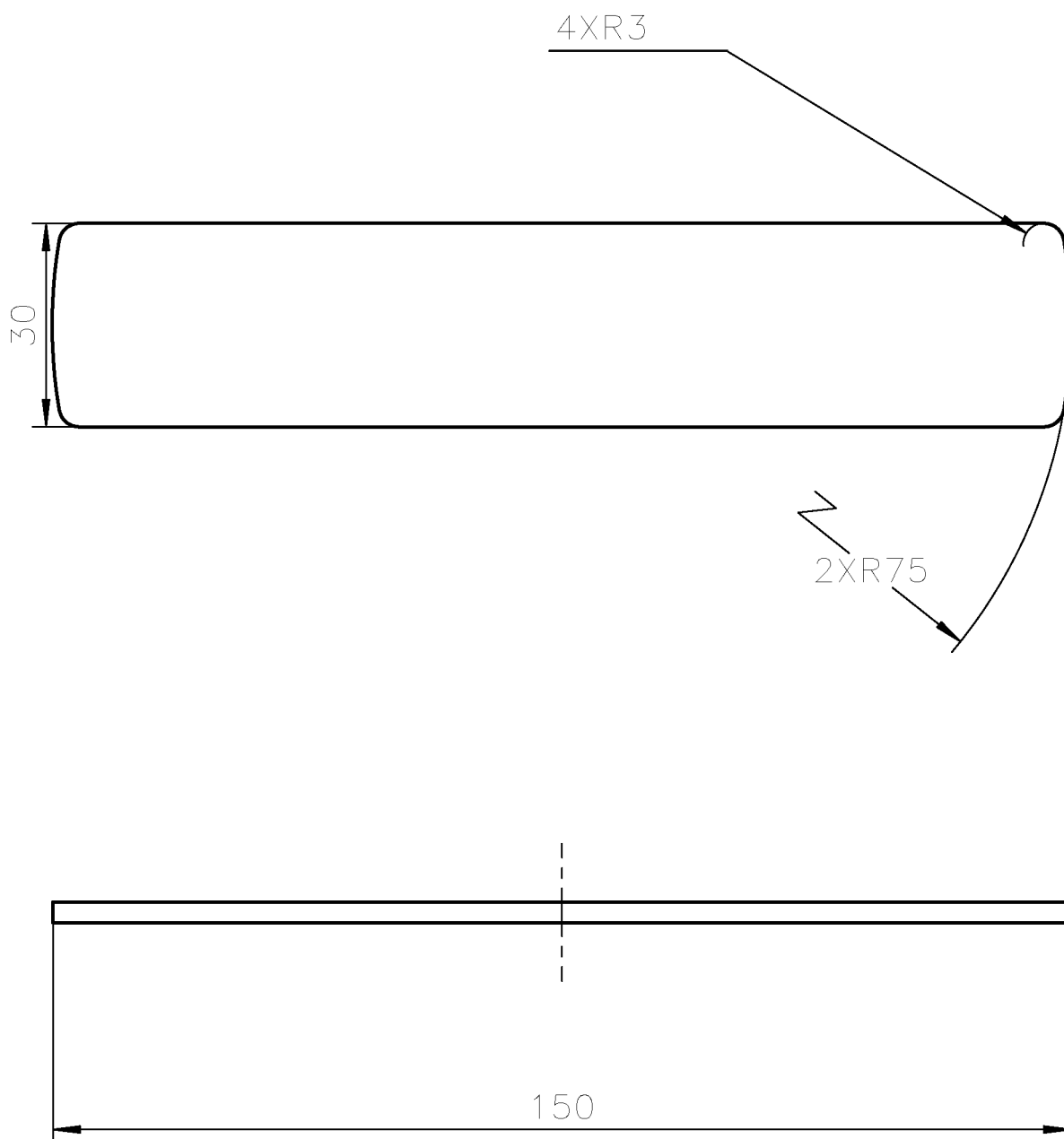


CORTE B-B



- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Agujeros taladrados.
  - Espesor 3 mm.
  - Eliminar escoria de soldadura.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			BASE CIRCULAR MOLDE POSITIVO	
		FIM-ASRP-102-104	Fecha: 04-06-21	

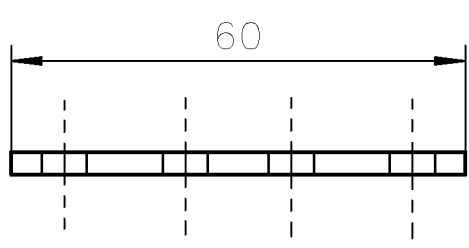
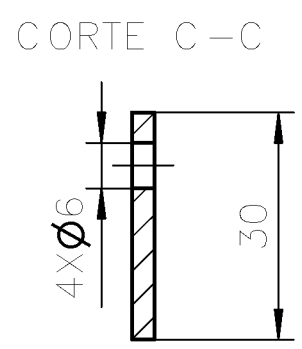
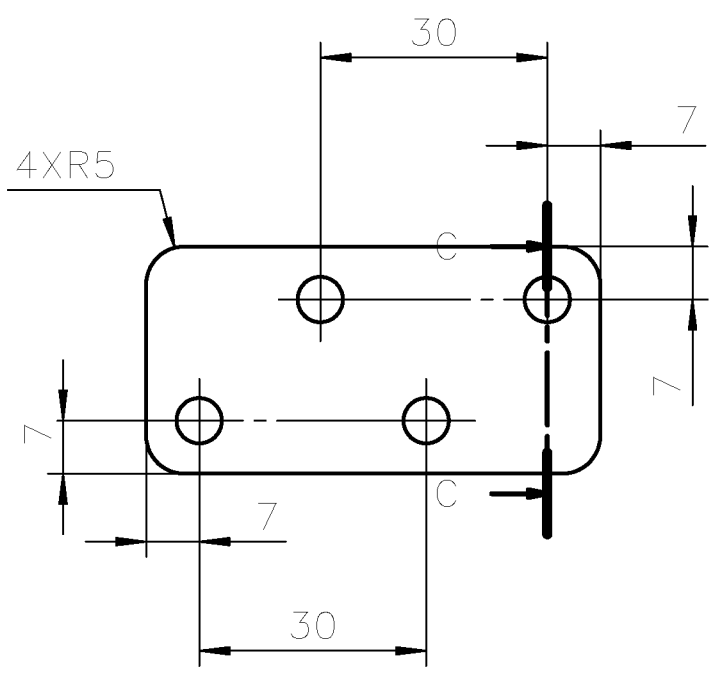


Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Redondear esquinas con limado.
- Eapesor de la pletina 3 mm.

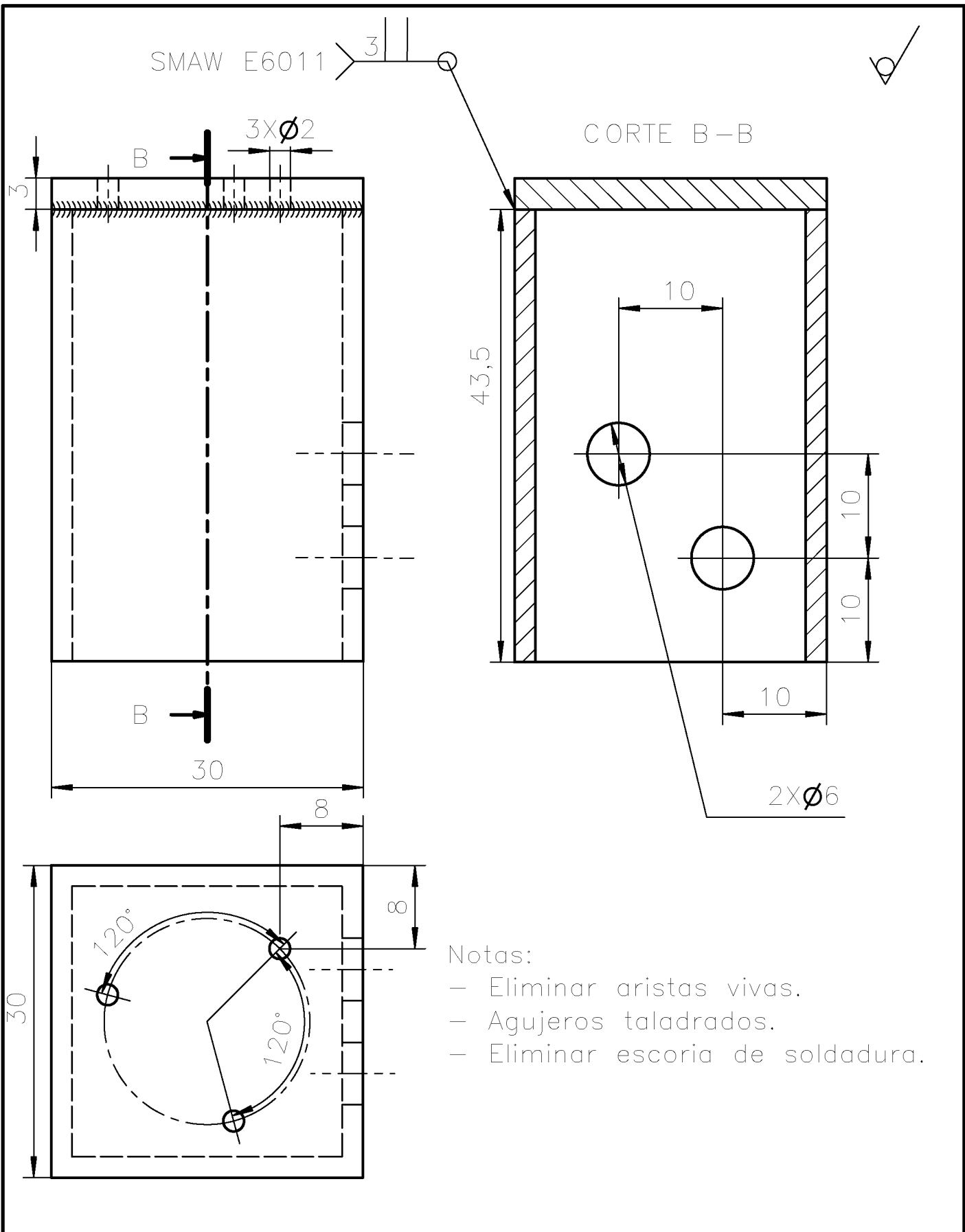
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala:	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
		1 : 1	Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
		BASE SUPERIOR MOLDE POSITIVO	FIM-ASRP-102-105	Fecha:





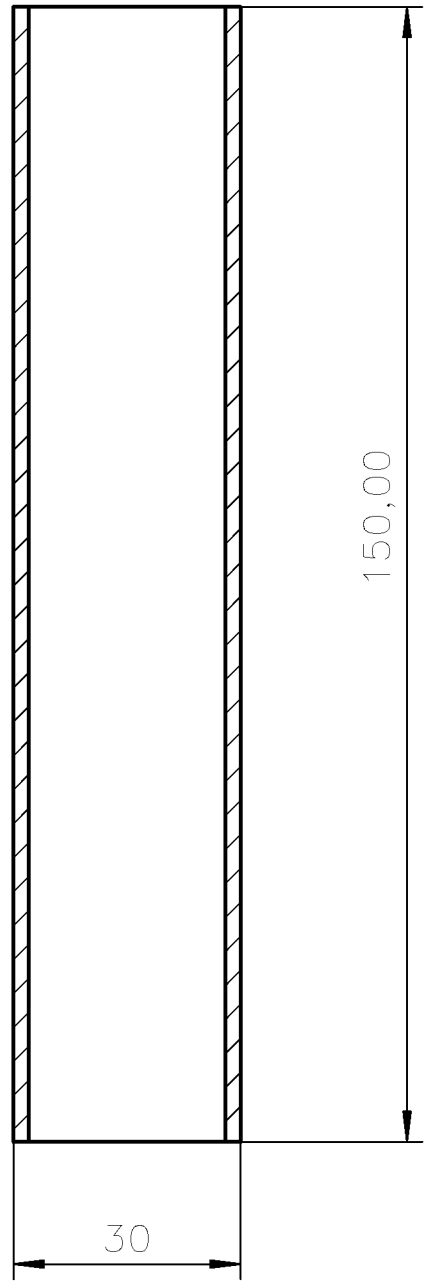
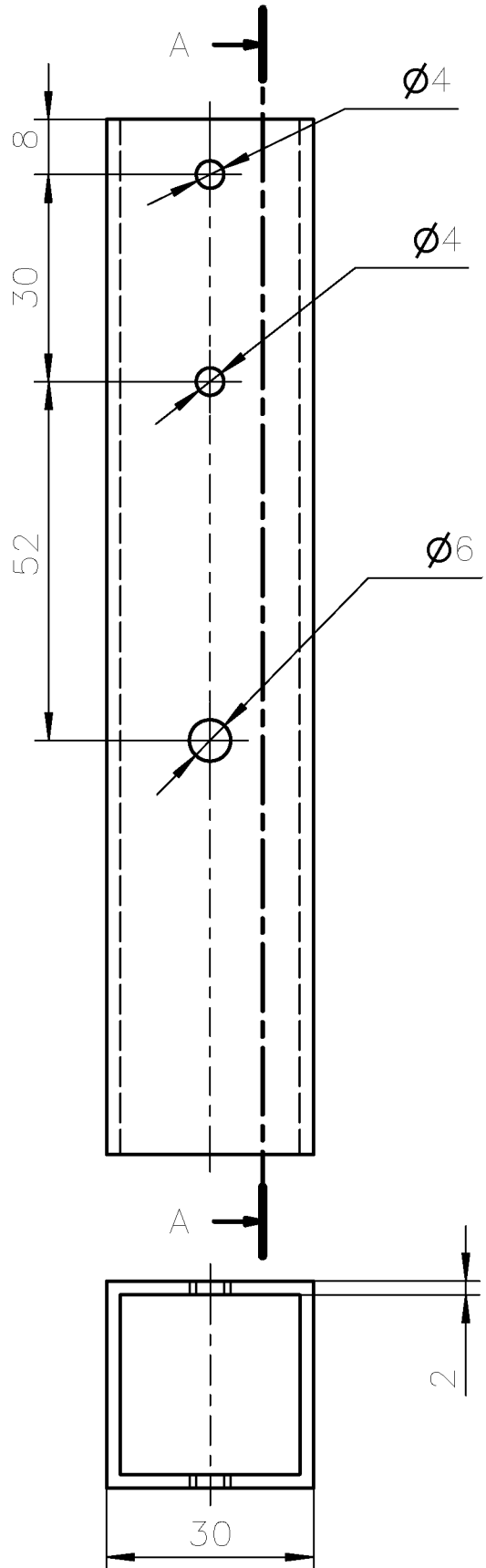
- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Agujeros taladrados.
  - Redondear esquinas con limado.
  - Espesor de la placa 3 mm.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala:	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
		1 : 1	Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			SUJETADOR DE PALANCA	



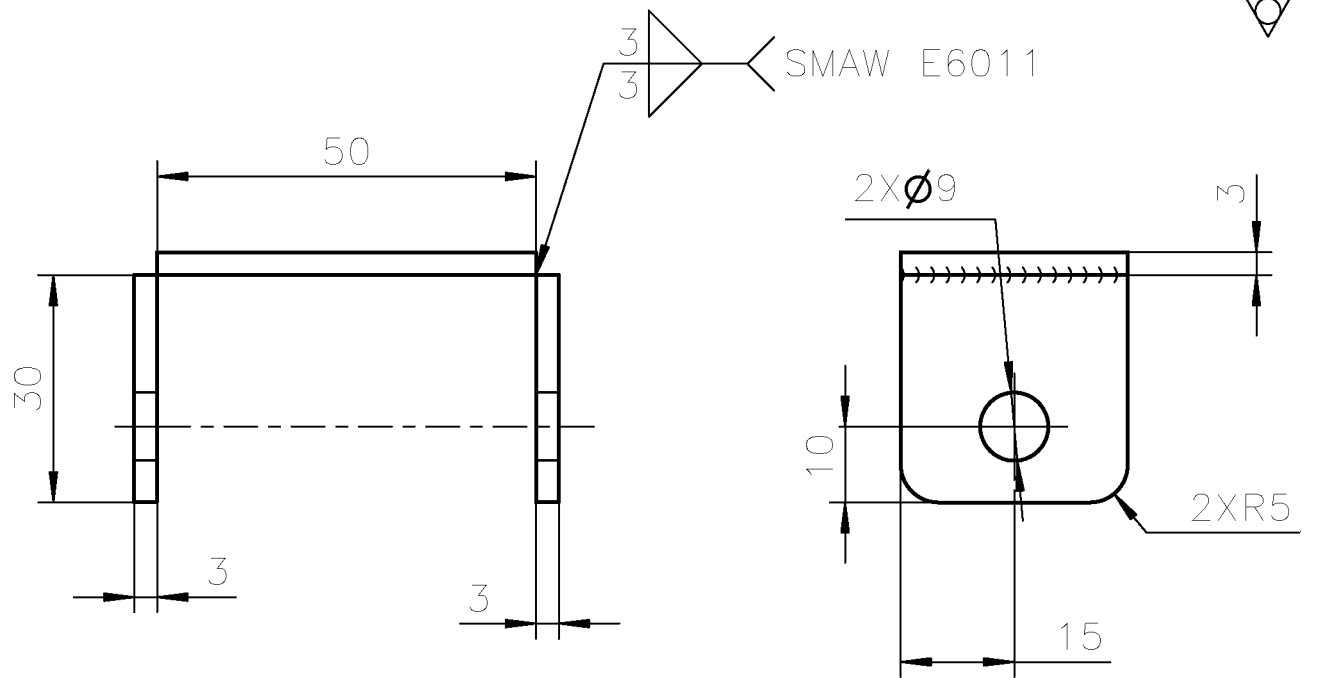
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache	
MATERIAL:	ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala:	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			2 : 1	Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
PERFIL 9		FIM-ASRP-102-107		Fecha: 04-06-21	

CORTE A-A



- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Agujeros taladrados.
  - Perfil cuadrado 30x30x2.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
PERFIL 6		FIM-ASRP-103-101		Fecha: 04-06-21



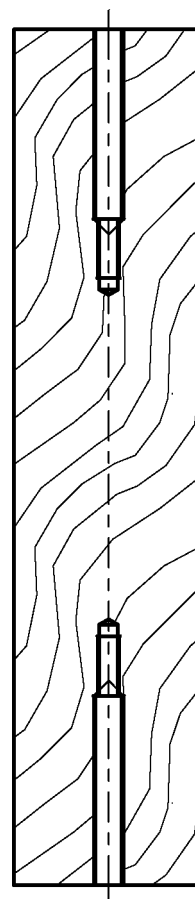
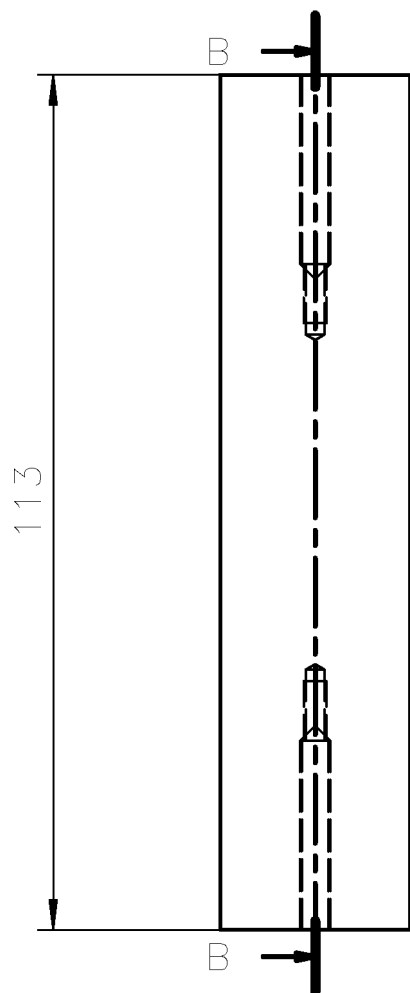
Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.

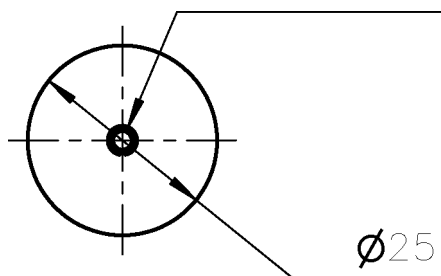
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 1	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
			BASE MÓVIL PALANCA	
FIM-ASRP-103-102		Fecha: 04-06-21		

CORTE B-B

N7



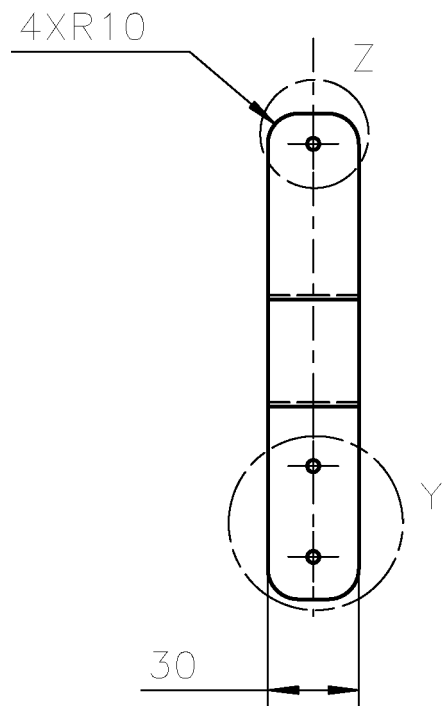
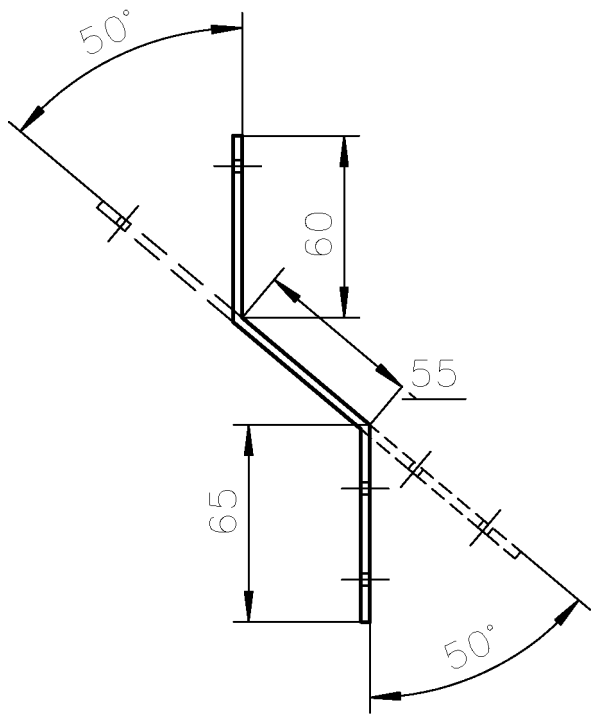
2X $\varnothing$ 3,50 $\nabla$ 25  
2XM4X0,5-6H $\nabla$ 15



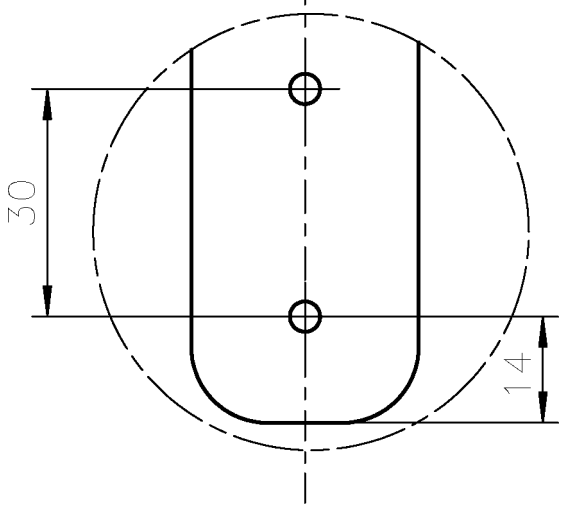
Notas:

- Eliminar aristas vivas.
- Agujeros taladrados.

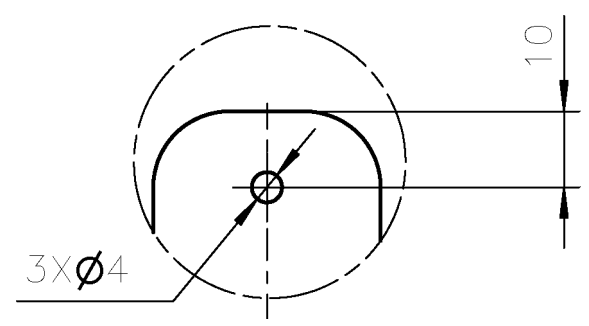
Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA		
Recubrimiento:	Laca		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache	
MATERIAL:	MADERA	Tol. Gral. $\pm 0.1$	Escala:	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			1 : 1	Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
MANGO DE MADERA		FIM-ASRP-103-103		Fecha: 04-06-21	



DETALLE Y  
ESCALA: 1 : 1



DETALLE Z  
ESCALA: 1 : 1

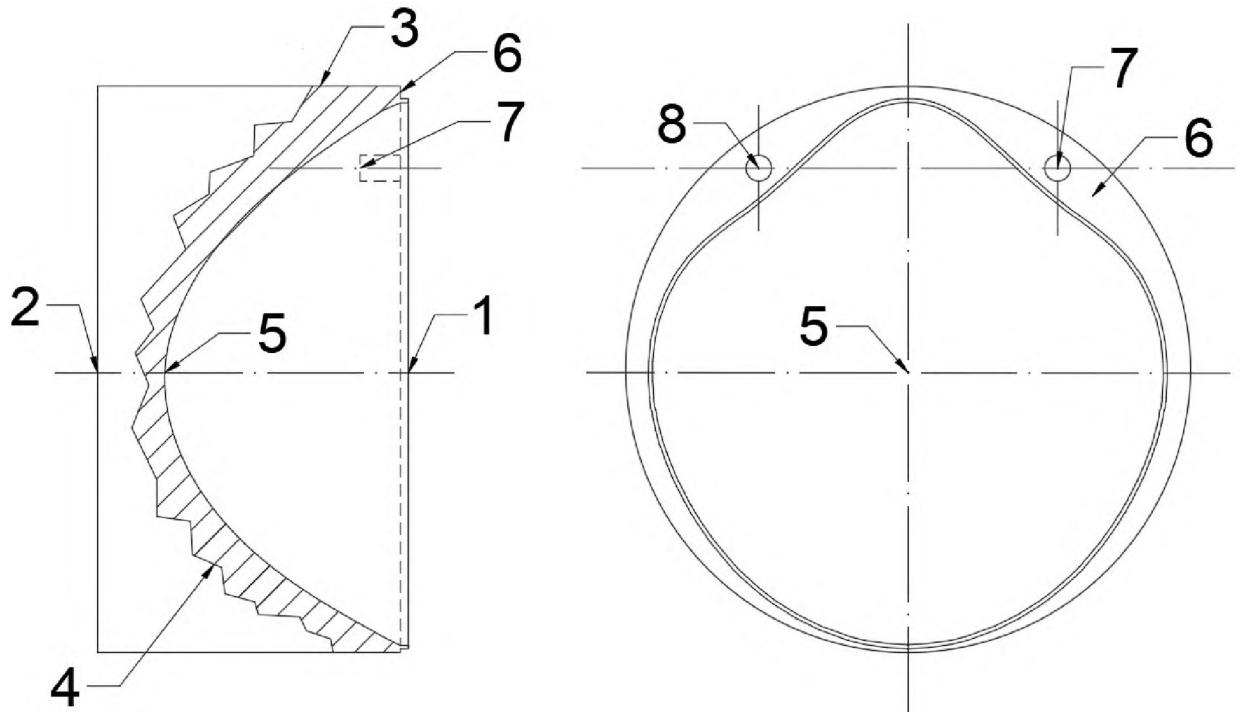


- Notas:
- Eliminar aristas vivas.
  - Agujeros taladrados.
  - Espesor de la placa 3 mm.
  - Redondear esquinas con limado.

Trat. Térmico:	Ninguno	EPN	FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Recubrimiento:	Pintura		Dib.	Richard Pineda-Axel Sambache
MATERIAL: ACERO ASTM A36	Tol. Gral. ± 0.1	Escala: 1 : 2.5	Dis.	Richard Pineda-Axel Sambache
			Rev.	Ing. Edgar Sarmiento
MANGO DE PALANCA		FIM-ASRP-103-104		Fecha: 04-06-21

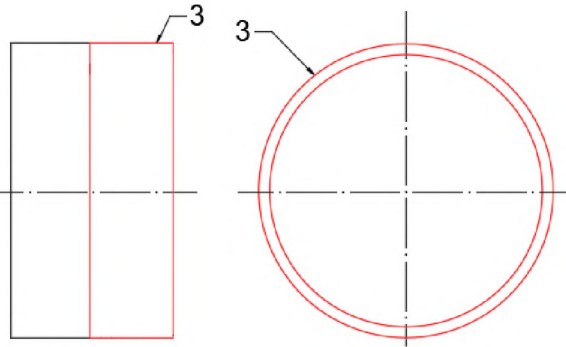
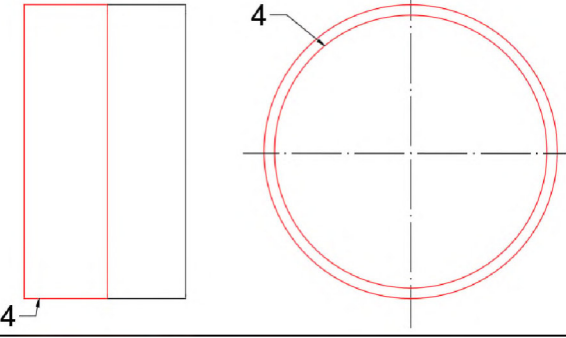
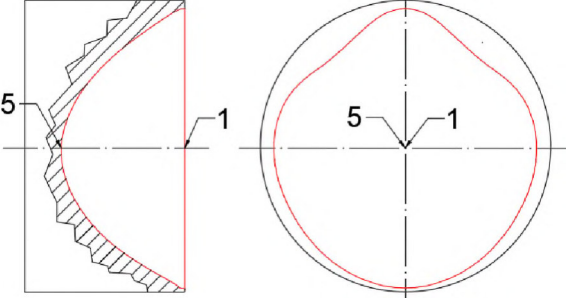
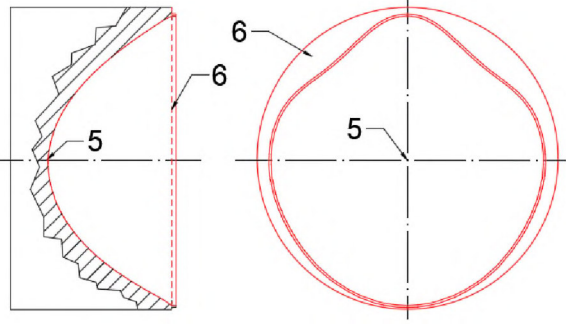
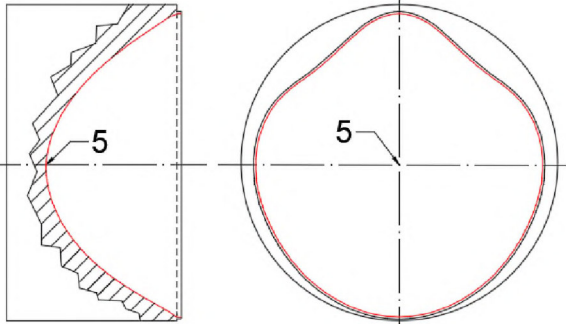
## **ANEXO VI. HOJAS DE PROCESOS**

HOJA DE PROCESOS #1				Molde negativo para mascarilla	
Nombre de la unidad: Molde negativo para mascarilla				Tiempo de duración: 16 h.	Tiempo total para 20 piezas: 320 h.
Pos.	Cant.	Denominación	Material	Dim. En bruto	Obs.
1	1	Molde negativo para mascarilla	Duraluminio 7075	Ø140 x 75 mm	



Fase	Sub fase	N°	Operaciones	Croquis	n RPM	Útiles		Tiempo estimado
						Trab.	Cont.	
TORNEADO (1)	10	11 12	Puesta a punto Refrentar en 1		750	C.A.R.	Cal.	
	20	21 22	Girar y puesta a punto Refrentar en 2		750	C.A.R.	Cal.	



	30	31 32	Puesta a punto Cilindrar en 4		750	C.A.R.	Cal.	
	40	41 42	Girar y puesta a punto Cilindrar en 3		750	C.A.R.	Cal.	
FRESADO (1)	10	11 12	Puesta a punto Desbastar desde 1 hasta 5 con fresa plana de Ø19 mm			Fr. P.	Cal.	
	20	21 22	Puesta a punto Desbastar en 5 y 6 con fresa plana de Ø8 mm			Fr. P.	Cal.	
	30	31 32	Puesta a punto Afinar en 5 con fresa redonda de Ø6 mm			Fr. R.	Cal.	

	40	41 42	Puesta a punto Desbastar en 6 con fresa plana de Ø3 mm			Fr. P.	Cal.	
	50	51 52	Puesta a punto Desbastar en 7 y 8 con fresa plana de Ø3 mm			Fr. P.	Cal.	

<p><b>CÓDIGOS ÚTILES:</b></p> <p>C.A.R. = Cuchilla de acero rápido  Cal. = Calibrador  Fr. P. = Fresa plana  Fr. R. = Fresa redonda</p>	<b>LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS</b>
	<b>CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA</b>
	<b>ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL</b>

**HOJA DE PROCESOS #2.1**

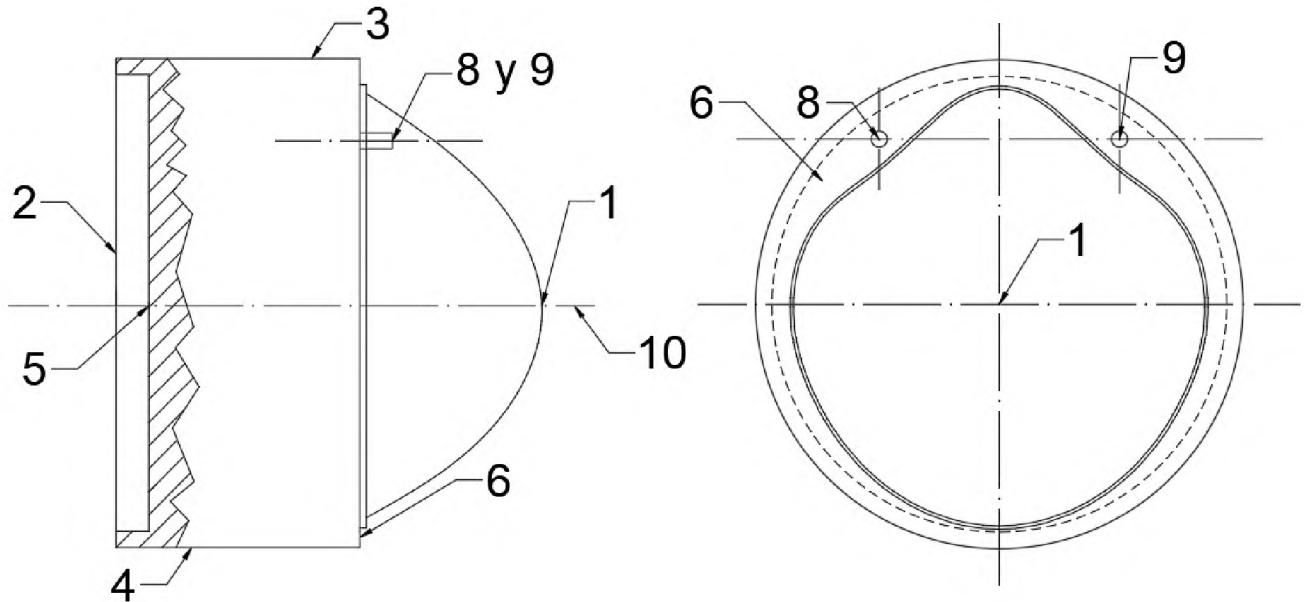
**Molde positivo para mascarilla**

Nombre de la unidad: Molde positivo para mascarilla

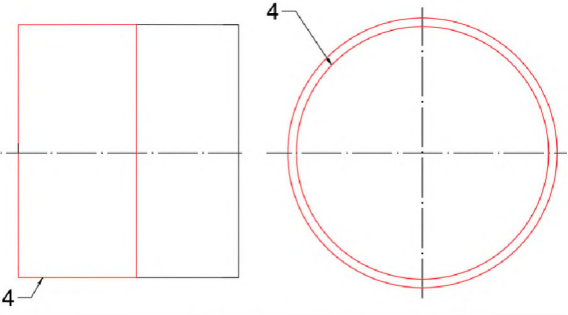
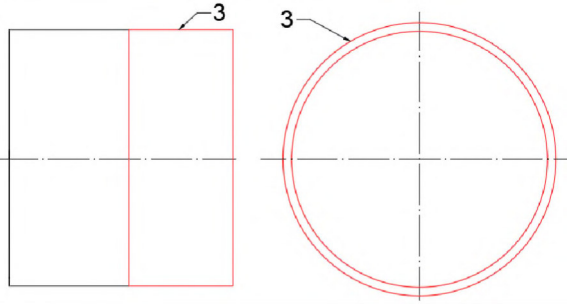
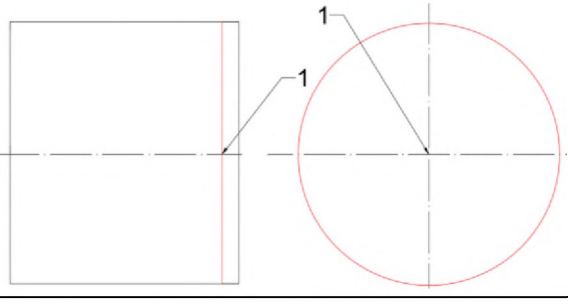
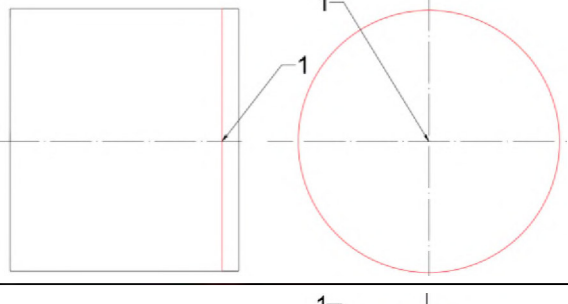
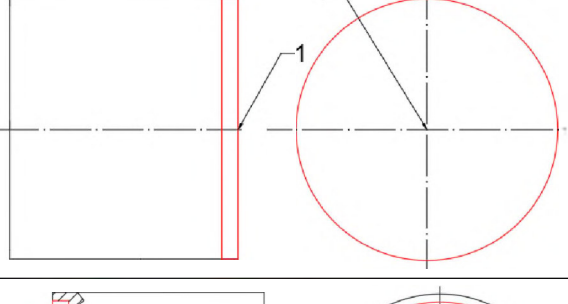
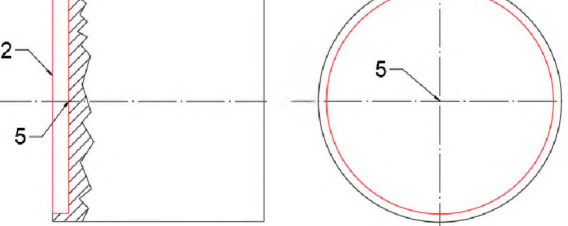
Tiempo de duración:  
24 h.

Tiempo total para 20 piezas:  
480 h.

Pos.	Cant.	Denominación	Material	Dim. En bruto	Obs.
1	1	Molde positivo para mascarilla	Duraluminio 7075	Ø150 x 90mm	



Fase	Sub fase	N°	Operaciones	Croquis	n RPM	Útiles		Tiempo estimado
						Trab.	Cont.	
TORNEADO (1)	10	11 12	Puesta a punto Refrentar en 10		750	C.A.R.	Cal.	
	20	21 22	Girar y puesta a punto Refrentar en 2		750	C.A.R.	Cal.	

	30	31 32	Puesta a punto Cilindrar en 4		750	C.A.R.	Cal.	
	40	41 42	Puesta a punto Cilindrar en 3		750	C.A.R.	Cal.	
	50	51 52	Puesta a punto Ranurar en 1		750	C.A.R.	Cal.	
	60	61 62	Puesta a punto Tronzar en 1		750	S.	Cal.	
	70	71 72	Puesta a punto Refrentar en 1		750	C.A.R.	Cal.	
<b>Fresado (2)</b>	10	11 12	Puesta a punto Desbastar desde 2 hasta 5 con fresa plana de Ø30 mm			Fr. P.	Cal.	

20	21	Girar y puesta a punto		Fr. P.	Cal.	
	22	Desbastar desde 1 hasta 6, incluido 8 y 9 con fresa plana de Ø19 mm				
	31	Puesta a punto				
	32	Desbastar desde 1 hasta 6, incluido 8 y 9 con fresa plana de Ø8 mm				
40	41	Puesta a punto		Fr. R.	Cal.	
	42	Desbastar desde 1 hasta 6 con fresa redonda de Ø6 mm				
50	51	Puesta a punto		Fr. P.	Cal.	
	52	Desbastar en 6, 8 y 9 con fresa plana de Ø3 mm				

**CÓDIGOS ÚTILES:**

C.A.R. = Cuchilla de acero rápido  
 Cal. = Calibrador  
 Fr. P. = Fresa plana  
 Fr. R. = Fresa redonda  
 S. = Sierra de mano

**LABORATORIO DE MÁQUINAS HERRAMIENTAS**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**