

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

CARRERA DE MECÁNICA

TEMA:

“REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO VERTICAL (MAYAL) PARA EL LABORATORIO DE LA FICM-UTA.”

Trabajo de titulación, Modalidad proyecto técnico, presentado previo a la obtención del Título de Tercer Nivel de Ingeniero Mecánico

AUTOR: Luis Ángel Ronquillo Paredes

TUTOR: Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas. PhD.

AMBATO – ECUADOR

Junio 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de tutor del Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO VERTICAL (MAYAL) PARA EL LABORATORIO DE LA FICM-UTA"**, elaborado por el señor Luis Ángel Ronquillo Paredes, portador de la cédula de ciudadanía número C.C. 1850597087, estudiante de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente trabajo de titulación, bajo la modalidad de Proyecto Técnico es original de su autor.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Esta concluido en su totalidad

Ambato, junio 2025

.....

Ing. Juan Gilberto Paredes Salinas, PhD.

C.C.: 1803683174

TUTOR

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Luis Ángel Ronquillo Paredes con cedula de ciudadanía C.C. 1850597087 declaro que todos los contenidos y actividades expuestos en el desarrollo del presente Trabajo de Titulación, Modalidad Proyecto Técnico con el tema: **"REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO VERTICAL (MAYAL) PARA EL LABORATORIO DE LA FICM-UTA"**, así como también los análisis estadísticos, gráficos, conclusiones y recomendaciones son de mi exclusiva responsabilidad como autor del Proyecto Técnico, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo. En tal virtud, el contenido, efectos legales y académicos que se desprenden del mismo son de exclusiva responsabilidad del autor.

Ambato, junio 2025

.....

Luis Ángel Ronquillo Paredes

C.C. 1850597087

AUTOR

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte del el, un documento disponible para su lectura consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos en línea patrimoniales de mi Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este documento dentro de las regularizaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando mis derechos de autor.

Ambato, junio 2025

.....

Luis Ángel Ronquillo Paredes

C.C. 1850597087

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del tribunal de grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por el estudiante Luis Ángel Ronquillo Paredes, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: **"REPOTENCIACIÓN DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO VERTICAL (MAYAL) PARA EL LABORATORIO DE LA FICM-UTA", Modalidad Proyecto Técnico.**

Ambato, junio 2025

Para constancia firman:

.....	.....
Ing. Vanessa Fernanda Morales Rovalino, MSc.	**Ing. Pablo Raúl Valle Velasco, PhD.**
C.C.: 1804606810	**C.C.:** 1802498285
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

Primero a Dios por brindarme la sabiduría y poder llegar alcanzar este grande logro en mi vida profesional, segundo a mis padres por su apoyo emocional, palabras de aliento a lo largo de mi vida como estudiante, a mis amigos y todas las personas que han formado parte de esta etapa por su apoyo, comprensión, ayuda y recuerdos compartidos, para todos ustedes va dedicado este logro.

Luis Ángel Ronquillo Paredes

AGRADECIMIENTO

A mi familia por brindarme una oportunidad de superación y siempre apoyarme a pesar de atravesar por dificultades.

A todos los docentes que forman parte de la Facultad de Ingeniería Mecánica por compartir su conocimiento y formar buenos profesionales para la industria nacional.

A mi tutor el Ing. Juan Paredes por su guía y paciencia en el desarrollo del proyecto técnico.

Y como ultimo pero no menos importante, quiero agradecerme a mí por creer en mí, quiero agradecerme por hacer todo este arduo trabajo, quiero agradecerme por no tener días libres, quiero agradecerme por nunca renunciar, quiero agradecerme por tratar de dar mas de lo que recibo, quiero agradecerme por intentar hacer mas bien que mal, quiero agradecerme por ser yo en todo momento.

Luis Ángel Ronquillo Paredes

INDICE GENERAL DE CONTENIDO

PORTADA……i

APROBACION DEL TUTOR.....ii

AUTORIA DEL TRABAJO DE TITULACION iii

DERECHOS DE AUTOR iv

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v

DEDICATORIA vi

AGRADECIMIENTO vii

INDICE GENERAL DE CONTENIDO.....viii

INDICE DE FIGURAS.....xii

INDICE DE TABLAS xiv

RESUMEN EJECUTIVO xvi

ABSTRACT.....xvii

CAPITULO I - MARCO TEORICO 1

1.1. Antecedentes investigativos 1

1.2. Justificación..... 2

1.3. Fundamentación teórica 3

1.3.1. Los polímeros..... 3

1.3.2. Manufactura y transformación de los materiales termoplásticos..... 6

1.3.3. Inyección de plástico..... 9

1.3.4. Clasificación de las inyectoras..... 11

1.3.5. Diseño de Moldes y Parámetros Técnicos 14

1.3.6. Mantenimiento industrial 16

1.4. Objetivos 20

1.4.1. Objetivo general..... 20

1.4.2. Objetivos específicos 20

CAPITULO II.- METODOLOGÍA 21
2. Materiales 21
2.1. Materiales y recursos 21
2.2. Métodos 25
2.2.1. Investigación bibliográfica 25
2.2.2. Investigación descriptiva 25
2.2.3. Investigación experimental 25
2.2.4. Investigación de campo 25
2.3. Etapas del proyecto 26
2.3.1. Estado de la máquina de inyección de plástico vertical 27
2.3.2. Parámetros de operación 28
2.4. Etapas de diseño y construcción 32
CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN 33
3. Análisis discusión de resultados 33
3.1. Búsqueda de alternativas a implementar 33
3.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS 34
3.2.1. Sistema de alimentación 34
3.2.2. Sistema de inyección 38
3.2.3. Sistema de cerrado 41
3.3. Estructura de la máquina 45
3.3.1. Parámetros de operación de la máquina 46
3.3.2. Volumen máximo teórico de disparo 49
3.3.3. Parámetros de inyección 50
3.3.4. Fuerza de cierre 50
3.3.5. Presión de inyección 50
3.3.6. Selección de actuador neumático 51
3.3.7. Temperatura de trabajo 55

3.4. Diseño de los elementos mecánicos de la máquina 56
3.4.1. Diseño de las placa fijas y móviles 56
3.4.2. Cálculo del peso total de los elementos ensamblados..... 62
3.4.3. Diseño de las columnas guías (horizontal)..... 63
3.4.4. Diseño de las columnas de desplazamiento (vertical)..... 67
3.4.5. Diseño del embolo inyector 72
3.4.6. Diseño del cañón de inyección..... 76
3.4.7. Diseño de los resortes..... 78
3.4.8. Diseño de las juntas empernadas..... 80
3.4.9. Cálculo del consumo de aire de los actuadores neumáticos. 85
3.5. Simulación de componentes con geometrías complejas 86
3.5.1. Diseño de soldaduras en placa móvil 88
3.5.2. Diseño de la estructura modificada 90
3.6. Simulación de llenado de cavidades 92
3.6.1. Simulación de llenado de probeta de tracción ASTM D638..... 92
3.6.2. Simulación de llenado de probeta de impacto ASTM D5625..... 93
3.6.3. Simulación de llenado de probeta de flexión ASTM D790 93
3.7. Características de la máquina..... 94
3.7.1. Ficha técnica de la máquina de inyección de plástico vertical mayal (repotenciada)..... 94
3.8. Análisis de las pruebas de funcionamiento 95
3.8.1. Pruebas reales de la máquina de inyección de plástico..... 95
3.9. Ensayos de calibración..... 99
3.9.1. Pruebas de inyección..... 99
3.10. Cuadro comparativo..... 105
CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 105
4. Conclusiones y Recomendaciones..... 106

4.1. Conclusiones 106
4.2. Recomendaciones 106
REFERENCIAS 108
ANEXOS 113
ANEXO A (Especificaciones, propiedades de los materiales) 113
ANEXO B (Tablas y graficas de concentradores de esfuerzo) 120
ANEXO C (Especificaciones del actuador neumático) 122
ANEXO D (Especificaciones técnicas de la máquina) 123
ANEXO E (Fichas de estado de máquina de inyección de plástico) 130
ANEXO F (Planos) 134

INDICE DE FIGURAS

Fig 1. Diagrama general de los métodos de transformación 7
Fig 2. Proceso de moldeo por inyección 7
Fig 3. Proceso de moldeo por compresión 8
Fig 4. Proceso de moldeo por extrusión 8
Fig 5. Proceso de moldeo por soplado 9
Fig 6. Sistemas fundamentales de la máquina de inyección 10
Fig 7. Diagrama de tiempos del proceso de inyección 14
Fig 8. Etapas del mantenimiento industrial a lo largo del tiempo 16
Fig 9. Tipos de mantenimiento 17
Fig 10. Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo 18
Fig 11. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo 18
Fig 12. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo 19
Fig 13. Diagrama de decisión para la selección del tipo de mantenimiento 20
Fig 14. Diagrama de flujo de las etapas del proyecto 26
Fig 15. Sistema de cierre 27
Fig 16. Mecanismo piñón cremallera 27
Fig 17. Sistema de calentamiento por banda 28
Fig 18. Espécimen probeta de impacto ASTM D5625 29
Fig 19. Tipos de probetas a tracción ASTM D638 30
Fig 20. Espécimen de probeta a tracción ASTM D790 31
Fig 21. Diagrama de flujo de las etapas de diseño y construcción. 32
Fig 22. Longitud de recorrido vs espesor 47
Fig 23. a) Dimensiones máximas para los moldes, b) espesor máximo para los moldes. 48
Fig 24. Capacidad de plastificación del cañón. 49
Fig 25. Factor de carga para actuadores neumáticos 51
Fig 26. Dirección de fuerza para actuadores de doble efecto 51
Fig 27. Amortiguación para cilindros neumáticos Serie MB 52
Fig 28. Tipo de montaje del actuador neumático 52
Fig 29. Consumo de aire para el actuador neumático 53
Fig 30. Consumo de aire para tubería de 8 mm 54
Fig 31. Elementos mecánicos de la máquina de inyección. 56
Fig 32. a) Dimensiones de la placa móvil horizontal b) Cargas y espesor 57
Fig 33. Dimensiones y cargas en placa móvil de cañón. 57
Fig 34. Dimensiones y cargas en placa de fijación. 58

Fig 35. Dimensiones y cargas en placa de pistón de inyección. 58
Fig 36. Cargas actuantes en columnas guía. 63
Fig 37. Diagrama de fuerza cortante en columnas guía. 64
Fig 38. Diagrama de momento flector en columnas guía. 64
Fig 39. Cargas actuantes en columnas de desplazamiento. 68
Fig 40. Factor geométrico de concentrador de esfuerzos con carga axial 69
Fig 41. Cargas actuantes en el embolo inyector. 72
Fig 42. Vista superior del cañón de inyección. 76
Fig 43. Dimensiones de resortes helicoidales a compresión 78
Fig 44. Vista lateral de junta empernada de placa móvil 80
Fig 45. Esfuerzo de von Mises actuante en la base del pistón de inyección 86
Fig 46. Desplazamientos en la base del pistón de inyección 87
Fig 47. Factor de seguridad de la base del pistón de inyección 87
Fig 48. Comprobación de la soldaduras de la base del pistón de inyección 88
Fig 49. Esfuerzo de von Mises en la placa móvil 88
Fig 50. Desplazamientos en la placa móvil 89
Fig 51. Comprobación de las soldaduras en la placa móvil 89
Fig 52. Factor de seguridad de la placa móvil 90
Fig 53. Esfuerzo de von Mises de la estructura 2.0 90
Fig 54. Desplazamientos en la estructura 2.0 91
Fig 55. Factor de seguridad en la estructura 2.0 91
Fig 56. Parámetros para la inyección 92
Fig 57. Simulación de llenado de la probeta de tracción ASTM D638 92
Fig 58. Simulación de llenado de la probeta de impacto ASTM D5625 93
Fig 59. Simulación de llenado de la probeta de flexión ASTM D790 93
Fig 60. Ficha técnica planchas de acero ASTM A36 113
Fig 61. Ficha técnica eje AISI 1018 114
Fig 62. Propiedades y dimensiones de materiales para resortes a compresión 115
Fig 63. Propiedades del alambre de piano A228 115
Fig 64. Dimensiones tubo estructural cuadrado 116
Fig 65. Ficha técnica eje de Nylón 117
Fig 66. Propiedades del polímero Nylón PA 118
Fig 67. Propiedades del polímero Polipropileno PP 119
Fig 68. Ficha técnica del actuador neumático 122
Fig 69. Montaje pernos M6x25 125
Fig 70. Montaje pernos M10x20 125

Fig 71. Máquina sin repotenciar (obsoleta) 132
Fig 72. Máquina repotenciada 133

INDICE DE TABLAS

TABLA I. Clasificación de resinas de polímeros termoplásticos. 4
TABLA II. Lista de materiales y recursos 21
TABLA III. Dimensiones de probeta para impacto. 29
TABLA IV. Dimensiones de probeta para tracción. 30
TABLA V. Dimensiones de probeta a flexión. 31
TABLA VI. Alternativas disponibles 33
TABLA VII. Valoración para cada criterio para la tolva. 34
TABLA VIII. Capacidad de almacenamiento 35
TABLA IX. Facilidad de fabricación. 35
TABLA X. Fujo de material. 36
TABLA XI. Bajo costo de fabricación. 36
TABLA XII. Espacio requerido. 37
TABLA XIII. Resultado total para la selección de la tolva. 37
TABLA XIV. Valoración para cada criterio para la inyección. 38
TABLA XV. Presión de inyección requerida. 38
TABLA XVI. Bajo costo de implementación. 39
TABLA XVII. Facilidad de fabricación. 39
TABLA XVIII. Facilidad de automatización. 40
TABLA XIX. Facilidad de mantenimiento y vida útil. 40
TABLA XX. Resultado total para la selección del mecanismo de inyección. 41
TABLA XXI. Valoración para cada criterio para el cierre. 42
TABLA XXII. Fuerza de cierre requerida 42
TABLA XXIII. Disponibilidad del producto en el mercado local. 43
TABLA XXIV. Bajo costo de implementación. 43
TABLA XXV. Poco espacio requerido. 44
TABLA XXVI. Facilidad de mantenimiento y vida útil. 44
TABLA XXVII. Resultado total para la selección del mecanismo de cierre 45
TABLA XXVIII. Alternativas seleccionadas para la implementación 45
TABLA XXIX. Datos del actuador neumático 54
TABLA XXX. Temperatura de procesamiento de polímeros termoplásticos 55
TABLA XXXI. Peso de los elementos del sistema de inyección y cierre 62

TABLA XXXII. Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino 81
TABLA XXXIII. Ficha técnica de la máquina de inyección vertical (Mayal)..... 94
TABLA XXXIV. Características generales de la máquina..... 95
TABLA XXXV. Pruebas de calibración del tiempo con molde de probetas de tracción..... 96
TABLA XXXVI. Pruebas de calibración del tiempo con molde de probetas de flexión..... 97
TABLA XXXVII. Pruebas de calibración del tiempo con molde de probetas de impacto.. 98
TABLA XXXVIII. Pruebas reales con molde de probetas de flexión..... 99
TABLA XXXIX. Fotografías de pruebas con molde de probeta de flexión..... 100
TABLA XL. Pruebas reales con molde de probetas de tracción..... 101
TABLA XLI. Fotografías de pruebas con molde de probeta de tracción 102
TABLA XLII. Pruebas reales con molde de probetas de impacto..... 103
TABLA XLIII. Fotografías de pruebas con molde de probeta de impacto 104
TABLA XLIV. Tabla comparativa..... 105
TABLA XLV. Defectos y causas en la calidad de las piezas. 128
TABLA XLVI. Tabla de mantenimiento..... 129
TABLA XLVII. Ficha de estado de la máquina 130
TABLA XLVIII. Ficha de estado de la máquina repotenciada 131

RESUMEN EJECUTIVO

En el laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, se encuentra la máquina de inyección de plástico vertical mayal utilizada con fines didácticos para la fabricación de probetas plásticas empleadas en ensayos mecánicos orientados a el análisis de materiales y procesos de fabricación. La máquina presentaba deficiencias en la operación, tiempos prolongados de ciclo y una alta tasa de error en las probetas moldeadas, llegando alcanzar hasta un 60% de defectos en las probetas producidas, se propone la repotenciación de los sistemas para la optimización del funcionamiento. La metodología empleada consistió en el diagnóstico del equipo, el diseño de soluciones en base a una selección de alternativas y simulaciones y la implementación de los nuevos sistemas seleccionadas, sustituyendo los mecanismos obsoletos, integrando un control semiautomático. Se calculo una presión de inyección de 10 bar y una fuerza de cierre de 3117 N. En el rediseño se consideró los moldes existentes para probetas normalizadas bajo las normas ASTM D638 probeta para tracción, ASTM D790 probeta para flexión, ASTM D5625 probeta para impacto. Como resultados se logra reducir el tiempo del ciclo de trabajo en un 30%, duplicando la productividad y reduciendo el porcentaje de piezas defectuosas, la intervención de la maquina permitió recuperar su funcionalidad, y actualizar el sistema de control, para la calibración de los parámetros del ciclo de trabajo.

PALABRAS CLAVE: INYECCIÓN DE PLÁSTICO, DISEÑO, SISTEMA NEUMÁTICO, MOLDES DE INYECCIÓN

ABSTRACT

The vertical plastic injection machine, "Mayal," is located in the laboratory of the Faculty of Civil and Mechanical Engineering at the Technical University of Ambato. It is used for educational purposes to manufacture plastic test specimens used in mechanical testing for the analysis of materials and manufacturing processes. The machine presented operational deficiencies, long cycle times, and a high error rate in the molded test specimens, reaching up to 60% of defects in the produced specimens. It is proposed to upgrade the systems to optimize their operation. The methodology employed consisted of equipment diagnosis, the design of solutions based on a selection of alternatives and simulations, and the implementation of the selected new systems, replacing obsolete mechanisms and integrating a semi-automatic control system. An injection pressure of 10 bar and a clamping force of 3117 N were calculated. The redesign considered existing molds for standardized test specimens under the ASTM D638 tensile test specimen, ASTM D790 flexural test specimen, and ASTM D5625 impact test specimen standards. As a result, the work cycle time was reduced by 30%, doubling productivity and reducing the percentage of defective parts. The intervention of the machine allowed its functionality to be recovered and the control system to be updated, for the calibration of the work cycle parameters.

KEY WORDS: PLASTIC INJECTION, CAD, PNEUMATIC SYSTEM, INJECTION MOLDS

CAPITULO I - MARCO TEORICO

1.1. Antecedentes investigativos

Para el siguiente tema se debe iniciar analizando información de investigaciones parecidas o semejantes a repotenciación o reingeniería en los sistemas de inyección en máquinas inyectoras de plástico.

Hernández (2013), autor de la Nota Técnica: "Principio de funcionamiento del sistema de inyección y análisis para la compresión de la influencia del defecto rebaba de preformas PET" argumenta que un objetivo importante de la temperatura y presión en el ciclo de inyección es llenar completamente el molde evitando la formación de defectos en la pieza, cuando la presión es muy baja el material tiende a contraerse produciendo rechupes en la superficie del componente. Las variables más importantes que controlan el proceso son: temperatura, presión y tiempo. Con una adecuada calibración de las variables se obtendrá, en cada caso componentes de calidad de igual reproducción de la cavidad de molde [1].

Jagushte G., Kamble N., Jadhav P., Gaikwad A. (2017), Autor del "Fabrication of Pneumatic Compression Molding Machine for FRP Composites" dicen que es este tipo de proceso se necesita la aplicación de altas presiones, las prensas facilitan los ciclos de moldeo con una producción de mediana a alta escala. Es utilizado en la industria automotriz en donde existe alta demanda de piezas y componentes pequeños. La presión ejercida en el proceso es proporcional al llenado de las cavidades del molde y al aparecimiento de defectos en las piezas [2].

Según M. Sheikh y P. Sharma (2015), en su proyecto titulado " DESIGN ANALYSIS FOR COMPONENTS OF PNEUMATIC INJECTION MOULDING MACHINE USING PRO-E" detallan que la máquina de inyección neumática es usada para dar forma al plástico obteniendo productos funcionales. Los elementos más importantes para el diseño de la máquina son el cilindro superior para la inyección, el cilindro inferior para la sujeción y en los elementos secundarios el compresor, la válvula solenoide, el filtro regulador lubricador. La utilización de softwares 3D CAD permiten la producción de piezas de alta precisión y mínimas tolerancias optimizando el tiempo y los costos [3]. En los últimos años ha ganado relevancia la repotenciación y reingeniería en las industrias como en el sector educativo teniendo la necesidad de

actualizar equipos que han quedado obsoletos con el fin de mejorar su rendimiento acercando a los estudiantes tecnología más moderna.

Puente R. (2006) en su trabajo "MICROMOLDEO" dice que el moldeo por inyección se basa en 3 operaciones básicas, la primera es llevar al material polímero a su punto de plastificación en donde este se deslice y fluya al ejercer presión. Esto se lleva a cabo en el cilindro o barril (barrel) de la máquina con un tornillo y el calentamiento del barril plastifican el material. El tornillo es el encargado de transportar y plastificar los pellet del material polímero [4].

Finalmente, Poonam Gaurav Shukla (2013), en su artículo titulado "Design & Fabrication of Pneumatically Operated Plastic Injection Molding Machine" dice que la máquina inyectora con un sistema neumático es ideal para industrias pequeñas y medianas, eliminan las limitaciones de las máquinas accionadas manualmente. Incrementa la productividad y el tiempo del ciclo es menor. Las máquinas con sistema hidráulico se emplean en la producción a gran escala, en industrias de gran tamaño por su costo demasiado alto. Por lo tanto, la máquina neumática ofrece una solución eficiente [5]. El continuo desarrollo en la industria del plástico tiene un gran impacto en la industria manufacturera.

1.2. Justificación

La necesidad de productos de bajo costo y de rápida producción se incrementó durante la segunda guerra mundial, los materiales sintéticos descubiertos ganaron gran popularidad en la industria y en muy poco tiempo la producción del acero fue superada por la de plástico. En los últimos años el proceso de inyección de plásticos es de los más utilizados en la industria a nivel mundial, estos son utilizados en varias industrias algunas de las más importantes son la automotriz, medica, electrónica debido a sus beneficios y bajo coste económico. Las inyectoras de plástico permiten una continua producción de piezas de alta precisión y de buena calidad. En la actualidad se requieren piezas con ciertas características específicas en el comportamiento mecánico y se ha encontrado este proceso como la mejor opción, reemplazando a los materiales comunes en nuevas aplicaciones industriales [6], [7].

La industria del plástico en Ecuador ha realizado significativas inversiones, enfocándose en la implementación de tecnologías avanzadas para la optimización de

la eficiencia de sus procesos. Se pretende también que permitan la incorporación de mayores porcentajes de materiales reciclados en la fabricación de nuevos productos para el cumplimiento de las normativas vigentes acerca de los plásticos. El subsector del plástico es de gran importancia para la economía nacional al abastecer de insumos a varias industrias. A pesar de las restricciones, en el año 2022 las empresas del sector de fabricación de productos del caucho y plástico sumaron alrededor de $314.09 millones al Valor Agregado Bruto (VAB), equivalente a una participación sobre el Producto Interno Bruto (PIB) del 0.44% y generaron 12.942 plazas de empleo [8]. Este proceso mantiene un crecimiento sostenido, se espera que la tasa compuesta de crecimiento anual (TCAC) del mercado de plásticos moldeados por inyección experimente un incremento de 4.6% hasta el año 2028 [9].

En el Laboratorio de innovación la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica se encuentra una máquina de inyección de plástico pequeña vertical en donde el sistema de inyección de plástico es manual, presenta varias ineficiencias y no llega a cumplir con los estándares de funcionamiento, además de no tener un control preciso en los parámetros de operación como la presión y el tiempo de inyección los cuales pueden llevar a cometer varios errores en el proceso de inyección. En este caso se afecta directamente a la calidad del producto y se genera un mayor consumo de recursos, esto limita su utilidad en los proyectos de investigación.

El limitado número de materiales compatibles a inyectar limitan a la exploración del uso de plásticos de ingeniería. Al optimizar el sistema de inyección de plástico contribuye a aplicar de manera practica el conocimiento teórico adquirido. Por lo tanto en este proyecto se busca repotenciar el sistema de inyección de plástico de la máquina vertical (mayal) del laboratorio de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.3. Fundamentación teórica

1.3.1. Los polímeros

Un polímero es un compuesto químico constituido por macromoléculas de cadena larga, formados por la repetición de unidades estructurales denominadas monómeros, las cuales se enlazan entre sí mediante enlaces covalentes. Una sola molécula de polímero puede contener desde millas hasta millones de estas unidades. El término

"polímero" proviene del griego poli, que significa "muchos", y meros, que se traduce como "partes" [10].

Clasificados en 3 grandes grupos

- Termofijos/ termoestables

Una vez que se solidifican adquieren una forma permanente debido a una reacción química, no se pueden volver a plastificar para darles una nueva forma, si se les aplica calor estos tienden a degradarse o a desintegrarse, es una desventaja porque no permite su reciclaje [11]. Presentan excelentes propiedades a elevadas temperaturas, propiedades como resistencia química, rigidez, dureza superficial y más ventajas sobre otros materiales. Otras desventajas que presenta es el acabado superficial y su color opaco [12].

- Termoplásticos

Este tipo de materiales se pueden volver a calentar hasta su estado líquido-viscoso para dar un nuevo tipo de formas sin sufrir ningún tipo de degradación o cambio en las propiedades. Pueden ser cristalinos como el PE, PP, POM, PA, PET, o amorfos como el PVC, PS, SAN, ABS, PMMA, PC [11], [13].

- Resinas de polímeros termoplásticos

TABLA I.
Clasificación de resinas de polímeros termoplásticos.

Nombre	Generalidades	Propiedades	Aplicaciones
PET (Tereftalato de polietileno) 	Utilizado en la extrusión-soplado para la fabricación de botellas.	Transparente, resistente al calor, grasa, no flota en el agua.	Botellas para bebidas, envases transparentes, medicinas, productos agroquímicos
HDPE (Polietileno de alta densidad)	Son de mayor densidad, resistente al	Resistente a bajas temperaturas, posee baja	Ideal para detergentes, shampoo, jabón,

	impacto y a la abrasión. No es recomendable para guardar agentes oxidantes como ácidos.	reactividad y no es toxico.	aceites, envases para pintura, fundas para supermercados, entre otros.
PVC (Polivinilo) 	Alta resistencia a la humedad, química.	Muy duro, no posee flotabilidad, alta resistencia al calor	Tuberías principalmente, cintas aislantes, revestimiento de cables, telas impermeables.
LDPE (Polietileno de baja densidad) 	Se ablanda a unos 85 °C, usado en películas flexibles y transparentes.	Poco resistente, pero es muy flexible y económico. Posee buen aislamiento eléctrico.	Laminas, fundas para alimentos congelados.
PP (Polipropileno) 	Se ablanda a unos 150 °C, es resistente a diversos químicos como ácidos.	Capaz de soportar cargas cíclicas y fatiga, resiste el calor	Recipientes, jeringuillas, cuerdas, tuberías, redes
PS (Poliestireno) 	Rígido, aunque es frágil, es claro y quebradizo.	Bajo punto de fusión, y se encuentra en dos formas expandible o espumado.	Su uso más común es expandido, para envases desechables de alimento, embalajes protectores o aislamiento.

OTROS 	Consiste en una resina diferente a las 6 descritas anteriormente, también conocidos como plásticos de ingeniería.	Depende de composición química de cada resina.	Botellas, sustituto a vidrio, rodillos, engranes.

Fuente: [Autor]

- Elastómeros

Capaces de recuperar su forma inicial soportando grandes deformaciones una vez que se les retira la carga. En sus propiedades implican la tenacidad, resistencia a químicos como el aceite, grasas además del ozono. Conservan sus propiedades a bajas temperaturas. Pero al igual que los termofijos su desventaja es que no son reciclables [12].

1.3.2. Manufactura y transformación de los materiales termoplásticos

La manufactura y transformación de materiales termoplásticos representa una de las áreas más dinámicas y versátiles dentro del campo de la ingeniería de procesos. Los termoplásticos, gracias a su capacidad de fundirse al aplicar calor y solidificarse al enfriarse sin sufrir alteraciones químicas significativas, pueden ser reutilizados y reprocesados múltiples veces, lo que los hace ideales para diversos métodos de conformado.

Entre los procesos más comunes de transformación se encuentran el moldeo por inyección, el moldeo por compresión, la extrusión y el moldeo por soplado. Cada uno de estos métodos responde a necesidades específicas según el tipo de pieza, el volumen de producción y las propiedades del polímero utilizado. En la siguiente figura se presenta un diagrama general de estos procesos:

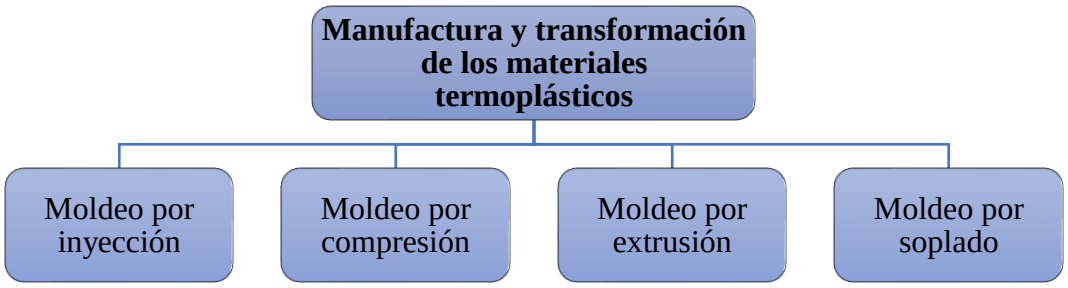


Fig 1. Diagrama general de los métodos de transformación

Fuente: [Autor]

Proceso de moldeo por inyección

Considerado el proceso más utilizado para la fabricación de productos plásticos además de ser el que mejor se adapta a la producción de grandes volúmenes de piezas. La materia prima pasa a ser una pieza en un solo paso construyendo piezas con geometrías complejas. El trabajo en la pieza final es nulo cuando los parámetros están bien calibrados. El polímero se carga en forma de pellet y sale por la boquilla en estado plastificado, la inyectora ejerce presión necesaria para el movimiento del polímero por la boquilla y las cavidades del molde [14], [15].

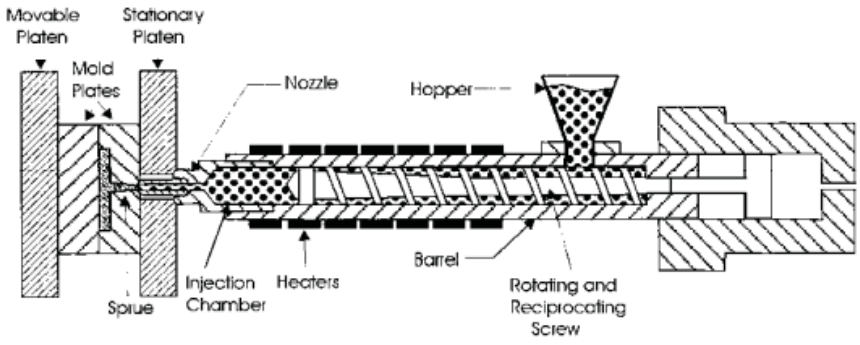


Fig 2. Proceso de moldeo por inyección [15]

Proceso de moldeo por compresión

El proceso consiste en una carga inicial en forma de pellets, polvo o líquido que se introduce en el fondo del molde precalentado para luego comprimir la carga y que esta adopte su forma final. La carga se calienta con el molde para su transformación en una pieza solida con la ayuda de presión y calor [16].

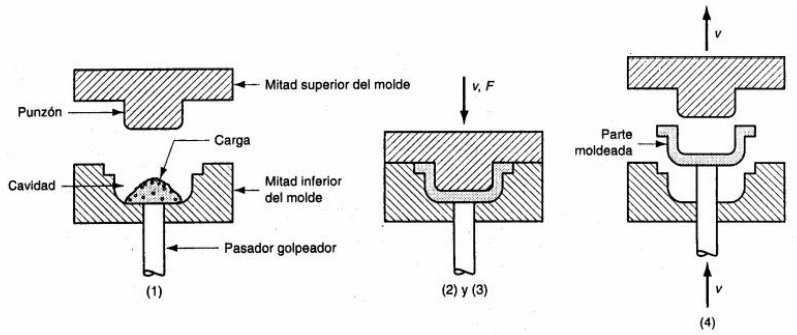


Fig 3. Proceso de moldeo por compresión [16]

Proceso de moldeo por extrusión

El proceso se lo realiza en una máquina llamada extrusora, la materia prima se alimenta, atraviesa el sistema cilindro-tornillo y sale por la boquilla en estado fundido. La extrusora debe ejercer presión necesaria y constante para hacer fluir el material, las más comunes son de husillo simple y pueden realizar 5 operaciones principales como el transporte del material hacia las diferentes zonas del cilindro, la plastificación de la materia prima, proporcionar la presión necesaria, mezclado y conformado [15].

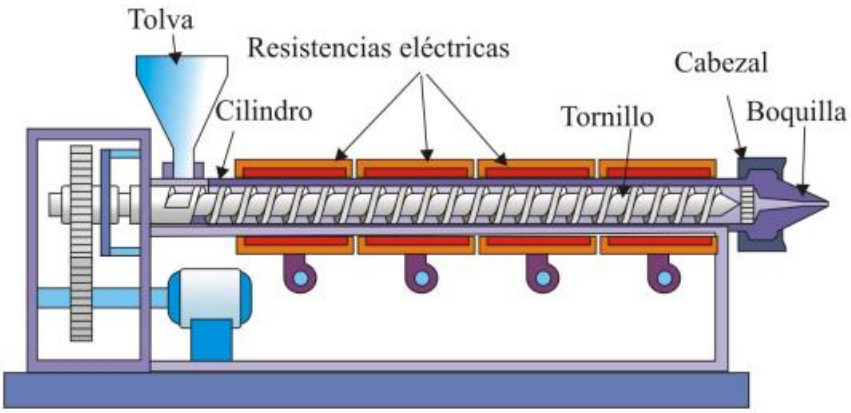


Fig 4. Proceso de moldeo por extrusión [15]

Proceso de moldeo por soplado

Este proceso utiliza la presión del aire para dar forma a piezas huecas y de paredes delgadas. Se realiza en dos etapas, la primera es la fabricación de la preforma en forma de tubo también llamado parison, este se lo obtiene mediante extrusión o inyección y la segunda el soplado del tubo para obtener la forma deseada [17].

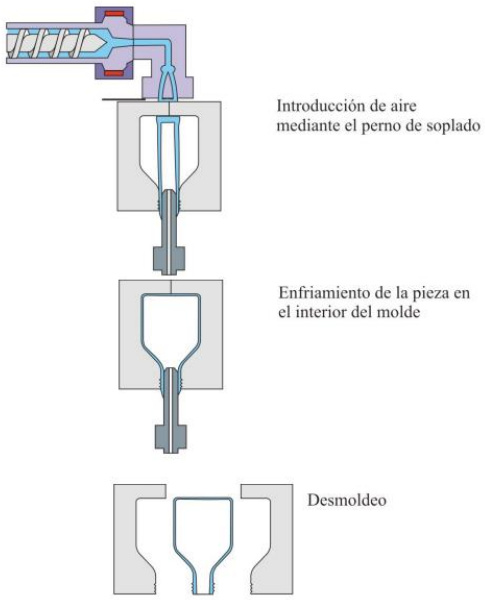


Fig 5. Proceso de moldeo por soplado [17]

1.3.3. Inyección de plástico

La máquina inyectora de plástico está compuesta por cuatro sistemas fundamentales que trabajan de manera coordinada para garantizar un proceso eficiente, preciso y repetible. Estos sistemas permiten transformar el material plástico desde su estado sólido hasta una pieza moldeada con características geométricas definidas. Como se muestra en la siguiente figura:

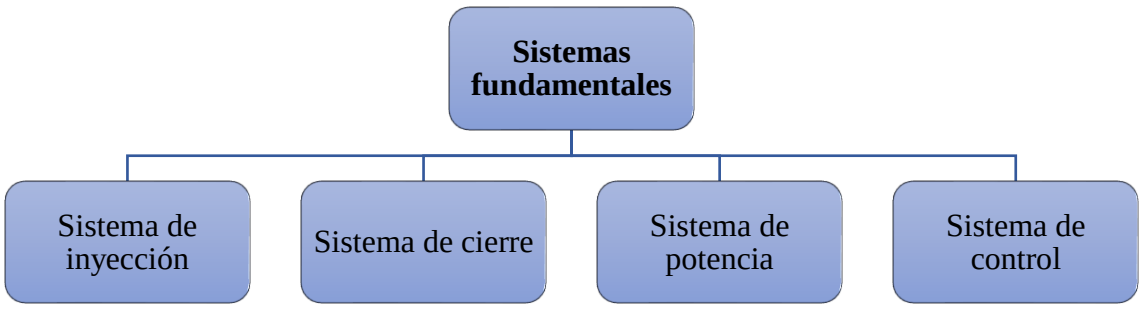


Fig 6. Sistemas fundamentales de la máquina de inyección

Fuente: [Autor]

- 1.3.3.1 Sistema de Inyección

Este sistema es responsable del proceso de moldeo por inyección, ya que se encarga de fundir y transportar el material plástico hacia la cavidad del molde. Generalmente está compuesto por un cilindro calefactado y un tornillo sinfín giratorio (o en algunos casos un pistón) que impulsa el polímero plastificado. A medida que el tornillo gira, empuja el material fundido hacia adelante, acumulando presión antes de ser inyectado a gran velocidad en el molde [18].

- 1.3.3.2 Sistema de cierre

Es de gran importancia ya que influye directamente en la calidad de las piezas, con una buena selección y calibración en los parámetros de la máquina como la fuerza de cierre se debe obtener piezas sin rebabas. Esta construido por dos placas, una fija y otra móvil unidas por robustas columnas que sirven para su deslizamiento y alineación, el molde está situado entre la placa fija y móvil. El cerrado del molde se debe realizar en el menor tiempo posible antes que choquen las dos partes del molde, aquí el movimiento debe ser lento y debe aplicar y mantener la máxima fuerza de cierre previniendo golpes en las caras de los moldes [19].

- 1.3.3.3 Sistema de potencia

El sistema de potencia suministra la energía requerida para accionar los sistemas de cierre, inyección y expulsión de piezas. En las inyectoras tradicionales, esta energía se transmite a través de un circuito hidráulico con bomba, acumulador y válvulas de control. Sin embargo, con el avance de la automatización, se han introducido sistemas eléctricos y soluciones híbridas que combinan motores servo y actuadores hidráulicos [20].

- 1.3.3.4 Sistema de control

El sistema de control es el cerebro de la inyectora. Permite configurar, monitorear y ajustar los parámetros de operación del ciclo de inyección. Incluye tanto el hardware como el software encargado de ejecutar rutinas automáticas mediante un PLC (Controlador Lógico Programable), y una interfaz HMI (Interfaz Hombre-Máquina) donde el operario interactúa con la máquina [21]. Este sistema controla variables como la temperatura en las zonas del cilindro, la presión de inyección, la velocidad del tornillo, el tiempo de enfriamiento, la fuerza de cierre, entre otros.

1.3.4. Clasificación de las inyectoras

El desarrollo tecnológico en el campo del moldeo por inyección ha dado lugar a una amplia variedad de máquinas diseñadas para adaptarse a distintos tipos de materiales, volúmenes de producción y niveles de precisión requeridos. La clasificación de las máquinas inyectoras puede realizarse en función de diferentes criterios: el mecanismo de plastificación, el sistema de accionamiento, la orientación estructural y la aplicación industrial.

1.3.4.1 Según el mecanismo de plastificación

- Máquinas de pistón: Utilizan un cilindro calefaccionado y un pistón que empuja el plástico fundido hacia el molde. Son robustas y simples, aunque limitadas en control del caudal y mezcla. Adecuadas para termoestables y producciones de baja complejidad [22].
- Máquinas de husillo (tornillo): Incorporan un tornillo sinfín rotativo que mezcla, plastifica y transporta el material fundido. Ofrecen mayor uniformidad

de mezcla, eficiencia energética y precisión en la dosificación. Son las más utilizadas actualmente en la industria [22].

1.3.4.2 Según el sistema de accionamiento

- Hidráulicas: Las máquinas hidráulicas han sido tradicionalmente las más utilizadas en la industria del moldeo por inyección. Utilizan sistemas hidráulicos para accionar los movimientos del sistema de cierre y del tornillo de inyección. Son conocidas por su robustez y capacidad para generar fuerzas de cierre elevadas, lo que las hace adecuadas para la producción de piezas de gran tamaño y geometría compleja [23].
- Eléctricas: Las máquinas eléctricas utilizan servomotores eléctricos para accionar directamente los movimientos del sistema de inyección y cierre. Ofrecen ventajas significativas en términos de eficiencia energética, precisión y repetibilidad. Además, generan menos ruido y requieren menos mantenimiento al eliminar el uso de sistemas hidráulicos [24].
- Híbridas: Las máquinas híbridas combinan elementos de los sistemas hidráulicos y eléctricos para aprovechar las ventajas de ambos. Generalmente, utilizan servomotores eléctricos para controlar funciones que requieren alta precisión, como la dosificación y el movimiento del tornillo, mientras que emplean sistemas hidráulicos para operaciones que demandan fuerzas elevadas, como el cierre del molde [23].

1.3.4.3 Según la orientación del molde

- Horizontales: Es el tipo más utilizado en la industria. Su eje de inyección es paralelo al suelo, lo que facilita la alineación con el sistema de cierre. Se caracteriza por su estabilidad, facilidad de operación, mantenimiento sencillo y buena accesibilidad para el montaje de moldes. Es adecuada para piezas de diversos tamaños y automatización del proceso [25].
- Verticales: En esta configuración, el eje de inyección es perpendicular al suelo. Ocupa menos espacio en planta y permite una fácil colocación de insertos, lo que la hace ideal para procesos de sobre moldeo. Sin embargo, la expulsión automática de las piezas puede resultar compleja, por lo que suele requerir

intervención manual o dispositivos auxiliares. También presenta mayor altura, lo que puede dificultar el mantenimiento.

1.3.4.4 Proceso de inyección

EL ciclo de inyección costa de varias etapas:

a) Cierre del molde: La máquina acciona el sistema de cerrado para unir las partes del molde.
b) Avance del sistema de inyección: Es el tiempo que le toma a la boquilla llegar hasta el bebedero del molde.
c) Inyección: Tiempo en donde se llenan las cavidades del molde, depende del tipo de polímero empleado, su temperatura de fundición, la velocidad de avance, el tamaño del molde.
d) Sostenimiento o moldeo: El polímero necesita un tiempo de enfriamiento por lo que el molde permanece cerrado. Cuando el material fundido se enfría experimenta contracciones por lo que se necesita mantener la presión dentro del molde.
e) Retroceso de la sistema de inyección: La entrada al bebedero se solidifica y el sistema de inyección retrocede, ocurre al mismo tiempo que el enfriamiento, la apertura del molde y la extracción de la pieza reduciendo el tiempo de ciclo.
f) Tiempo de enfriamiento: Medido desde el final del sostenimiento o compactación hasta la apertura de los moldes, aunque esta etapa empieza desde que el polímero ingresa a las paredes frías del molde y finaliza cuando se extrae la pieza.
g) Apertura del molde: Tiempo que tarda el sistema de cierre en separar los moldes.
h) Extracción de la pieza: Tiempo en sacar las piezas solidificadas de las cavidades del molde.
i) Molde abierto: Inicia desde la apertura del molde, la extracción de la pieza y suele extenderse por un tiempo corto si se necesita incorporar insertos en el molde.

A continuación, se presenta un diagrama circular que ilustra de manera porcentual la distribución aproximada del tiempo correspondiente a cada etapa del ciclo de inyección:

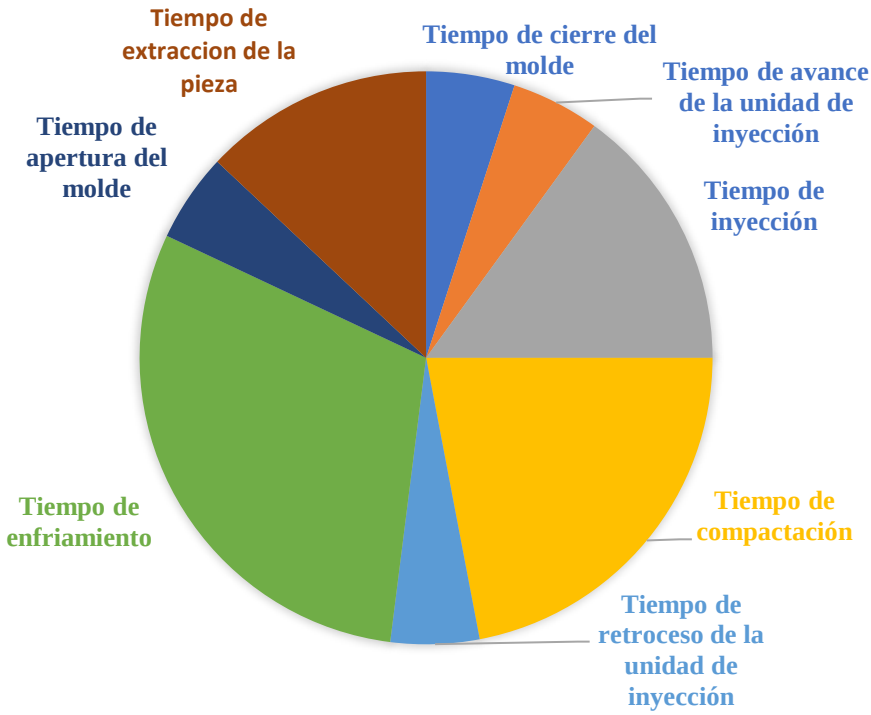


Fig 7. Diagrama de tiempos del proceso de inyección

Fuente: [Autor]

1.3.5. Diseño de Moldes y Parámetros Técnicos

El diseño adecuado de un molde de inyección está condicionado por diversos parámetros técnicos, entre ellos, la cantidad de cavidades, la fuerza de cierre del molde, el diseño del sistema de canales y la eficiencia del sistema de enfriamiento. Estas variables se calculan mediante fórmulas empíricas y relaciones dimensionales que permiten garantizar la calidad del proceso de inyección.

- **Número de Cavidades del Molde**

Uno de los primeros parámetros a definir es cuántas piezas se fabricarán por ciclo. Esto se estima a partir de la capacidad de inyección de la máquina en relación con el volumen necesario por pieza, incluyendo bebederos y canales. El cálculo general responde a:

$$N_1 = \frac{S_v}{M_v} \quad (1)$$

Donde:

$S_v =$ volumen de disparo disponible por la máquina [cm^3]

$M_v =$ volumen total de la pieza y de los canales [cm^3]

En la práctica, se recomienda aplicar un coeficiente de seguridad del 95% para garantizar una fusión y llenado homogéneo.

En casos donde las piezas sean delgadas, también se considera la tasa de plastificación. Esta se contrasta con la frecuencia de ciclos y el volumen por descarga para evitar deficiencias térmicas o de presión, siguiendo criterios prácticos del rango:

$$0.4N_1 \leq N_2 \leq 0.8N_1 \quad (2)$$

según lo propuesto en textos técnicos especializados [26].

- **Fuerza de Cierre**

Para evitar la apertura del molde durante la inyección, se calcula la fuerza de cierre requerida mediante:

$$F_C = P * At \quad (3)$$

Donde:

$At =$ área proyectada del molde

$P =$ presión ejercida por el fundido

La presión suele variar entre 20 y 100 MPa. La fuerza de cierre calculada debe ser menor que la fuerza máxima disponible por la máquina:

$$F_c < F_{maquina} \quad (4)$$

1.3.6. Mantenimiento industrial

El mantenimiento industrial ha evolucionado significativamente desde mediados del siglo XX. Apareció en Estado Unidos, en la década de 1950, surgieron enfoques sistemáticos como el mantenimiento preventivo y el mantenimiento centrado en la confiabilidad (RCM), marcando el inicio de una gestión más estructurada del mantenimiento en la industria [27].

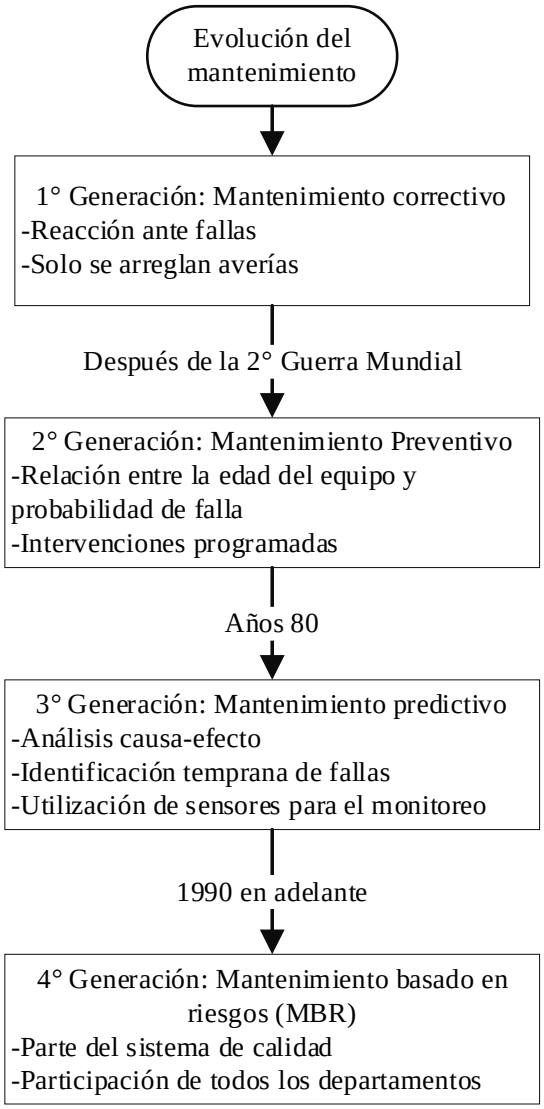


Fig 8. Etapas del mantenimiento industrial a lo largo del tiempo

Fuente: [Autor]

Repotenciación

La repotenciación es una estrategia de mejora tecnológica aplicada a equipos y sistemas existentes que permite aumentar su eficiencia, prolongar su vida útil, reducir

el tiempo de inactividad y adaptarlos a nuevas necesidades productivas sin requerir su reemplazo completo, también se considera la repotenciación de un activo es la realización de una inversión para mejorar o reparar de forma significativa para incrementar la capacidad de maquinarias que originalmente disponían, las cuales son parte de los procesos de una empresa [28].

La repotenciación de equipos resolver problemáticas tales como:

- Obsolescencia tecnológica (controladores, sensores, actuadores).
- Ineficiencia energética de motores y sistemas hidráulicos.
- Tiempos de ciclo elevados por limitaciones mecánicas o electrónicas.
- Falta de precisión en el control del proceso.

Tipos de mantenimiento

El mantenimiento industrial se clasifica en varias categorías, cada una con sus propias características, ventajas y desventajas.

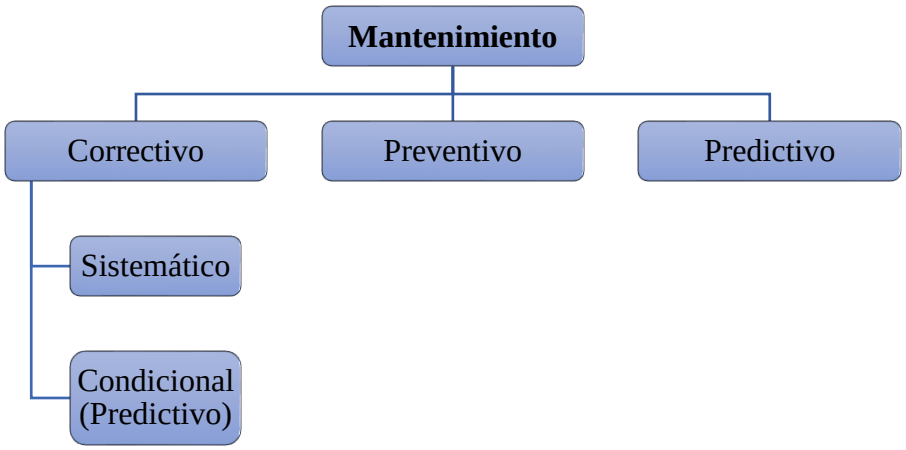


Fig 9. Tipos de mantenimiento

Fuente: [Autor]

Mantenimiento Correctivo

El correctivo como su nombre lo indica se lo realiza para reparar averías en las máquinas.

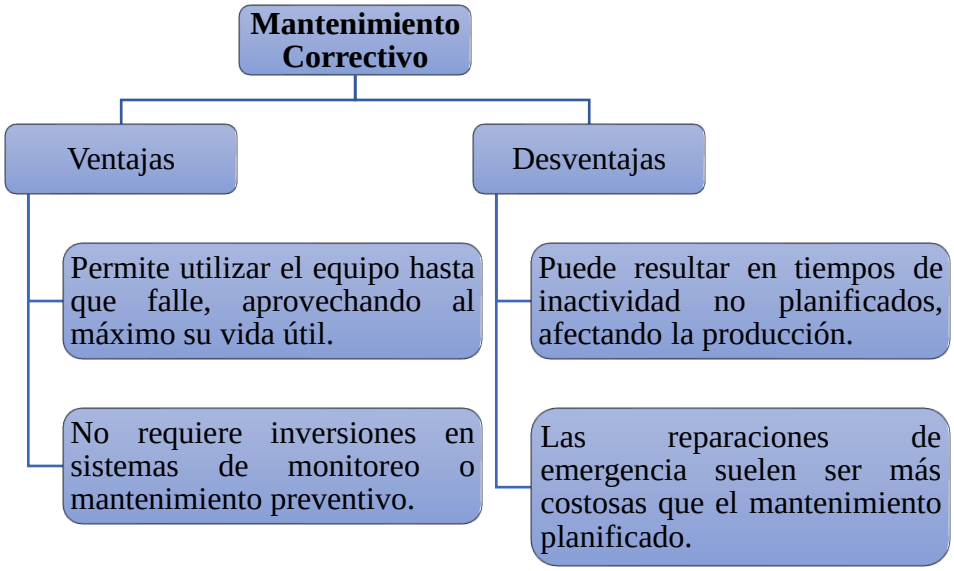


Fig 10. Ventajas y desventajas del mantenimiento correctivo

Fuente: [Autor]

Mantenimiento Preventivo

El Preventivo se divide en dos el preventivo sistemático utilizado en diferentes intervalos de tiempo mediante un programa establecido y el preventivo condicional empleado para un suceso previsto, ambos sirven para disminuir la posibilidad de fallos.

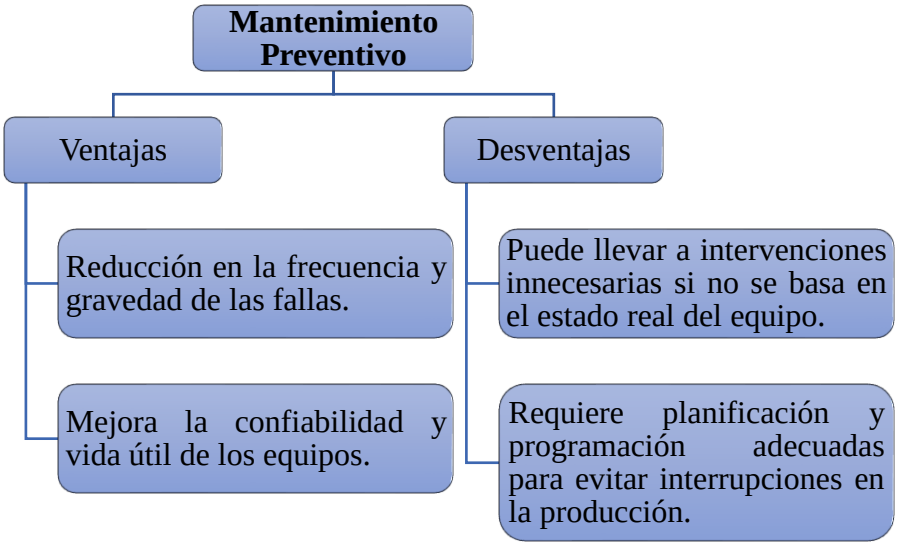


Fig 11. Ventajas y desventajas del mantenimiento preventivo

Fuente: [Autor]

Mantenimiento Predictivo

También se encuentra el mantenimiento predictivo, referido a las técnicas para la detección y posterior intervención antes del fallo.

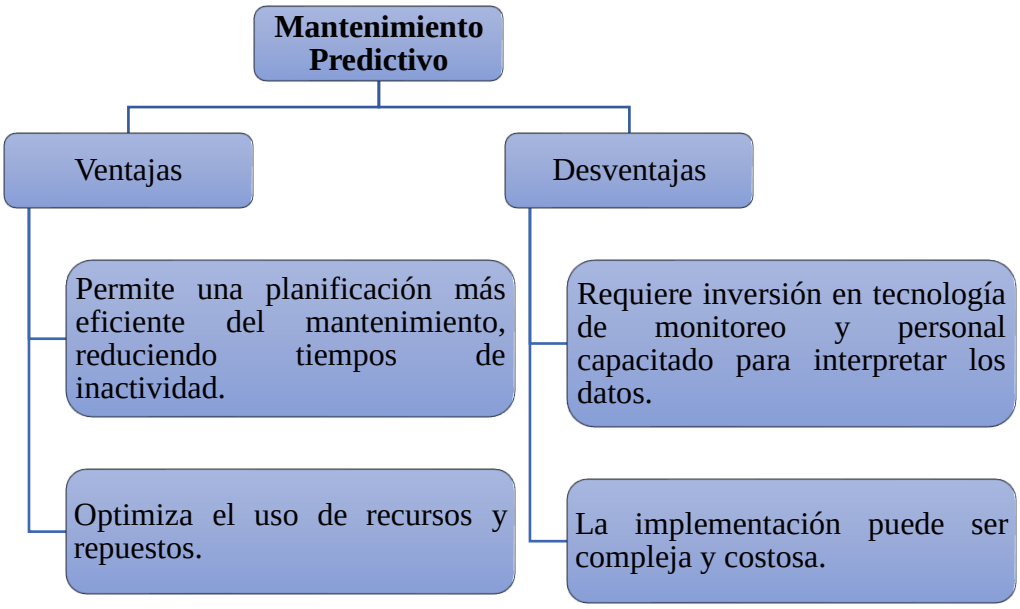


Fig 12. Ventajas y desventajas del mantenimiento predictivo

Fuente: [Autor]

Decisión para la selección del tipo de mantenimiento

La elección de una estrategia de mantenimiento adecuada es crucial para garantizar la fiabilidad, disponibilidad y eficiencia de los activos industriales. Esta decisión depende de múltiples factores, como la criticidad del equipo, los costos asociados, la disponibilidad de datos y las capacidades tecnológicas de la organización. En la siguiente figura se muestra un diagrama de toma de decisión para la selección del tipo de mantenimiento:

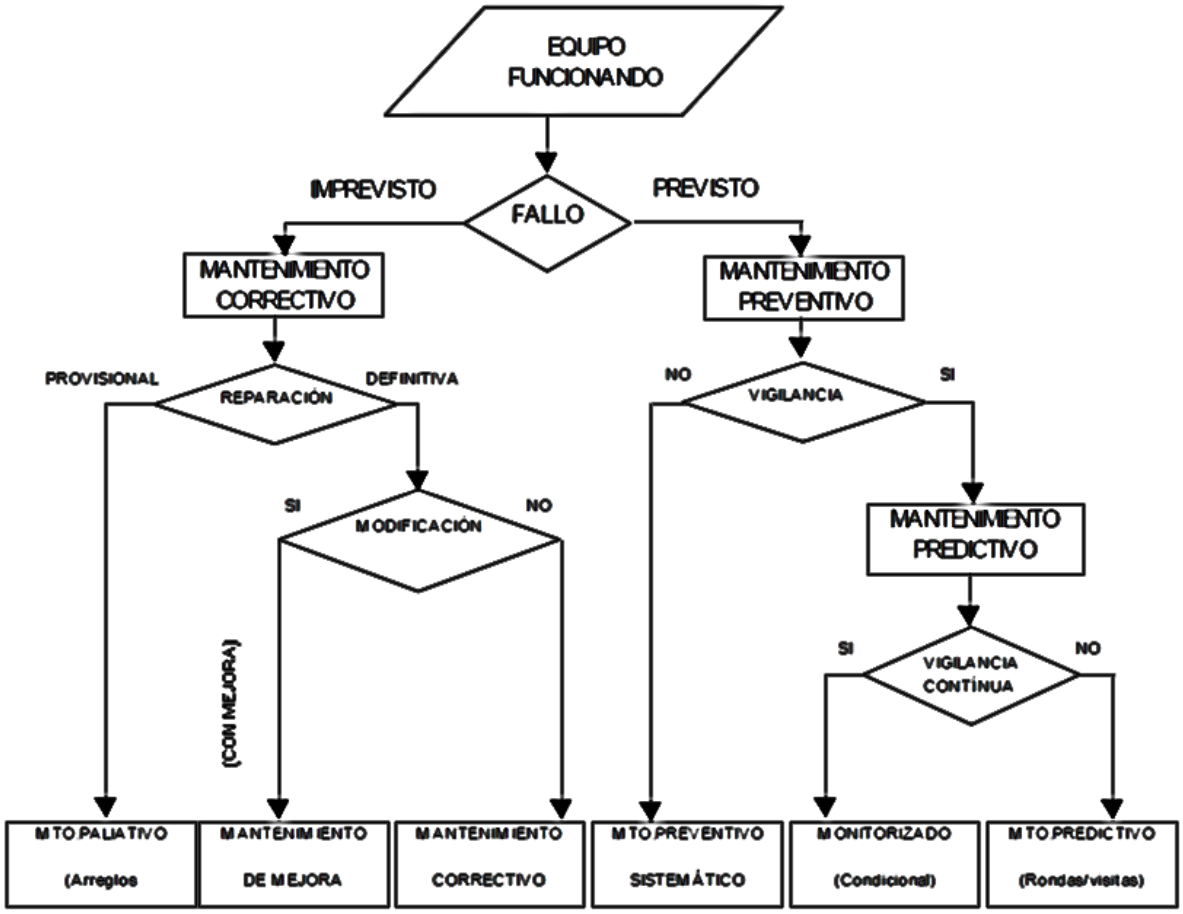


Fig 13. Diagrama de decisión para la selección del tipo de mantenimiento [27]

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Repotenciar el sistema de inyección de plástico de la máquina vertical (mayal) para el laboratorio de la FICM-UTA.

1.4.2. Objetivos específicos

- Determinar el estado actual del funcionamiento de la máquina vertical (mayal) para identificar sus limitaciones y puntos de mejora en el sistema de inyección.
- Diseñar y seleccionar los componentes adecuados para los diferentes sistemas de la máquina para reducir el tiempo del ciclo de trabajo.
- Evaluar los resultados de las pruebas de funcionamiento de la máquina para determinar los parámetros del ciclo de trabajo.

CAPITULO II.- METODOLOGÍA

2. Materiales

2.1. Materiales y recursos

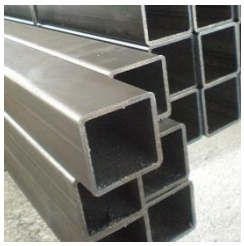
Aquí se examinará los materiales y recursos empleados en la repotenciación de la máquina de inyección de plástico vertical (mayal) que cumple un rol importante en los procesos de fabricación del laboratorio. Se realizo una selección adecuada de componentes técnicos y el dimensionamiento de los nuevos elementos que van a formar parte de la máquina considerando los aspectos operativos.

TABLA II.
Lista de materiales y recursos

N°	Elementos	Propiedades/Características	Imagen	Observaciones
1	Pistón neumático	• Presión de funcionamiento: 0.4-12 bar • Fuerza teórica con 6 bar, avance: 1870 N • Carrera: 150 mm • Diámetro de embolo: 63 mm • Modo de funcionamiento: Doble efecto		Adquirido
2	Sensor inductivo	• Interruptor de proximidad • Voltaje: 5-50 VAC/VCD		Adquirido

3	Temporizador (Timmer)	• Voltaje: 12 VDC • Rango: 1 - 10 segundos		Adquirido
4	Electroválvula	• Activación: Bobina • Dimensión: 3/8” NTP • Presión de operación: 0.15-1.2 MPa • Voltaje: 24 VDC		Adquirido
5	Láminas de acero al carbono (ASTM A-36)	• Espesores: 6,8,10,12 mm		Adquirido
6	Termocupla tipo K	• Rango de temperatura: 0-600 °C • Diámetro: M6x10 • Aislamiento: Fibra de vidrio		Adquirido
7	Botón/Pulsador	• Voltaje: 110/220 VAC • Amperaje: 25 A AC		Adquirido
8	Interruptor diferencial	• Voltaje: 250-500 VAC • Amperaje: 16 A		Adquirido

9	Relay	• Voltaje conmutación: 110 VAC • Voltaje activación: 3-32 VDC • Amperaje: 40A		Adquirido
10	Control de temperatura (REX - C100)	• Voltaje: 110 VAC • Rango de temperatura: 0 – 400 °C		Existente
11	Selector 3 posiciones	• Voltaje: 0-240 VAC • Amperaje: 10 A		Adquirido
12	Unidad de mantenimiento FRL	• Entrada: 1/2” • Medio de trabajo: Aire comprimido • Presión máxima: 1.6 MPa • Rango de regulación: 0.05-1.2 MPa • Modo de drenaje: Semiautomático		Adquirido
13	Resistencia eléctrica – banda calefactora	• Rango de temperatura: Hasta 500 °C • Tipo de cierre: Tornillo • Potencia: 1250W • Voltaje: 110-220 VAC		Existente

14	Tubo estructural cuadrado (ASTM-A500)	• Dimensiones: - 40x3mm - 50x3mm		Adquirido
15	Eje AISI 1045	• Diámetro: 25mm		Adquirido
16	Resorte AISI 1085	• Numero de vueltas: 8 • Diámetro exterior: • Diámetro interior:		Construido
17	Moldes	• Duraluminio 7075-T651 • Molde espécimen de tracción • Molde espécimen de flexión • Molde espécimen de impacto		Existente

Fuente: [Autor]

2.2. Métodos

Tipo de investigación

2.2.1. Investigación bibliográfica

Para la ejecución del proyecto es necesario la recopilación y análisis de información confiable que justifique teóricamente la repotenciación de la máquina, debe ser basada en fuentes principalmente en artículos científicos, manuales, normativas y documentos referenciados al proceso de inyección y el mantenimiento industrial. Se necesita el respaldo de la intervención de la máquina, considerando las características más importantes del proceso como los parámetros de operación y el ciclo de trabajo.

2.2.2. Investigación descriptiva

Basado en un enfoque descriptivo para documentar y analizar las condiciones de la máquina de inyección vertical para el respaldo del proceso de repotenciación. Se busca describir y seleccionar los componentes de cada sistema como el mecánico, eléctrico y neumático con la definición de los parámetros de funcionamiento y su capacidad de operación. Se incluye datos cuantitativos como tiempos de operación.

2.2.3. Investigación experimental

La investigación de información técnica con relación a la inyección de termoplásticos, mantenimiento industrial, automatización y sistemas neumáticos sirve para sustentar y respaldar las alternativas técnicas adoptadas en el proyecto. Se detalla el estado inicial de la máquina para un posterior diseño y ensamble de las mejoras sean mecánicas, eléctricas o de control. Se incluye la evaluación de distintas variables que actúan en el ciclo de trabajo, como la presión de inyección, el tiempo del ciclo, fuerza de cierre a través de pruebas de funcionamiento con el fin de identificar la relación entre las variables y las mejoras propuestas.

2.2.4. Investigación de campo

Se interviene con una observación directa del estado de la máquina con una evaluación del estado de los componentes y las deficiencias en el ciclo, medición de los parámetros de trabajo para una posterior toma de decisiones en el diseño y selección de componentes y finalmente una evaluación del desempeño de la maquina comparando los resultados con los obtenidos anteriormente.

2.3. Etapas del proyecto

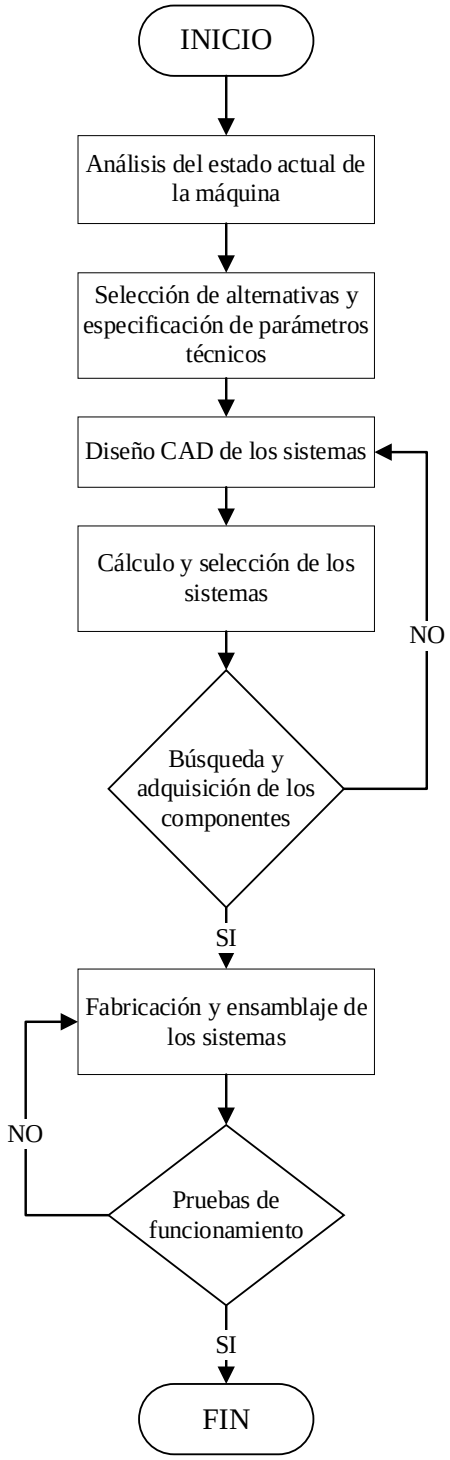


Fig 14. Diagrama de flujo de las etapas del proyecto

Fuente: [Autor]

2.3.1. Estado de la máquina de inyección de plástico vertical

Se realizo una inspección inicial a la máquina para verificar el estado de los componentes e identificar los puntos de mejora de la inyectora. Se evidencio que dos sistemas son deficientes afectando directamente a la operatividad y seguridad.

Sistema de cierre

Accionado con un cilindro neumático con las siguientes características, Diámetro: mm, Carrera: mm, Presión de trabajo: bar, presentaba fugas en sus conexiones provocando perdidas de presión de trabajo la que es necesaria para mantener el cerrado, afectando directamente la calidad de la pieza moldeada y el tiempo de trabajo.



Fig 15. Sistema de cierre

Fuente: [Autor]

Sistema de inyección

Accionado con el sistema piñón – cremallera, presentaba serios daños en el piñón observando dientes rotos que impedía el avance de la cremallera unida al embolo inyector, al ser un mecanismo manual no se puede medir la presión y fuerza ejercida en el proceso de inyección.

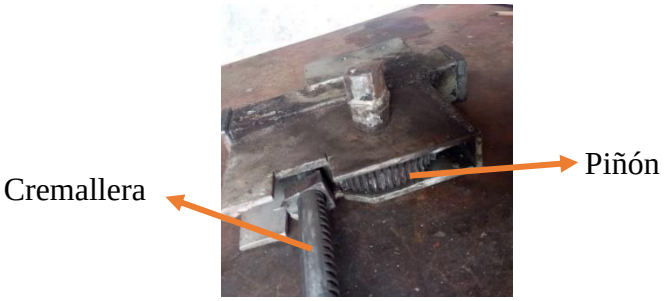


Fig 16. Mecanismo piñón cremallera

Fuente: [Autor]

Sistema de fundición

Funcionando y operativo pero la ubicación de termocupla es inadecuada no entregaba la temperatura real del plástico fundido entregaba lecturas erróneas de la temperatura afectando negativamente a las propiedades mecánicas de las piezas moldeadas por la excesiva temperatura ocurre la degradación del plástico.

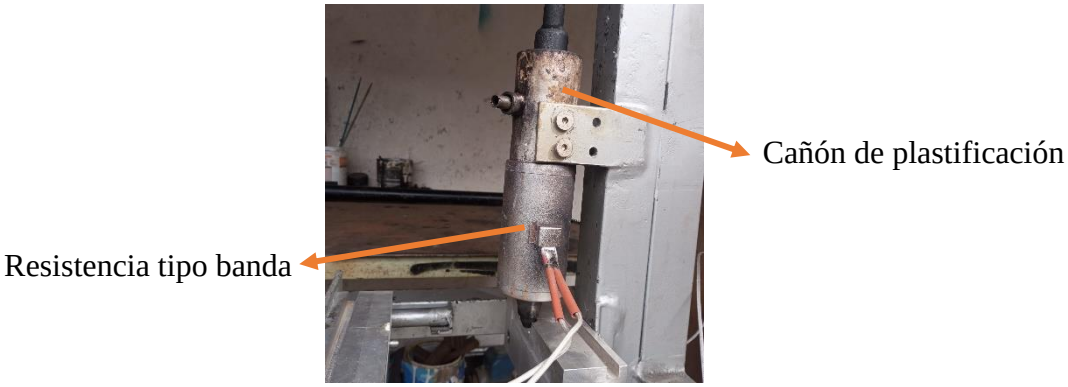


Fig 17. Sistema de calentamiento por banda

Fuente: [Autor]

Según la ficha de estado [Anexo E] se recopila información del estado de los componentes de la máquina.

2.3.2. Parámetros de operación

Partimos desde el área proyectada de los moldes para analizar cuál es el más crítico, en base a esto se procederá a seleccionar las demás alternativas.

La simulación con el software CAD/CAE ayuda a determinar la presión de inyección necesaria para que se llene completamente la cavidad los moldes, de igual manera se puede calcular la fuerza de cierre necesaria para que los moldes no sufran una abertura repentina durante el proceso de inyección provocando rebabas en el contorno de la parte moldeada.

Parámetros del estudio

Tipo de simulación: Llenado

Material: Polipropileno

Temperatura del material: 180 °C

Presión de inyección: 5 MPa

Probeta espécimen de ensayo a impacto ASTM D5628

Según la norma ASTM D5628

TABLA III.
Dimensiones de probeta para impacto.

Dimensiones	
Longitud	58 mm
Espesor	3.5 mm
Altura	58 mm

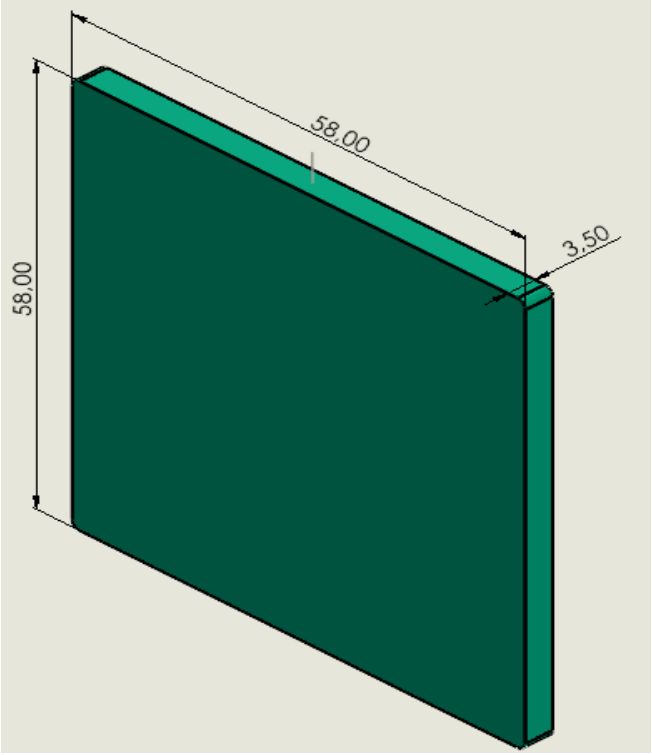


Fig 18. Espécimen probeta de impacto ASTM D5625

Fuente: [Autor]

Cálculo de la fuerza de cierre

En donde:

$Ap \rightarrow Área\ proyectada$

$P_{iny} \rightarrow Presión\ de\ inyección\ necesaria$

$F_c \rightarrow Fuerza\ de\ cierre\ necesaria$

$A_p = 3363.14\ mm^2$

$P_{iny} = 0.728\ MPa$

$$\boldsymbol{F_c = P_{iny} * A_p} \quad (7)$$

$F_c = 0.728\ MPa * 3363.14\ mm^2$

$F_c = 2448.366\ N$

Probeta espécimen de ensayo a tracción ASTM D638

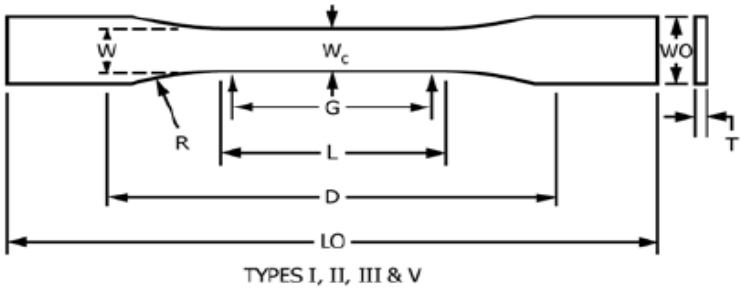


Fig 19. Tipos de probetas a tracción ASTM D638

TABLA IV.
Dimensiones de probeta para tracción.

Dimensiones	
Longitud total	165 mm
Espesor	3.2 ±0.4 mm
Ancho	13 mm
Distancia entre mordazas	115 mm
Ancho de las mordazas	19 mm

Cálculo de la fuerza de cierre

$$A_p = 2641.32\ mm^2$$

$$P_{iny} = 0.859\ MPa$$

$$F_c = 2268.894\ N$$

Probeta espécimen de ensayo a flexión ASTM D790

TABLA V.
Dimensiones de probeta a flexión.

Dimensiones	
Longitud	127 mm
Espesor	3.5 mm
Ancho	12.7 mm

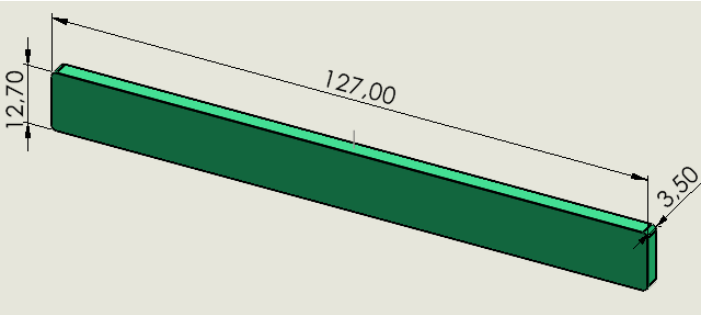


Fig 20. Espécimen de probeta a tracción ASTM D790

Fuente: [Autor]

$A_p = 1612.04\ mm^2$

$P_{iny} = 1.048\ MPa$

$F_c = 1689.418\ N$

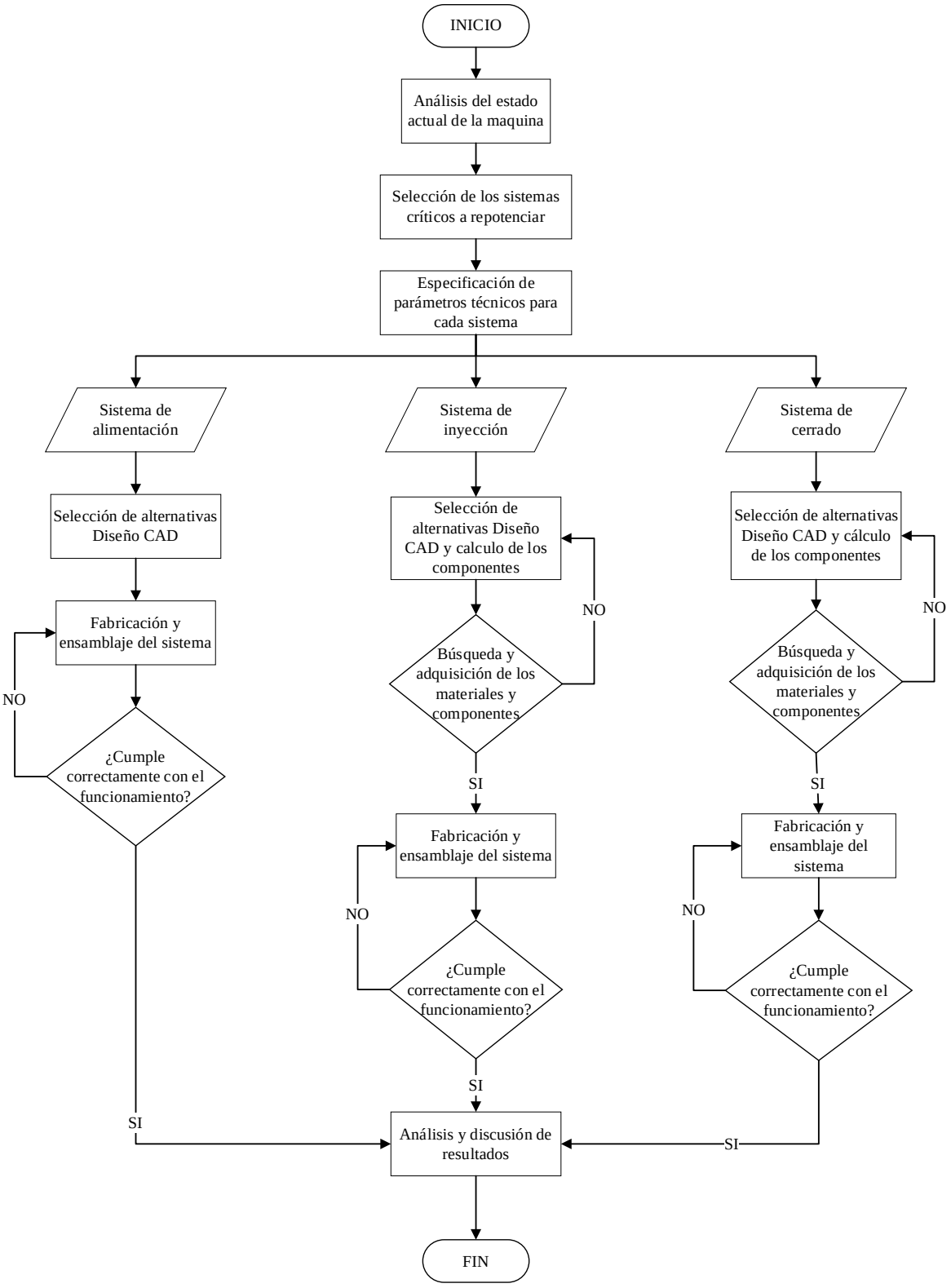
Según la simulación se identifica que la mayor presión de inyección requerida para llenar el molde se encuentra en el espécimen de flexión, por otro lado la fuerza de cierre mayor se encuentra en el espécimen de compresión.

$$P_{iny} = 1.048\ MPa \rightarrow Presion\ de\ inyección$$

$$F_c = 2448.366\ N \rightarrow Fuerza\ de\ cierre$$

2.4. Etapas de diseño y construcción

Fig 21. Diagrama de flujo de las etapas de diseño y construcción.



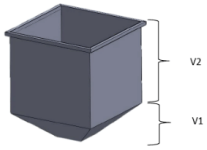
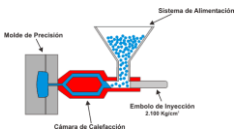
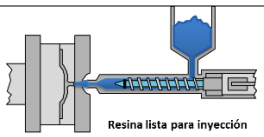
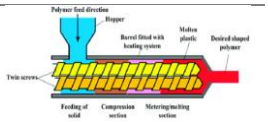
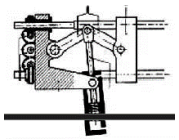
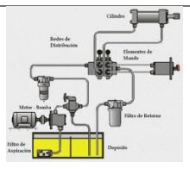
Fuente: [Autor]

CAPITULO III.- RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3. Análisis discusión de resultados

3.1. Búsqueda de alternativas a implementar

TABLA VI.
Alternativas disponibles

Sistemas	Alternativas		
	A	B	C
Sistema de alimentación de la materia prima	Tolva rectangular	Tolva cilíndrica	Tolva prismática
	Utilizada para almacenar la materia prima por un largo tiempo, baja velocidad de descarga.	Mayor velocidad de descarga y fácil construcción.	Acumulación de materia prima en sus esquinas, fácil construcción.
			
Sistema de inyección	Cilindro-Embolo	Husillo Simple	Husillo Doble
	Ideal para máquinas pequeñas, su costo de fabricación es bajo y fácil mantenimiento.	Ideal para la producción de grandes cantidades de forma continua.	Elevado costo de fabricación por su geometría compleja.
			
Sistema de cerrado	Cierre mecánico (Rodillera simple)	Actuador neumático	Actuador hidráulico
	Cantidad elevada de componentes con un alto costo de fabricación. Capaz de multiplicar exponencialmente la fuerza de entrada.	Fácil instalación y programación, necesario un compresor para suministrar un caudal constante de aire. Las presiones de trabajo son bajas.	Necesita equipos adicionales de elevado costo para producir potencia hidráulica Las presiones de trabajo son altas.
			

Fuente: [Autor]

3.2. SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

3.2.1. Sistema de alimentación

Una vez definidos los parámetros de trabajo se procede a realizar la selección de alternativas.

Ponderación basada en el **MÉTODO ORDINAL CORREGIDO DE CRITERIOS PONDERADOS** para seleccionar la mejor alternativa[29].

- "1: Si el criterio de las filas es superior que el de las columnas.

- 0.5: Si el criterio de las filas es equivalente al de las columnas.

- 0: Si el criterio de las filas es inferior que el de las columnas."

Para el sistema de alimentación de la materia prima las opciones disponibles son:

- Tolva prismática
- Tolva cuadrada
- Tolva cilíndrica

Con los siguientes criterios a ser considerados.

- Criterio 1: Capacidad de almacenamiento
- Criterio 2: Facilidad de fabricación
- Criterio 3: Flujo del material
- Criterio 4: Bajo costo de fabricación
- Criterio 5: Espacio requerido

Jerarquización de los criterios

TABLA VII. Valoración para cada criterio para la tolva.

Criterios	1	2	3	4	5	Σ+1	Ponderación
1		0.5	1	1	1	4.5	0.300
2	0.5		1	0.5	1	4	0.267
3	0	0		1	1	3	0.200
4	0	0.5	0		1	2.5	0.167
5	0	0	0	0		1	0.067
				Total		15	1.000

Evaluación de las alternativas por cada criterio.

a) Criterio 1: Capacidad de almacenamiento

TABLA VIII. Capacidad de almacenamiento.

Alternativa	Tolva rectangular	Tolva cilíndrica	Tolva prismática	Σ+1	Ponderación
Tolva rectangular		1	0	2	0.333
Tolva cilíndrica	0		1	2	0.333
Tolva prismática	1	0		2	0.333
			Total	6	1.00

Con el resultado y considerando otros factores como el tamaño se puede decir que todas las opciones tienen la misma capacidad de almacenamiento.

b) Criterio 2: Facilidad de fabricación

TABLA IX. Facilidad de fabricación.

Alternativa	Tolva rectangular	Tolva cilíndrica	Tolva prismática	Σ+1	Ponderación
Tolva rectangular		0	1	2	0.333
Tolva cilíndrica	1		1	3	0.500
Tolva prismática	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

Según la facilidad de fabricación una tolva cilíndrica es la mejor opción debido a la menor cantidad de soldaduras y uniones evitando ensamblar diversas placas con diferentes ángulos.

c) Criterio 3: Flujo del material

TABLA X. Fujo de material.

Alternativa	Tolva rectangular	Tolva cilíndrica	Tolva prismática	Σ+1	Ponderación
Tolva rectangular		0	0	1	0.167
Tolva cilíndrica	1		1	3	0.500
Tolva prismática	1	0		2	0.333
			Total	6	1.00

Según el flujo de material la tolva cilíndrica presenta un flujo más uniforme y su nula adherencia de la materia prima a las paredes la convierten en la mejor opción, presentan el mejor comportamiento con los materias primas de difícil fluidez.

d) Criterio 4: Bajo costo de fabricación

TABLA XI. Bajo costo de fabricación.

Alternativa	Tolva rectangular	Tolva cilíndrica	Tolva prismática	Σ+1	Ponderación
Tolva rectangular		0	1	2	0.333
Tolva cilíndrica	1		0	2	0.333
Tolva prismática	0	1		2	0.333
			Total	6	1.00

Según el costo de fabricación, las tres opciones resultan iguales pero la tolva cilíndrica destacaría por el ahorro de material y la reducción del tiempo de fabricación.

e) Criterio 5: Espacio requerido

TABLA XII. Espacio requerido.

Alternativa	Tolva rectangular	Tolva cilíndrica	Tolva prismática	Σ+1	Ponderación
Tolva rectangular		0	1	2	0.333
Tolva cilíndrica	1		0	2	0.333
Tolva prismática	0	1		2	0.333
			Total	6	1.00

Según el espacio requerido, las tres opciones presentan el mismo resultado debido a que el espacio disponible para implementar en reducido.

Finalmente la puntuación global

TABLA XIII. Resultado total para la selección de la tolva.

Alternativa	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Σ+1	Ponderación
Tolva rectangular	0.100	0.0889	0.033	0.0556	0.022	1.300	0.325
Tolva cilíndrica	0.100	0.133	0.100	0.0556	0.022	1.411	0.352
Tolva prismática	0.100	0.0444	0.0667	0.0556	0.022	1.288	0.322
					Total	4.00	1.00

Considerando varios criterios como la capacidad de almacenamiento, la facilidad de fabricación, bajo costo de fabricación y el espacio disponible se selecciona la tolva cilíndrica como la mejor opción para el sistema de alimentación de la materia prima.

3.2.2. Sistema de inyección

Para el sistema de inyección las opciones disponibles son:

- Cilindro - Embolo
- Husillo simple
- Husillo doble

Con los siguientes criterios a ser considerados.

- Criterio 1: Presión de inyección requerida
- Criterio 2: Bajo costo de implementación
- Criterio 3: Facilidad de fabricación
- Criterio 4: Facilidad de automatización
- Criterio 5: Facilidad de mantenimiento y vida útil

Jerarquización de los criterios

TABLA XIV. Valoración para cada criterio para la inyección.

Criterios	1	2	3	4	5	Σ+1	Ponderación
1		1	1	1	1	5	0.333
2	0		1	1	1	4	0.267
3	0	0		0.5	0.5	2	0.133
4	0	0	0.5		0.5	2	0.133
5	0	0	0.5	0.5		2	0.133
				Total		15	1.000

Evaluación de las alternativas por cada criterio.

f) Criterio 1: Presión de inyección requerida

TABLA XV. Presión de inyección requerida.

Alternativa	Cilindro - Embolo	Husillo simple	Husillo doble	Σ+1	Ponderación
Cilindro - Embolo		0.5	1	2.5	0.417
Husillo simple	0.5		1	2.5	0.417
Husillo doble	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

Según la presión de inyección requerida, es cierto que los mecanismos de husillo simple y doble son capaces de generar mayor presión que el mecanismo cilindro-embolo sin embargo no es necesario el uso de granes presiones para la inyección.

g) Criterio 2: Bajo costo de implementación

TABLA XVI. Bajo costo de implementación.

Alternativa	Cilindro - Embolo	Husillo simple	Husillo doble	Σ+1	Ponderación
Cilindro - Embolo		1	1	3	0.500
Husillo simple	0		1	2	0.333
Husillo doble	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

El mecanismo cilindro embolo resulta ser la mejor opción debido a que se basa en un desplazamiento linear sin sistema de transmisión de potencia como engranes o poleas, reduciendo totalmente los costos de fabricación.

h) Criterio 3: Facilidad de fabricación

TABLA XVII. Facilidad de fabricación.

Alternativa	Cilindro - Embolo	Husillo simple	Husillo doble	Σ+1	Ponderación
Cilindro - Embolo		1	1	3	0.500
Husillo simple	0		1	2	0.333
Husillo doble	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

El sistema cilindro embolo resulta ser de fácil fabricación con herramientas convencionales ya que no se requiere de roscados helicoidales ni cavidades extras que poseen los husillos, con menos partes móviles.

i) Criterio 4: Facilidad de automatización

TABLA XVIII. Facilidad de automatización.

Alternativa	Cilindro - Embolo	Husillo simple	Husillo doble	Σ+1	Ponderación
Cilindro - Embolo		1	1	3	0.500
Husillo simple	0		1	2	0.333
Husillo doble	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

La facilidad de automatización es un criterio importante a considerar, obteniendo que el mecanismo cilindro embolo es el más sencillo desde su construcción y su automatización, su movimiento lineal se puede operar mediante actuadores neumáticos.

j) Criterio 5: Facilidad de mantenimiento y vida útil

TABLA XIX. Facilidad de mantenimiento y vida útil.

Alternativa	Cilindro - Embolo	Husillo simple	Husillo doble	Σ+1	Ponderación
Cilindro - Embolo		1	1	3	0.500
Husillo simple	0		1	2	0.333
Husillo doble	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

Según la facilidad de mantenimiento el mecanismo cilindro - embolo posee menos partes móviles las cuales presentan desgaste, puede ser desmontado fácilmente para limpieza y mantenimiento preventivo.

Finalmente la puntuación global

TABLA XX. Resultado total para la selección del mecanismo de inyección.

Alternativa	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Σ+1	Ponderación
Cilindro - Embolo	0.1389	0.1333	0.0667	0.0667	0.0667	1.3889	0.3681
Husillo simple	0.1389	0.0889	0.0444	0.0444	0.0444	1.333	0.3403
Husillo doble	0.0556	0.0444	0.0222	0.0222	0.0222	1.2778	0.2917
					Total	4.00	1.00

Considerando varios criterios como la presión de inyección requerida, la facilidad de fabricación, facilidad de automatización y el mantenimiento y vida útil se selecciona el mecanismo cilindro - embolo como la mejor opción para el sistema de fundición de plástico.

3.2.3. Sistema de cerrado

Para el sistema de cerrado las opciones disponibles son:

- Cierre mecánico (Rodillera simple)
- Actuador neumático
- Actuador hidráulico

Con los siguientes criterios a ser considerados.

- Criterio 1: Fuerza de cierre requerida
- Criterio 2: Disponibilidad el producto en el mercado local
- Criterio 3: Bajo costo de implementación
- Criterio 4: Espacio requerido
- Criterio 5: Facilidad de mantenimiento y vida útil

Jerarquización de los criterios

TABLA XXI. Valoración para cada criterio para el cierre.

Criterios	1	2	3	4	5	Σ+1	Ponderación
1		1	1	1	1	5	0.333
2	0		1	1	1	4	0.267
3	0	0		1	1	3	0.200
4	0	0	0		1	2	0.133
5	0	0	0	0		1	0.067
				Total		15	1.000

Evaluación de las alternativas por cada criterio.

k) Criterio 1: Fuerza de cierre requerida

TABLA XXII. Fuerza de cierre requerida

Alternativa	Cierre mecánico (Rodillera simple)	Actuador neumático	Actuador hidráulico	Σ+1	Ponderación
Cierre mecánico (Rodillera simple)		0	0.5	1.5	0.250
Actuador neumático	1		1	3	0.500
Actuador hidráulico	0.5	0		1.5	0.250
			Total	6	1.00

Según la fuerza de cierre requerida, los sistemas hidráulicos son los que mayor fuerza generan, seguidos de los mecánicos o de rodillera, la desventaja de estos es su excesiva fuerza y cantidad de componentes, un actuador neumático genera la fuerza suficiente para la operación.

l) Criterio 2: Disponibilidad el producto en el mercado local

TABLA XXIII. Disponibilidad del producto en el mercado local.

Alternativa	Cierre mecánico (Rodillera simple)	Actuador neumático	Actuador hidráulico	Σ+1	Ponderación
Cierre mecánico (Rodillera simple)		0	0	1	0.167
Actuador neumático	1		0.5	2.5	0.417
Actuador hidráulico	1	0.5		2.5	0.417
			Total	6	1.00

Los actuadores neumáticos e hidráulicos se encuentran sin ningún problema en el mercado local, sin embargo el sistema de cerrado de rodillera simple es necesario su construcción ya que dependerá del modelo y tipo de máquina.

m) Criterio 3: Bajo costo de implementación

TABLA XXIV. Bajo costo de implementación.

Alternativa	Cierre mecánico (Rodillera simple)	Actuador neumático	Actuador hidráulico	Σ+1	Ponderación
Cierre mecánico (Rodillera simple)		0	0.5	1.5	0.250
Actuador neumático	1		1	3	0.500
Actuador hidráulico	0.5	0		1.5	0.250
			Total	6	1.00

El costo de implementación resulta muy bajo si analizamos el actuador neumático debido a que es más simple y no requiere de componentes adicionales para su funcionamiento como bombas, cuenta con un sin número de accesorios para el uso en bajo precio.

n) Criterio 4: Poco espacio requerido

TABLA XXV. Poco espacio requerido.

Alternativa	Cierre mecánico (Rodillera simple)	Actuador neumático	Actuador hidráulico	Σ+1	Ponderación
Cierre mecánico (Rodillera simple)		0.5	1	2.5	0.417
Actuador neumático	0.5		1	2.5	0.417
Actuador hidráulico	0	0		1	0.167
			Total	6	1.00

Los actuadores neumáticos son compactos y transmiten un movimiento lineal sin la necesidad de mecanismos adicionales, no se requiere tanques, bombas o válvulas reduciendo el peso y tamaño de la máquina.

o) Criterio 5: Facilidad de mantenimiento y vida útil

TABLA XXVI. Facilidad de mantenimiento y vida útil.

Alternativa	Cierre mecánico (Rodillera simple)	Actuador neumático	Actuador hidráulico	Σ+1	Ponderación
Cierre mecánico (Rodillera simple)		0	0.5	1.5	0.250
Actuador neumático	1		1	3	0.500
Actuador hidráulico	0.5	0		1.5	0.250
			Total	6	1.00

El actuador neumático está sometido a menos movimiento y menor desgaste, con un mantenimiento limitado a lubricación y revisión de existencia de fugas de aire, se elimina el riesgo de fugas de fluido (aceite) o de desgaste excesivo en los puntos de pivote.

Finalmente la puntuación global

TABLA XXVII. Resultado total para la selección del mecanismo de cierre.

Alternativa	Criterio 1	Criterio 2	Criterio 3	Criterio 4	Criterio 5	Σ+1	Ponderación
Cierre mecánico (Rodillera simple)	0.0833	0.0444	0.0500	0.0556	0.0167	1.2500	0.3125
Actuador neumático	0.1667	0.1111	0.1000	0.0556	0.0333	1.4667	0.3667
Actuador hidráulico	0.0833	0.1111	0.0500	0.0222	0.0167	1.2833	0.3208
					Total	4.00	1.00

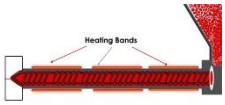
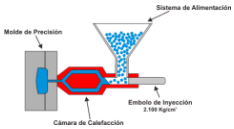
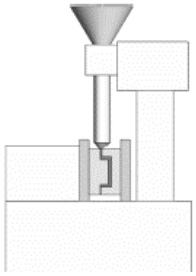
Considerando varios criterios como la fuerza de cierre requerida, la disponibilidad del producto en el mercado, el costo de implementación, el espacio requerido se selecciona el actuador neumático como la mejor opción para el sistema de cerrado de los moldes.

3.3. Estructura de la máquina

Con la matriz de decisiones propuesto por Riba [29] se seleccionan las alternativas a implementar para el diseño final de la máquina de inyección y su posterior construcción como se muestra a continuación.

TABLA XXVIII.
Alternativas seleccionadas para la implementación

Sistema	Alternativa	Observación
Sistema de alimentación de la materia prima	Tolva cilíndrica 	Construido

Sistema de fundición	Fundición por resistencia (bandas) eléctricas 	Existente
Sistema de inyección	Cilindro embolo 	Existente - Modificado
Sistema de cierre	Actuador neumático 	Construido
Disposición de inyección	Cierre horizontal e inyección vertical 	Existente - Modificado

Fuente: [Autor]

3.3.1. Parámetros de operación de la máquina

Se debe tomar en consideración los siguientes parámetros.

Material de trabajo: Escala A → Polímeros de baja viscosidad, PA, PE (HDPE), PP, PS

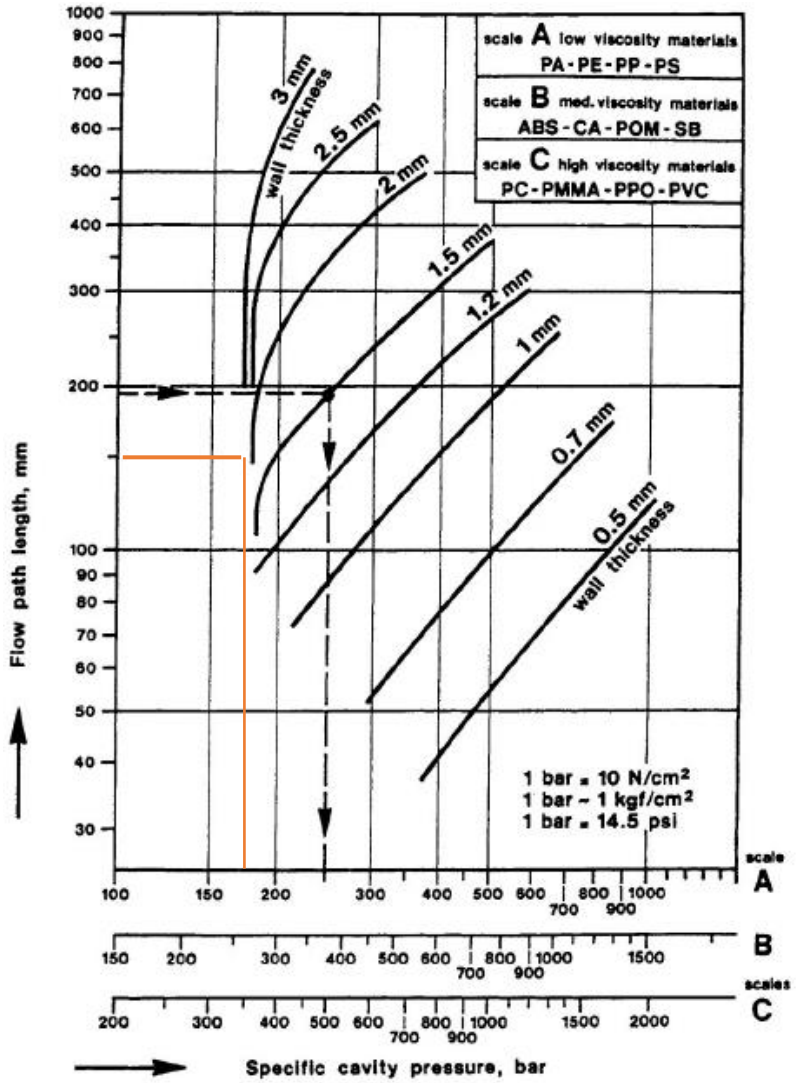
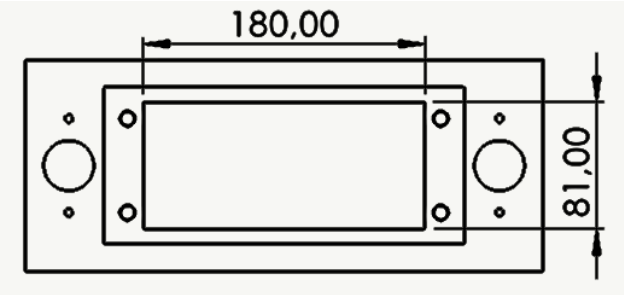


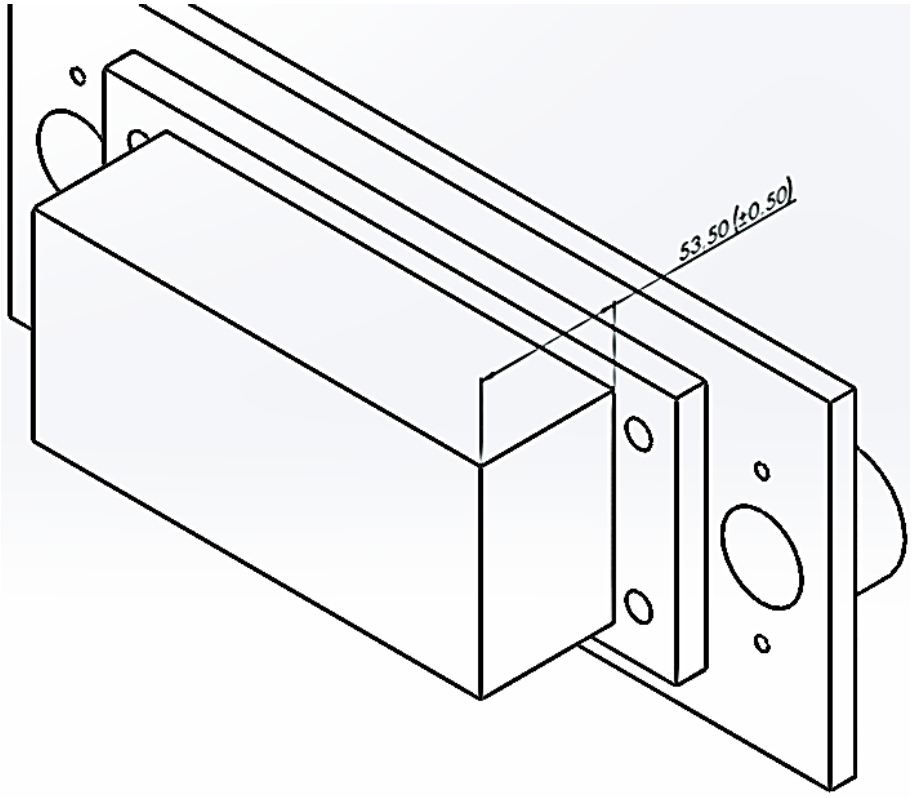
Fig 22. Longitud de recorrido vs espesor [30]

Tamaño máximo de molde: El espacio disponible limita a la construcción de moldes de las siguientes medidas

Dimensiones: 180x81x107 mm



a)



b)

Fig 23. a) Dimensiones máximas para los moldes, b) espesor máximo para los moldes.

Fuente: [Autor]

Volumen de inyección: También conocido como volumen de disparo es la cantidad de material capaz de expulsar por a boquilla en un solo disparo.

$$S_v = L_e * A_c$$

En donde:

$S_v =$ volumen de disparo disponible por la máquina [cm^3]

$L_e = Longitud\ efectiva\ de\ cilindro\ de\ plastificación$

$A_c = Área\ del\ cilindro\ de\ plastificación$

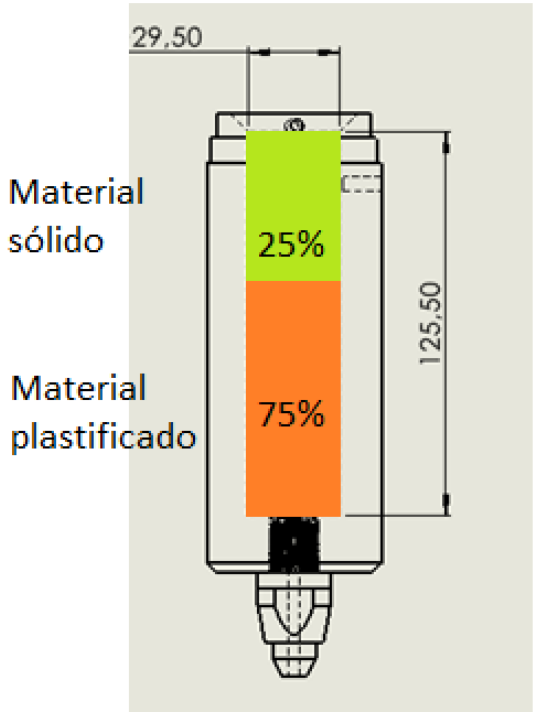


Fig 24. Capacidad de plastificación del cañón.

Fuente: [Autor]

$L_t = 125.50\ mm$

$d = 29.5\ mm$

Longitud efectiva de plastificación

$$L_e = 75\% * L_t$$

$$L_e = 75\% * 125.50\ mm$$

$$L_e = 94.125\ mm$$

Área transversal del cilindro

$$A_c = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_c = \frac{\pi * (29.5mm)^2}{4}$$

$$A_c = 683.492\ mm^2$$

3.3.2. Volumen máximo teórico de disparo

$$S_v = L_e * A_c$$

$$S_v = 94.125\ mm * 683.492\ mm^2$$

$$S_v = 64333.755\ mm^3$$

$$S_v = 64.33\ cm^3$$

3.3.3. Parámetros de inyección

3.3.4. Fuerza de cierre

Cálculo para la selección de actuador neumático

$$P = \frac{F}{A}$$

En donde:

P → Presión entregada por un compresor o línea de aire.

F → Fuerza.

A → Área del embolo del actuador.

d → Diámetro del embolo del actuador. Anexo [C]

$$A = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A = \frac{\pi * (63mm)^2}{4}$$

$$A = 3117.245\ mm^2$$

Cálculo de la fuerza máxima entregada por el actuador neumático

$$P = 12\ bar \rightarrow 1.2\ MPa$$

$$F = 1.2\ MPa * 3117.245\ mm^2$$

$$F = 3740.694\ N$$

3.3.5. Presión de inyección

La presión de inyección se ve limitada a la que entrega un compresor de aire, se recomienda una presión de inyección mínima por encima de los 8 bar para cumplir con los parámetros de trabajo.

$$P_{iny} = 8\ bar$$

$$P_{iny} = 0.8\ MPa$$

$$P_{iny} = 116\ psi$$

3.3.6. Selección de actuador neumático

Factor de carga

Purpose of operation		Load factor η
Static operation (Clamping, Low-speed vise crimping, etc.)		0.7 or less (70% or less)
Dynamic operation	Horizontal movement of load on guide	1 or less (100% or less)
	Vertical and horizontal movement of the load	0.5 or less (50% or less) Note)

Fig 25. Factor de carga para actuadores neumáticos [36]

Dirección de la fuerza utilizada en el cilindro

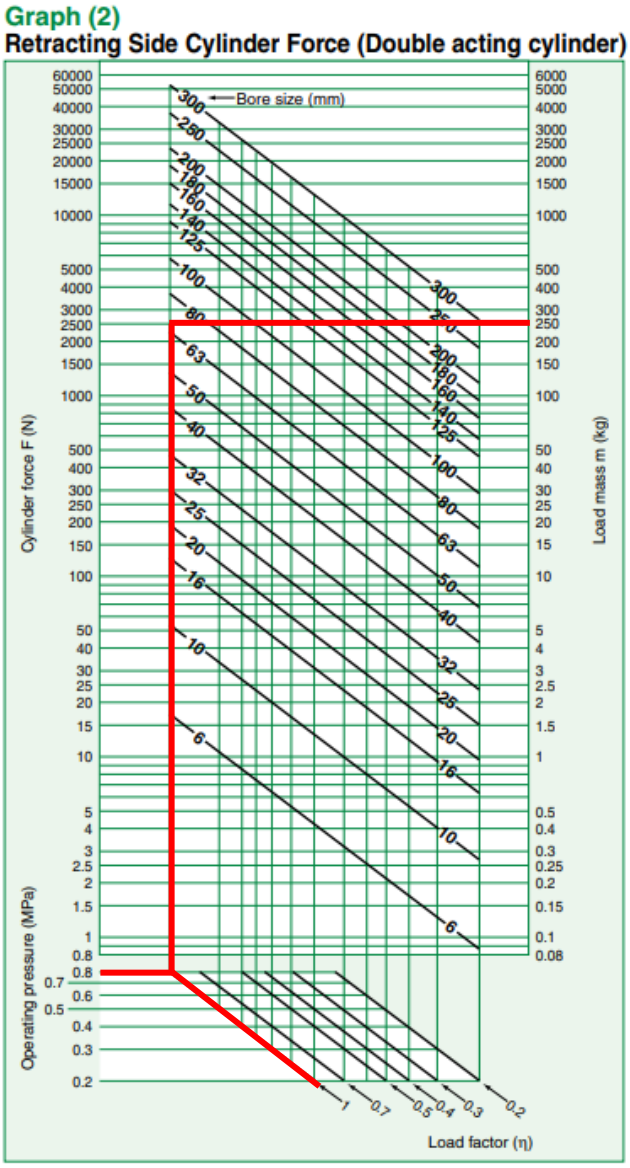


Fig 26. Dirección de fuerza para actuadores de doble efecto [36]

Amortiguación neumatica del cilindro neumático

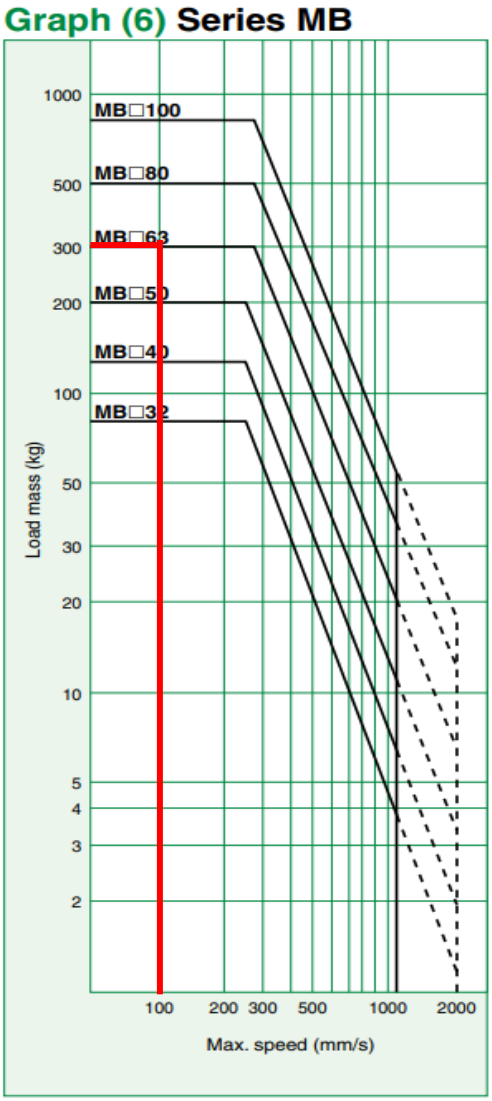


Fig 27. Amortiguación para cilindros neumáticos Serie MB [36]

Modo de operación del cilindro neumático

Mounting style			Nominal symbol	Operating pressure	Maximum stroke that can be used according to buckling strength															
Mounting bracket diagram					MB	MB, CA2					CS1							CS2		
				(MPa)	32	40	50	63	80	100	125	140	160	180	200	250	300	125	140	160
Foot: L	Rod side flange: F	Head side flange: G	L F	0.3	71	81	102	79	98	114	131	117	126	141	158	182	206	103	92	113
				0.5	56	63	78	61	75	88	101	89	96	108	121	140	158	79	70	86
				0.7	46	52	65	50	62	73	84	74	80	89	101	115	131	66	58	72
			G	0.3	31	35	46	34	42	50	57	49	53	60	68	79	90	45	38	47
				0.5	23	26	34	25	31	37	42	35	38	44	50	58	66	33	27	34
				0.7	19	21	27	19	24	29	34	28	30	34	40	45	53	26	22	27

Fig 28. Tipo de montaje del actuador neumático [36]

Consumo de aire para un cilindro

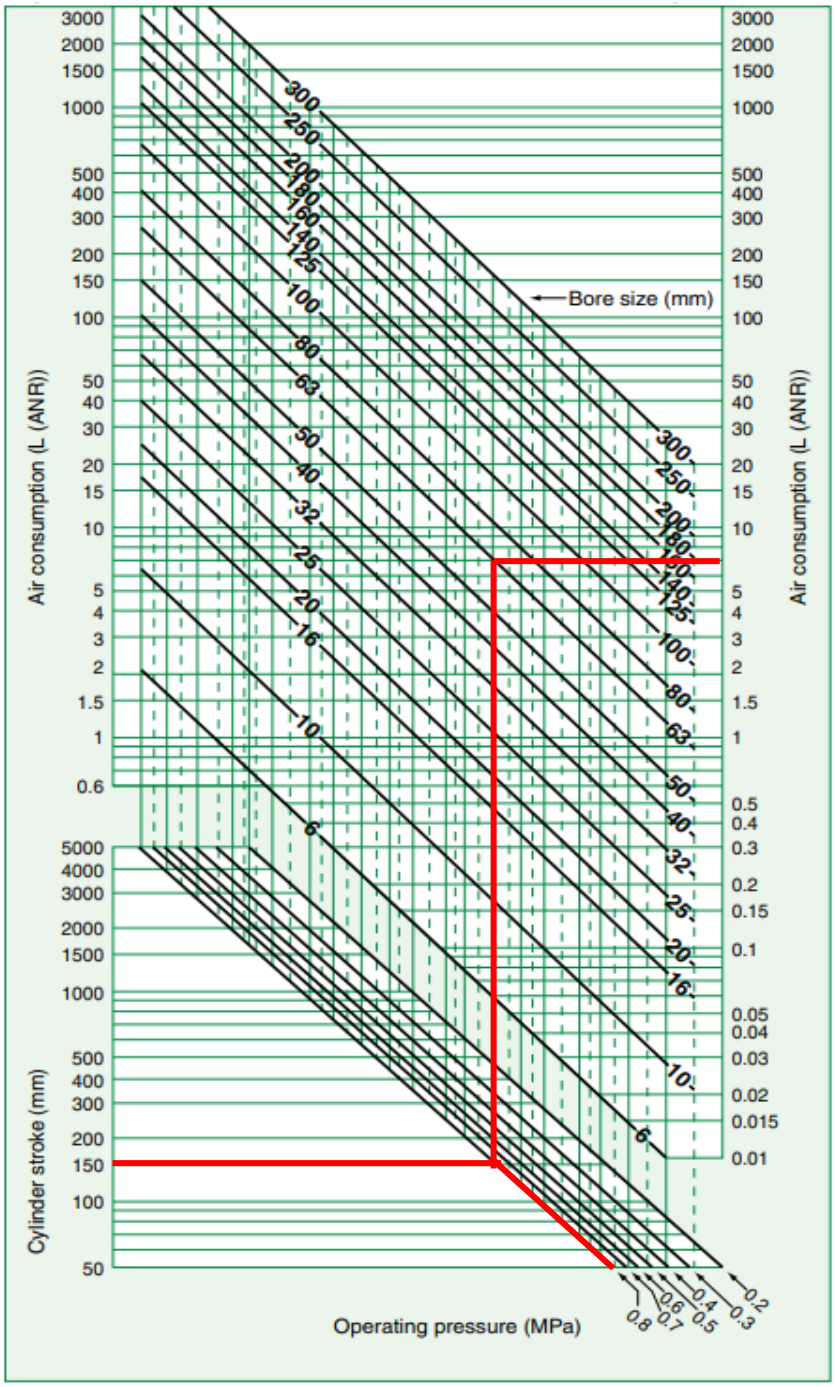


Fig 29. Consumo de aire para el actuador neumático [36]

Consumo de aire de la tubería

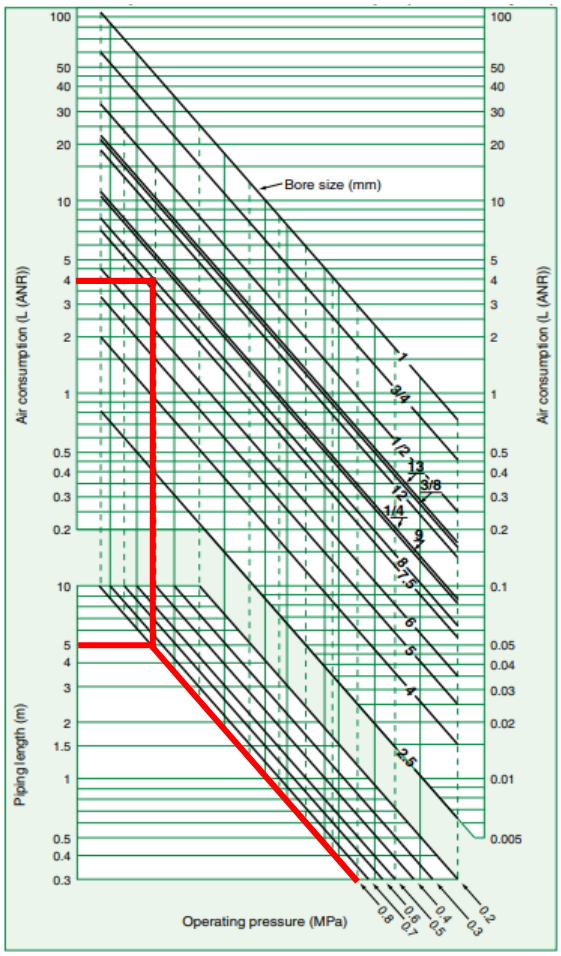


Fig 30. Consumo de aire para tubería de 8 mm [36]

TABLA XXIX. Datos del actuador neumático

Factor de carga	1 → Movimiento horizontal sobre guías	
Presión de trabajo	0.8 MPa → 8 bar	
Diámetro del cilindro neumático Serie MB	$\emptyset = 63\ mm$	
Velocidad de operación cilindros Serie MB	100 mm/s	
Carrera máxima a utilizar Serie MB	Montaje tipo F $s_F = 50\ mm$	Montaje tipo G $s_G = 19\ mm$
Consumo total de aire	2.5 l/min	

Fuente: [Autor]

3.3.7. Temperatura de trabajo

Rango de regulación del control de temperatura va de 0-400 °C.

La temperatura de trabajo se selecciona dependiendo del material polímero a inyectar, estas temperaturas son consideradas de referencia ya que en la práctica se debe calibrar varias veces la temperatura hasta conseguir una pieza de buena calidad (sin defectos superficiales).

TABLA XXX.
Temperatura de procesamiento de polímeros termoplásticos [30]

	Processing Temperature	
Material	**°C**	**°F**
ABS	180 - 240	356 - 464
Acetal	185 - 225	365 - 437
Acrylic	180 - 250	356 - 482
Nylon	260 - 290	500 - 554
Polycarbonate	280 - 310	536 - 590
LDPE	160 - 240	320 - 464
HDPE	200 - 280	392 - 536
Polypropylene	200 - 300	392- 572
Polystyrene	180 - 260	356 - 500
PVC, rigid	160 - 180	320 - 365

3.4. Diseño de los elementos mecánicos de la máquina

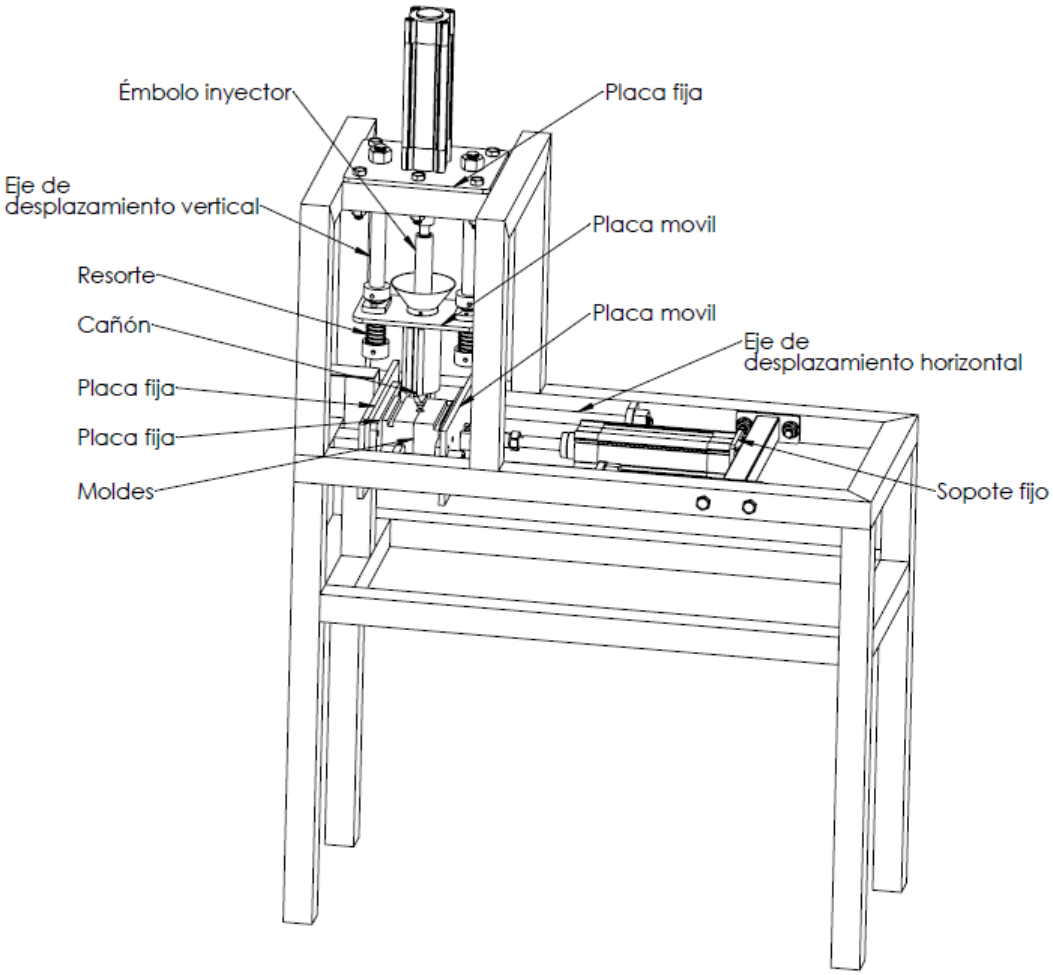


Fig 31. Elementos mecánicos de la máquina de inyección.

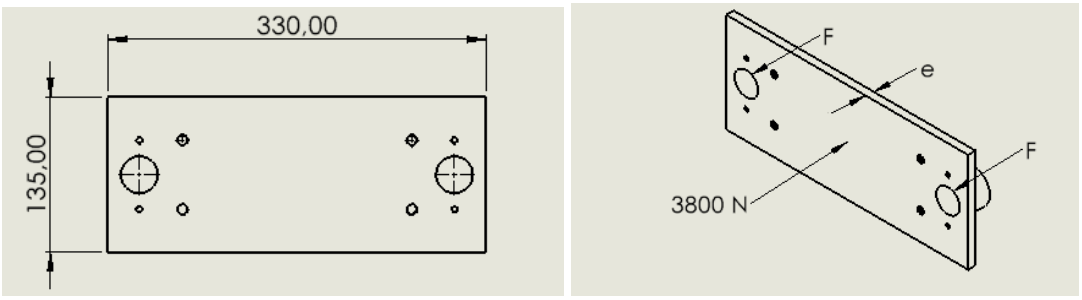
Fuente: [Autor]

3.4.1. Diseño de las placa fijas y móviles

Es necesario considerar el espacio disponible de la estructura y en área de trabajo para la fijación de los moldes y manipulación de piezas moldeadas. Para la construcción del sistema de inyección y cerrado se utilizan 6 placas (3 placas fijas y 3 placas móviles) y un soporte fijo. Se considera la placa móvil la más crítica debido a que soporta directamente la fuerza que ejerce el actuador neumático.

Se calcula el espesor necesario de las placas para que no fallen en el funcionamiento conociendo sus dimensiones y material a utilizar.

Placa móvil horizontal



a) b)

Fig 32. a) Dimensiones de la placa móvil horizontal b) Cargas y espesor

Fuente: [Autor]

Placa móvil de cañón

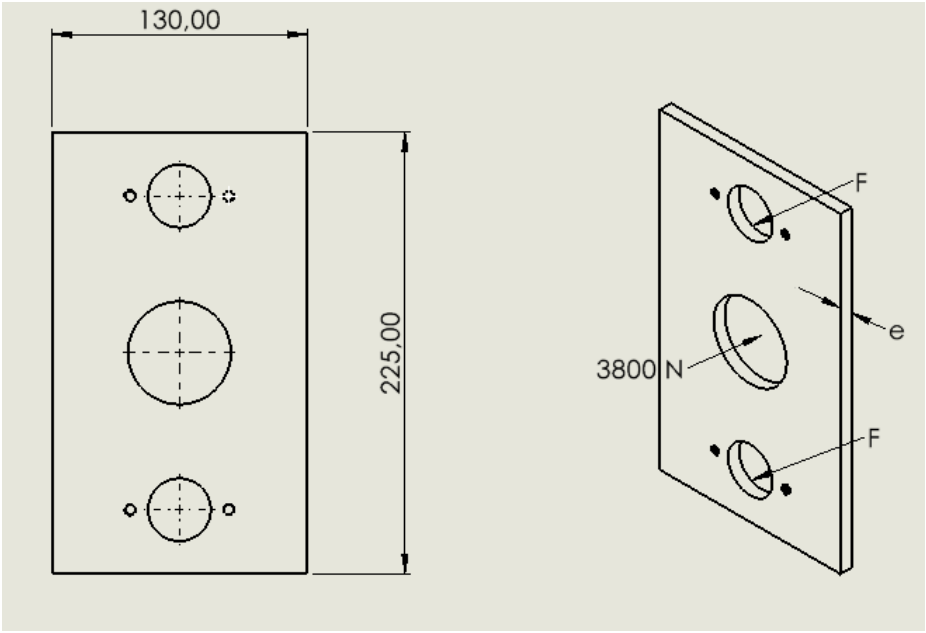


Fig 33. Dimensiones y cargas en placa móvil de cañón.

Fuente: [Autor]

Placa de fijación

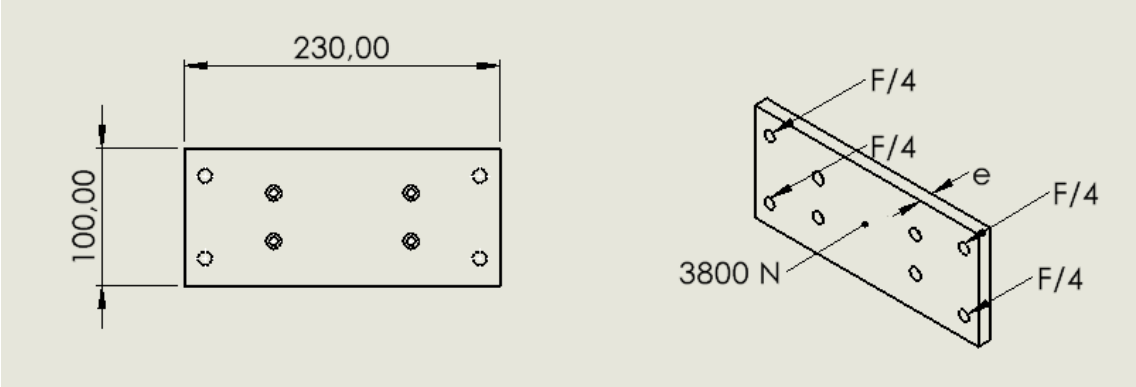


Fig 34. Dimensiones y cargas en placa de fijación.

Fuente: [Autor]

Placa de pistón de inyección

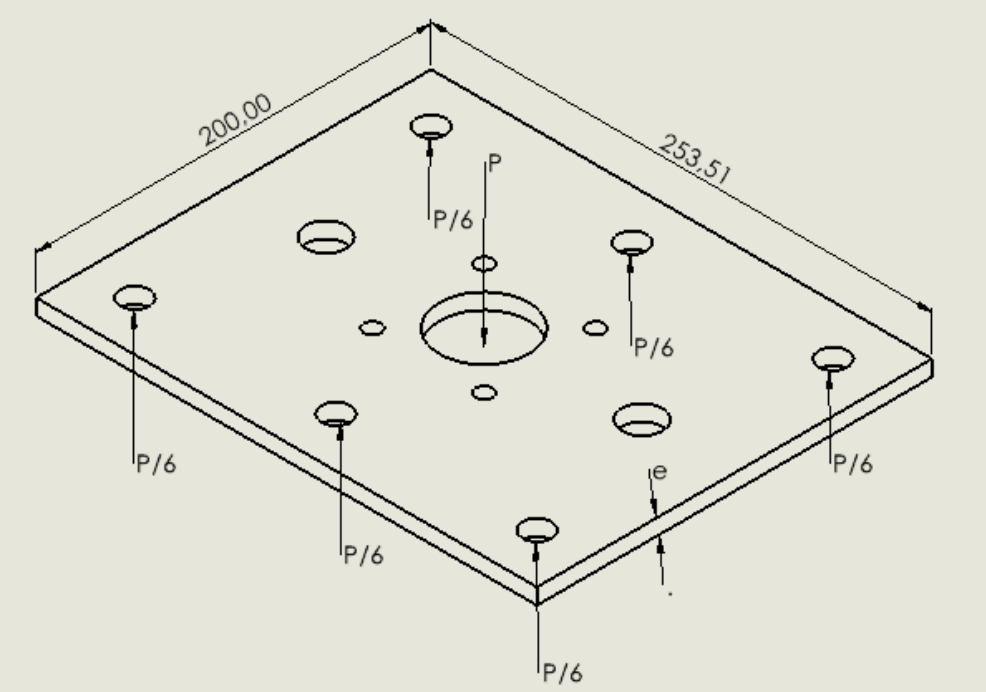


Fig 35. Dimensiones y cargas en placa de pistón de inyección.

Fuente: [Autor]

Se diseñan las placas fijas y móviles considerando la fuerza máxima que ejerce el actuador neumático que es de 3800 N, se consideran las placas como vigas simplemente apoyadas con un esfuerzo permisible del material ASTM A36 de 250 MPa.

Momento máximo según el [Anexo 2.9] tenemos:

$$M_0 = \frac{F * x}{2}$$

$$M_0 = \frac{3800\ N * 165mm}{2}$$

$$M_0 = 313500\ N.mm$$

Según la ecuación

$$\sigma = \frac{M}{S}$$

Donde:

$\sigma = Esfuerzo\ permisible\ (acero\ ASTM - A36 = 250\ MPa)$

$M = Momento\ máximo$

$S = Módulo\ de\ sección\ para\ secciones\ rectangulares: S = \frac{b * h^2}{6}$

$$250MPa = \frac{313.5\ N.m}{\frac{0.135 * h^2}{6}}$$

$$h_0 = 7.465\ mm$$

Cálculo para las demás placas siguiendo el mismo procedimiento

$M_1 = 213750\ N * mm \rightarrow h_1 = 6.282\ mm$

$M_2 = 218500\ N * mm \rightarrow h_2 = 7.242\ mm$

$M_3 = 190000\ N * mm \rightarrow h_3 = 4.241\ mm$

Se toma un espesor mínimo de diseño de 8 mm, para todas las placa móviles y fijas para dar robustez a la máquina de inyección de plástico.

Diseño a fatiga de la placa móvil de cañón

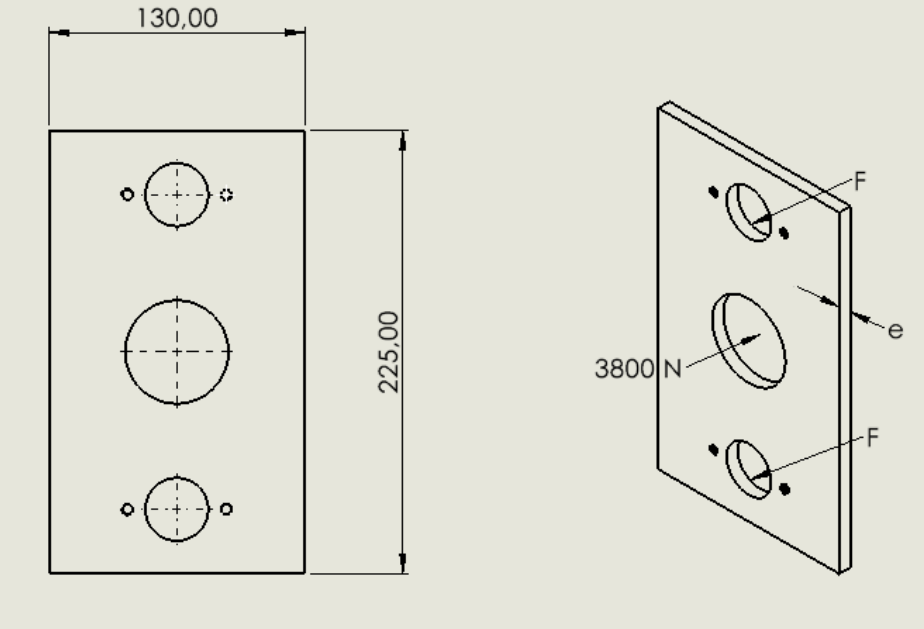


Fig.33 Dimensiones y cargas en placa móvil de cañón.

Fuente: [Autor]

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e´$$

En donde:

S_e: $Limite\ de\ resistencia\ a\ la\ fatiga\ [MPa]$

k_a: $Factor\ de\ modificacion\ por\ condicion\ superficial$

k_b: $Factor\ de\ modificacion\ por\ el\ tamaño$

k_c: $Factor\ de\ modificacion\ por\ la\ carga$

k_d: $Factor\ de\ modificacion\ por\ la\ temperatura$

k_e: $Factor\ de\ confiabilidad$

k_f: $Factor\ de\ modificacion\ por\ efectos\ varios$

$S_e´$: $Limite\ de\ resistencia\ a\ la\ fatiga\ en\ viga\ rotatoria$

$S_y = 250\ MPa \rightarrow Acero\ ASTM\ A36$

$S_{ut} = 400\ MPa \rightarrow Acero\ ASTM\ A36$

Resultado de factores

$k_a = 0.9217$

$k_b = 0.862$

$$d_e = 0.808\sqrt{h * b} \rightarrow Sección\ rectangular$$

$k_c = 1$

$k_d = 1$

$k_e = 1$

$k_f = 1$

$S_e{}' = 200\ MPa$

$$S_e = (0.9217)(0.862)(1)(1)(1)(1)(200)$$

$$S_e = 158.90\ MPa$$

Concentrador de esfuerzos en el agujero

$$\frac{d}{h} \geq 0.25$$

$$5.3 \geq 0.25$$

$$A = 1.80820$$

$$b = -0.66702$$

$$k_t = Ae^{[b(d/W)]}$$

$$k_t = 1.80820e^{[-0.66702(53/130)]}$$

$$k_t = 1.3776$$

Cálculo de la sensibilidad de la muesca

$\sqrt{a} = 0.246 - 3.08(10^{-3})S_{ut} + 1.51(10^{-5})S_{ut}^2 - 2.67(10^{-8})S_{ut}^3$

$\sqrt{a} = -0.2788$

$\sqrt{r} = \sqrt{0.394}$

$\sqrt{r} = 0.627$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

$q = 1.8$

$K_f = 1 + q(k_t - 1)$

$K_f = 1.6785$

Para el diseño a vida infinita utilizamos la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

En donde:

σ_a: $Esfuerzo\ alternante\ [MPa]$

σ_m: $Esfuerzo\ medio\ [MPa]$

n: $Factor\ de\ seguridad$

σ: $Esfuerzo\ maximo\ [MPa]$

$$\sigma = K_f * \sigma_0$$

Cálculo para diseño a fatiga

$\sigma_a = \frac{\sigma}{2} = 84.30\ MPa$

$\sigma_m = \sigma_a = 84.30\ MPa$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{84.30}{158.90} + \frac{84.30}{400} = \frac{1}{n}$$

$$n = 1.349$$

Diseño de las columnas guías (horizontal) y columnas de desplazamiento (vertical)

3.4.2. Cálculo del peso total de los elementos ensamblados

TABLA XXXI.
Peso de los elementos del sistema de inyección y cierre

Sistema de inyección	
Componente	Peso [kg]
Cañón	2.20
Tolva de alimentación	0.11
Placa móvil de cañón	1.6
Anillo de fijación superior	0.18
Anillo de fijación inferior	0.19
Total	4.28
Fuerza [N]	41.98

Sistema de cerrado	
Placa móvil	3.88
Placa de fijación	2.10
Molde (mitad)	1.749
Total	7.729
Fuerza [N]	75.82

Fuente: [Autor]

3.4.3. Diseño de las columnas guías (horizontal)

Sabiendo que están sometidas a un esfuerzo de flexión por la carga vertical que ejerce el pistón de inyección y por el peso propio de los elementos, y a un esfuerzo de tracción debido a la carga horizontal que ejerce el pistón para el cerrado de los moldes.

Considerando los ejes como vigas simplemente apoyadas

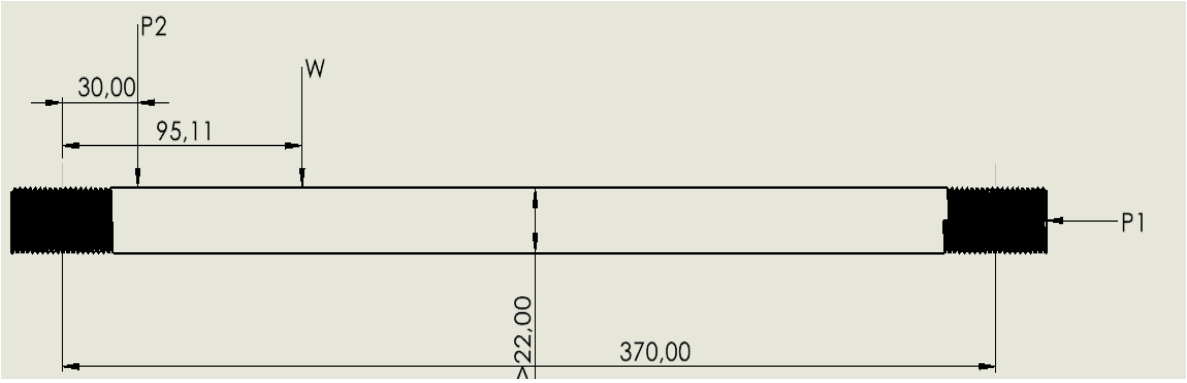


Fig 36. Cargas actuantes en columnas guía.

Fuente: [Autor]

Datos

$L = 370\ mm$

$d = 22\ mm$

$P_1 = 1900\ N$

$P_2 = 1900\ N$

$W = \frac{75.82}{2} = 37.91\ N$

En donde:

$L: Longitud\ de\ la\ columna\ entre\ apoyos\ [mm]$

$P_1: Carga\ axial\ producida\ por\ el\ cilindro\ de\ cerrado\ (repartido\ entre\ las\ 2\ columnas)[N]$

$P_2: Carga\ puntual\ producida\ por\ el\ cilindro\ de\ inyección(repartido\ entre\ las\ 2\ columnas)\ [N]$

$W: Peso\ de\ los\ elementos\ (repartido\ entre\ las\ 2\ columnas)\ [N]$

Diagrama de fuerza cortante



Fig 37. Diagrama de fuerza cortante en columnas guía.

Fuente: [Autor]

Diagrama de esfuerzo flector

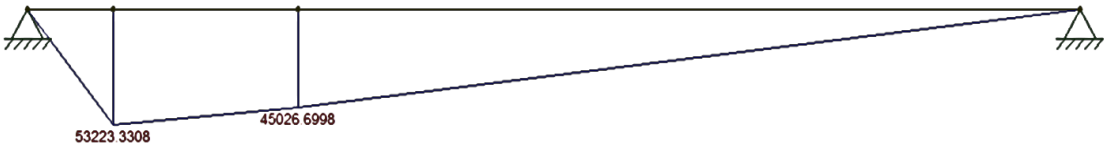


Fig 38. Diagrama de momento flector en columnas guía.

Fuente: [Autor]

Según la ecuación

$$\sigma = \frac{M * c}{I}$$

Donde:

$\sigma = Esfuerzo\ a\ flexion\ [MPa]$

$M = Momento\ máximo\ [Nmm]$

$I = Inercia\ para\ secciones\ curculares: I = \frac{\pi * d^4}{64}\ [mm^4]$

$c = Eje\ neutro\ para\ secciones\ curculares\ c = d/2$

$$I = \frac{\pi * d^4}{64}$$

$$I = \frac{\pi * (22)^4}{64}$$

$$I = 11499.014\ mm^4$$

$$c = d/2$$

$$c = 11\ mm$$

$$\sigma_f = \frac{53223.3298\ Nmm * (11mm)}{11499.014\ mm^4}$$

$$\sigma_f = 50.913\ MPa$$

Cálculo de esfuerzo a tracción

$$A_\circ = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_\circ = 380.132\ mm^2$$

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

$$\sigma_a = \frac{1900\ N}{380.132\ mm^2}$$

$$\sigma_a = 4.998\ MPa$$

Datos del material

AISI 1018 HR

$S_y = 220\ MPa$

$S_{ut} = 400\ MPa$

Esfuerzo total máximo

$$\sigma_t = \sigma_f + \sigma_a$$

Según el esfuerzo de Von Mises

$$\sigma_t = \sigma_f + \sigma_a$$

$$\sigma_t = 55.911\ MPa$$

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma' = \sigma_t$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

$$n = \frac{220\ MPa}{55.91\ MPa}$$

$$n = 3.934$$

Diseño a fatiga con esfuerzos combinados

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

Resultado de factores

$k_a = 0.922$

$k_b = 0.891$

$k_c = 1$

$k_d = 1$

$k_e = 1$

$k_f = 1$

$S_e' = 200\ MPa$

$$S_e = (0.922)(0.891)(1)(1)(1)(1)(200)$$

$$S_e = 164.3\ MPa$$

Utilizando la ecuación de Goodman modificado

$$\frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\sigma_a' = \left[\left[\left(K_f * \sigma_{af} + K_f * \frac{\sigma_{aa}}{0.85}\right)^2 + 3\left(K_{fs} * \tau_{at}\right)^2\right]\right]^{1/2}$$

$$\sigma_m{}' = \left[\left[\left(K_f * \sigma_{mf} + K_f * \frac{\sigma_{ma}}{0.85}\right)^2 + 3\left(K_{fs} * \tau_{mt}\right)^2\right]\right]^{1/2}$$

En donde:

$\sigma_a{}'$: $Esfuerzo\ combinado\ alternante\ [MPa]$

$\sigma_m{}'$: $Esfuerzo\ combinado\ medio\ [MPa]$

K_f: $Concentrador\ de\ esfuerzo, sensibilidad\ en\ la\ muesca$

σ_{af}: $Esfuerzo\ alternante\ a\ flexion\ [MPa]$

σ_{aa}: $Esfuerzo\ alternante\ a\ traccion\ [MPa]$

τ_{at}: $Esfuerzo\ alternante\ a\ torsion\ [MPa]$

σ_{mf}: $Esfuerzo\ medio\ a\ flexion\ [MPa]$

σ_{ma}: $Esfuerzo\ medio\ a\ traccion\ [MPa]$

τ_{ma}: $Esfuerzo\ medio\ a\ torsion\ [MPa]$

Se reduce a:

$$\sigma_a{}' = \sigma_m{}' = \left[\left[\left(\sigma_{af} + \frac{\sigma_{aa}}{0.85}\right)^2\right]\right]^{1/2}$$

$$\sigma_a{}' = \sigma_m{}' = \left[\left[\left(25.456 + \frac{2.499}{0.85}\right)^2\right]\right]^{1/2}$$

$$\sigma_a{}' = \sigma_m{}' = 28.396\ MPa$$

$$w$$

$$n = 4.10$$

3.4.4. Diseño de las columnas de desplazamiento (vertical)

Sabiendo que están sometidas a un esfuerzo de tracción por la carga vertical que ejerce el pistón de inyección y por el peso propio de los elementos.

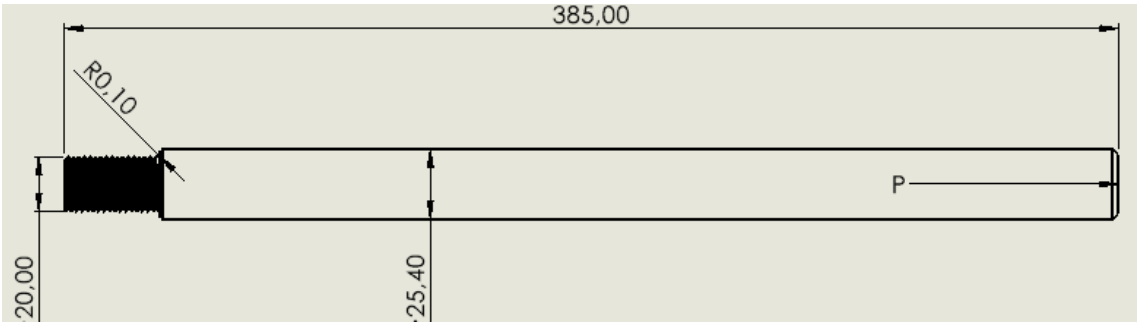


Fig 39. Cargas actuantes en columnas de desplazamiento.

Fuente: [Autor]

Datos

$L = 385\ mm$

$d = 20\ mm$

$D = 25.4\ mm$

$P = 1900\ N$

$W = \frac{41.98}{2} = 20.99\ N$

En donde:

$L: Longitud\ de\ la\ columna\ [mm]$

$P: Carga\ axial\ producida\ por\ el\ cilindro\ de\ inyección\ (repartido\ entre\ las\ 2\ columnas)[N]$

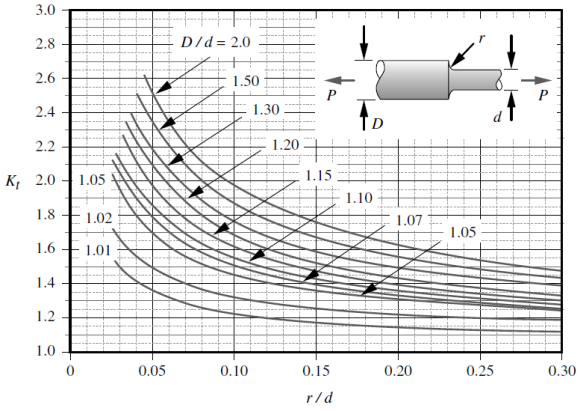
$W: Peso\ de\ los\ elementos\ (repartido\ entre\ las\ 2\ columnas)\ [N]$

$k_t: Concentrador\ de\ esfuerzos\ en\ el\ cambio\ de\ sección$

Cálculo de esfuerzo a tracción

$$A_\circ = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_\circ = 314.159\ mm^2$$



$K_t \equiv A\left(\frac{r}{d}\right)^b$

donde:

D / d	A	b
2.00	1.014 70	–0.300 35
1.50	0.999 57	–0.282 21
1.30	0.996 82	–0.257 51
1.20	0.962 72	–0.255 27
1.15	0.980 84	–0.224 85
1.10	0.984 50	–0.208 18
1.07	0.984 98	–0.195 48
1.05	1.004 80	–0.170 76
1.02	1.012 20	–0.124 74
1.01	0.984 13	–0.104 74

Fig 40. Factor geométrico de concentrador de esfuerzos con carga axial [31]

$$\frac{D}{d} = \frac{25.4}{20} = 1.27$$

Interpolando:

$$A = 0.98659$$

$$b = -0.256838$$

$$k_t = A\left(\frac{r}{d}\right)^b$$

$$k_t = 0.98659\left(\frac{0.1}{20}\right)^{-0.256838}$$

$$k_t = 3.847$$

$$\sigma = k_t \frac{F}{A}$$

$$\sigma_a = 3.847 * \frac{1900 + 20.99\ N}{314.159\ mm^2}$$

$$\sigma_a = 23.52\ MPa$$

Datos del material

AISI 1018 HR

$S_y = 220\ MPa$

$S_{ut} = 400\ MPa$

Según el esfuerzo de Von Mises

$$\sigma' = \frac{S_y}{n}$$

$$\sigma' = \sigma_a$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_a}$$

$$n = \frac{220\ MPa}{23.52\ MPa}$$

$$n = 9.35$$

Diseño a fatiga con esfuerzos combinados

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

Resultado de factores

$k_a = 0.922 \rightarrow Maquinado$

$k_b = 1 \rightarrow carga\ axial$

$k_c = 0.85$

$k_d = 1$

$k_e = 0.702$

$k_f = 1$

$S_e' = 200\ MPa$

$$S_e = (0.922)(1)(0.85)(1)(0.702)(1)(200)$$

$$S_e = 110.031\ MPa$$

Cálculo de la sensibilidad de la muesca

$\sqrt{a} = 0.246 - 3.08(10^{-3})S_{ut} + 1.51(10^{-5})S_{ut}^2 - 2.67(10^{-8})S_{ut}^3$

$\sqrt{a} = -0.2788$

$\sqrt{r} = \sqrt{0.004}$

$\sqrt{r} = 0.0632$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

$q = -0.29$

$K_f = 1 + q(k_t - 1)$

$K_f = 0.551$

Para el diseño a vida infinita utilizamos la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

En donde:

σ_a: $Esfuerzo\ alternante\ [MPa]$

σ_m: $Esfuerzo\ medio\ [MPa]$

n: $Factor\ de\ seguridad$

σ: $Esfuerzo\ maximo\ [MPa]$

$$\sigma = K_f * \sigma_0$$

Cálculo para diseño a fatiga

$\sigma_a = \frac{\sigma}{2} = 11.76\ MPa$

$\sigma_m = \sigma_a = 11.76\ MPa$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{11.76}{110.031} + \frac{11.76}{400} = \frac{1}{n}$$

$$n = 7.33$$

3.4.5. Diseño del embolo inyector

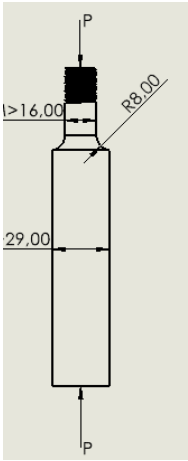


Fig 41. Cargas actuantes en el embolo inyector.

Fuente: [Autor]

$$\sigma = k_t \frac{P}{A}$$

En donde:

σ: $Esfuerzo\ de\ tracción\ [MPa]$

P: $Carga\ axial\ [N] \rightarrow 3800\ N$

A: $Área\ de\ la\ seccion\ transversal\ [mm^2]$

k_t: $Concentrador\ de\ esfuerzos\ en\ muesca$

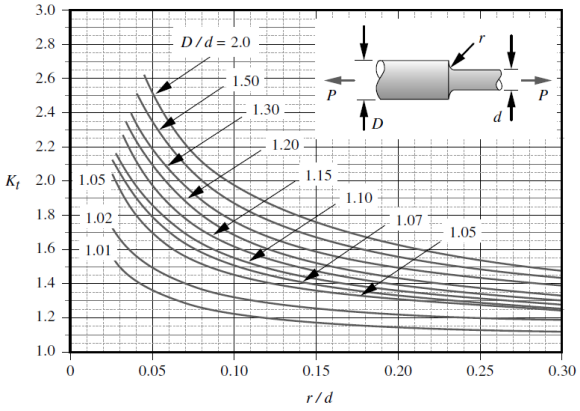
S_y: $Resistencia\ a\ la\ tensión \rightarrow AISI\ 1030\ recocido: 345\ MPa$

S_{ut}: $Resistencia\ a\ la\ fluencia \rightarrow AISI\ 1030\ recocido: 521\ MPa$

$$A_\circ = \frac{\pi * d^2}{4}$$

$$A_\circ = \frac{\pi * (16mm)^2}{4}$$

$$A_\circ = 201.062\ mm^2$$



$K_t \cong A\left(\frac{r}{d}\right)^b$

donde:

D / d	A	b
2.00	1.014 70	–0.300 35
1.50	0.999 57	–0.282 21
1.30	0.996 82	–0.257 51
1.20	0.962 72	–0.255 27
1.15	0.980 84	–0.224 85
1.10	0.984 50	–0.208 18
1.07	0.984 98	–0.195 48
1.05	1.004 80	–0.170 76
1.02	1.012 20	–0.124 74
1.01	0.984 13	–0.104 74

Fuente:[32]

$$\frac{D}{d} = \frac{29}{16} = 1.812$$

Interpolando:

$$A = 1.009011$$

$$b = -0.293529$$

$$k_t = A\left(\frac{r}{d}\right)^b$$

$$k_t = 1.009011\left(\frac{8}{16}\right)^{-0.293529}$$

$$k_t = 1.236$$

$$\sigma_0 = k_t \frac{P}{A_\circ}$$

$$\sigma_0 = 1.236 * \frac{3800\ N}{201.062\ mm^2}$$

$$\sigma_0 = 23.359\ MPa$$

Factor de seguridad

$$n = \frac{S_y}{\sigma_0}$$

$$n = \frac{345\ MPa}{23.359\ MPa}$$

$$n = 14.769$$

Diseño a fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e{}'$$

En donde:

S_e: $Limite\ de\ resistencia\ a\ la\ fatiga\ [MPa]$

k_a: $Factor\ de\ modificacion\ por\ condicion\ superficial$

k_b: $Factor\ de\ modificacion\ por\ el\ tamaño$

k_c: $Factor\ de\ modificacion\ por\ la\ carga$

k_d: $Factor\ de\ modificacion\ por\ la\ temperatura$

k_e: $Factor\ de\ confiabilidad$

k_f: $Factor\ de\ modificacion\ por\ efectos\ varios$

$S_e{}'$: $Limite\ de\ resistencia\ a\ la\ fatiga\ en\ viga\ rotatoria$

Resultado de factores

$k_a = 0.859$

$k_b = 1 \rightarrow Carga\ axial$

$k_c = 0.85 \rightarrow Carga\ axial$

$k_d = 1$

$k_e = 0.702 \rightarrow 99.99\%\ Confiabilidad$

$k_f = 1$

$S_e{}' = 260.5\ MPa$

$$S_e = (0.859)(1)(0.85)(1)(0.702)(1)(260.5)$$

$$S_e = 133.52\ MPa$$

Cálculo de la sensibilidad de la muesca

$$\sqrt{a} = 0.246 - 3.08(10^{-3})S_{ut} + 1.51(10^{-5})S_{ut}^2 - 2.67(10^{-8})S_{ut}^3$$

$$\sqrt{a} = -1.0359$$

$$\sqrt{r} = \sqrt{0.3149}$$

$$\sqrt{r} = 0.5612$$

$$q = \frac{1}{1 + \frac{\sqrt{a}}{\sqrt{r}}}$$

$q = -1.182$

$K_f = 1 + q(k_t - 1)$

$K_f = 0.721$

Para el diseño a vida infinita utilizamos la siguiente ecuación:

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

En donde:

σ_a: $Esfuerzo\ alternante\ [MPa]$

σ_m: $Esfuerzo\ medio\ [MPa]$

n: $Factor\ de\ seguridad$

σ: $Esfuerzo\ maximo\ [MPa]$

$$\sigma = K_f * \sigma_0$$

Cálculo para diseño a fatiga

$\sigma_a = \frac{\sigma}{2} = 16.842\ MPa$

$\sigma_m = \sigma_a = 16.842\ MPa$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{16.842}{133.52} + \frac{16.842}{521} = \frac{1}{n}$$

$$n = 6.31$$

Tolerancia del embolo por dilatación térmica

$$L_t = L_0[1 + (\phi * \Delta T)]$$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

En donde:

L_t: $Longitud\ total\ [mm]$

L_0: $Longitud\ inicial [mm]$

ϕ: $Coeficiente\ de\ dilatacion\ termica\ \left[Acero: 12x10^{-6}\frac{1}{°C}\right]$

ΔT: $Diferencia\ de\ temperaturas\ [°C]$

T_2: $Temperatura\ maxima$ $[400°C]$

T_2: $Temperatura\ ambiente$ $[15°C]$

$$\Delta T = T_2 - T_1$$

$$\Delta T = 235°C$$

$$L_t = 29\,[1 + (12x10^{-6} * 385)]$$

$$L_t = 29.134\ mm$$

3.4.6. Diseño del cañón de inyección

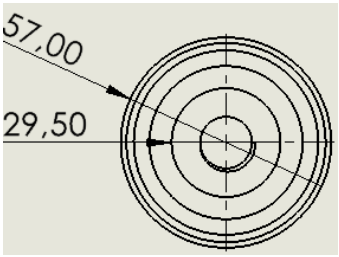


Fig 42. Vista superior del cañón de inyección.

Fuente: [Autor]

Condición para el cálculo del cilindro de pared gruesa

$$\frac{d}{t} < 10 = \frac{29.5}{13.75} < 10$$

$$2.145 < 10 \rightarrow Cumple\ la\ condición$$

Cálculo de esfuerzos para cilindro de pared gruesa con extremos abiertos

$$\sigma_t = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2}\left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2}\right)$$

$$\sigma_r = \frac{P_i r_i^2}{r_o^2 - r_i^2}\left(1 - \frac{r_o^2}{r_i^2}\right)$$

En donde:

$P_i = P_{iny}$: $Presion\ de\ inyección$ $[15\ MPa]$

r_i: $Radio\ interior\ del\ cilindro$ $[mm]$

r_e: $Radio\ exterior\ del\ cilindro$ $[mm]$

S_y: $Limite\ de\ resistencia\ a\ la\ tensión\ del\ material\ AISI$ $1018\ HR$

La presión interna del cilindro se determina mediante la figura []

$$\sigma_t = \frac{15 * (14.75)^2}{28.5^2 - 14.75^2}\left(1 + \frac{28.5^2}{14.75^2}\right)$$

$$\sigma_t = 25.975\ MPa$$

$$\sigma_r = \frac{1.2 * (14.75)^2}{28.5^2 - 14.75^2}\left(1 - \frac{28.5^2}{14.75^2}\right)$$

$$\sigma_r = 15\ MPa$$

$$\sigma_t = \sigma_t + \sigma_r$$

$$\sigma_t = 40.975\ MPa$$

$$n = \frac{S_y}{\sigma_t}$$

$$n = \frac{220\ MPa}{40.975\ MPa}$$

$$n = 5.369$$

Diseño a fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e{}'$$

Resultado de factores

$k_a = 0.922$

$k_b = 1 \rightarrow Carga\ axial$

$k_c = 0.85 \rightarrow Carga\ axial$

$k_d = 1$

$k_e = 1$

$k_f = 1$

$S_e{}' = 200\ MPa$

$$S_e = (0.922)(1)(0.85)(1)(1)(1)(200)$$

$$S_e = 156.74\ MPa$$

Cálculo para diseño a fatiga

$\sigma_a = \frac{\sigma_t}{2} = 20.48\ MPa$

$\sigma_m = \sigma_a = 20.48\ MPa$

$$\frac{\sigma_a}{S_e} + \frac{\sigma_m}{S_{ut}} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{20.48}{156.74}+\frac{20.48}{400}=\frac{1}{n}$$

$$n=5.498$$

3.4.7. Diseño de los resortes

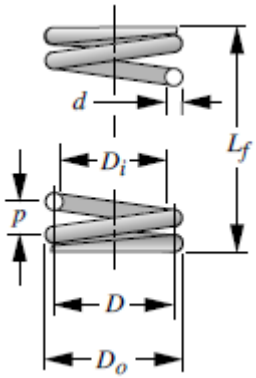


Fig 43. Dimensiones de resortes helicoidales a compresión [32]

En donde:

D: $Diametro\ medio\ de\ la\ espira$ [34 mm]

d: $Diametro\ del\ alambre$ [6.5 mm]

D: $Diametro\ medio\ de\ la\ espira$ [mm]

C: $Indice\ del\ resorte$

τ_s: $Esfuerzo\ cortante$ [MPa]

ξ: $Desfase\ fraccional\ al\ cierre \rightarrow Recomendado$ 0.15

K_B: $Factor\ de\ curvatura$

S_{sy}: $Esfuerzo\ permisible$ [MPa]

n: $Factor\ de\ seguridad$

F: $Fuerza\ maxima$ [1918 .63 N]

y_{max}: $Desplazamiento\ maximo$ [60mm]

N_a: $Número\ de\ espiras\ activas$

N_t: $Espiras\ totales$

L_s: $Longitud\ solida\ del\ resorte$ [mm]

L_0: $Longitud\ libre\ del\ resorte$ [mm]

k: $Constante\ de\ rigidez\ del\ resorte$ [N/mm]

G: $Modulo\ de\ corte\ del\ material\ Alambre\ piano\ A228$ [80 GPa]

$$C = \frac{D}{d} = \frac{34}{6.5}$$

$$C = 5.231$$

$$K_B = \frac{4C + 2}{4C - 3}$$

$$K_B = 1.279$$

$$F_{max} = F_{pistón} + W_{placa\ cañón} + W_{cañón}$$

$$F_{max} = 3800 + 1.6(9.81) + 2.2(9.81)$$

$$F_{max} = 3837.265\ N$$

$$F = \frac{F_{max}}{2}$$

$$\tau_r = \frac{K_B * 8 * (1 + \xi)F * D}{\pi * d^3}$$

$$\tau_r = 773.626\ MPa$$

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m}$$

$$S_{sy} = 0.56 * S_{ut}$$

$$S_{sy} = 943.85\ MPa$$

$$n = \frac{S_{sy}}{\tau_r}$$

$$n = 1.22$$

$$N_a = \frac{GD^4\ y_{max}}{8D^3F}$$

$$N_a = \frac{80x10^3(34)^4(30)}{8(6.5)^3(1918.63)}$$

$$N_a = 7.1$$

$$N_t = N_a + 2 \rightarrow para\ extremos\ esmerilados\ a\ escuadra$$

$$N_t = 9.1$$

$$L_s = d * N_t$$

$$L_s = 59.14\ mm$$

$$L_o = [(1 + \xi)2] + L_s$$

$$L_o = 61.44\ mm$$

$$k = \frac{Gd^4}{8D^3N_a}$$

$$k = 63.95\frac{N}{mm}$$

3.4.8. Diseño de las juntas empernadas

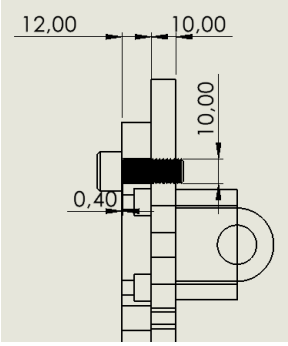


Fig 44. Vista lateral de junta empernada de placa móvil

Fuente: [Autor]

Rigidez del sujetador

Longitud de agarre:

En donde:

$l: longitud\ de\ agarre\ [mm]$

$h: Espesor\ del\ primer\ elemento\ [mm]$

$d: diametro\ del\ sujetador\ [mm]$

$$l = h + d/2 \rightarrow t_2 \geq d$$

$$l = 12 + 10/2$$

$$l = 17\ mm$$

Longitud del sujetador

$$L > h + 1.5d$$

$$L > 12 + 1.5(10)$$

$$L > 27$$

Longitud roscada L_T serie métrica

$$L_T = 2d + 6mm$$

$$L_T = 2(10) + 6$$

$$L_T = 26\ mm$$

Longitud de la parte sin rosca en el agarre

$$l_d = L - L_T$$

$$l_d = 27 - 26$$

$$l_d = 1\ mm$$

Longitud de la parte roscada en el agarre

$$l_t = l - l_d$$

$$l_t = 17 - 1$$

$$l_t = 16\ mm$$

Área de la parte sin roscar

$$A_d = \frac{\pi d^2}{4}$$

$$A_d = \frac{\pi(10)^2}{4}$$

$$A_d = 78.539\ mm^2$$

Área de la parte roscada

TABLA XXXII.

Diámetros y áreas de roscas métricas de paso grueso y fino [31]

Serie de paso grueso				Serie de paso fino		
Diámetro mayor nominal d, mm	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión A_t, mm^2	Área del diámetro menor A_r, mm^2	Paso p, mm	Área de esfuerzo de tensión A_t, mm^2	Área del diámetro menor A_r, mm^2
1.6	0.35	1.27	1.07			
2	0.40	2.07	1.79			
2.5	0.45	3.39	2.98			
3	0.5	5.03	4.47			
3.5	0.6	6.78	6.00			
4	0.7	8.78	7.75			
5	0.8	14.2	12.7			
6	1	20.1	17.9			
8	1.25	36.6	32.8	1	39.2	36.0
10	1.5	58.0	52.3	1.25	61.2	56.3

$$A_t = 52.3\ mm^2$$

Rigidez del sujetador

$$k_b = \frac{A_d * A_t * E}{A_d * l_t + A_t * l_d}$$

$$k_b = \frac{78.539 \ * 52.3 * 200}{78.539 * 16 + 52.3 * 1}$$

$$k_b = \frac{78.539 \ * 52.3 * 200}{78.539 * 16 + 52.3 * 1}$$

$$k_b = 627.62 \ N/mm$$

Rigidez de los elementos

$$k_m = \frac{0.5774\pi * E * d}{2 \ln\left(5 * \frac{0.5774l + 0.5d}{0.5774l + 2.5d}\right)}$$

$$k_m = \frac{0.5774 * \pi * 200 * 10}{2 \ln\left(5 * \frac{0.5774(17) + 0.5(10)}{0.5774(17) + 2.5(10)}\right)}$$

$$k_m = 2402.39 \ N/mm$$

Constante de rigidez de la unión.

$$C = \frac{k_b}{k_b + k_m}$$

$$C = \frac{627.62}{627.62+2402.39}$$

$$C = 0.207$$

Carga que actúa en cada perno

$$P_{max} = 3800 \ N$$

$$P = \frac{P_{max}}{4}$$

$$P = 950 \ N$$

Parte tomada por el perno

$$P_b = C * P$$

$$P_b = 196.65 \ N$$

Parte tomada por los elementos

$$P_m = P - P_b$$

$$P_m = 950 - 196.62$$

$$P_m = 753.35\ N$$

Precarga de la unión

$$F_i = \begin{cases} 0.75\ F_p \rightarrow para\ conexiones\ no\ permanentes \\ 0.90\ F_p \rightarrow para\ conexiones\ permanentes \end{cases}$$

$$F_p = A_t * S_p$$

$$F_p = 52.3\ mm^2 * 600\ MPa$$

$$F_p = 31.380\ kN$$

$$F_i = 0.75 * F_p$$

$$F_i = 23.535\ kN$$

Carga resultante en el perno

$$F_b = P_b + F_i$$

$$F_b = 196.65\ N + 23.535\ kN$$

$$F_b = 23.73\ kN$$

Carga resultante en los elementos conectados

$$F_m = P_m - F_i$$

$$F_m = 753.35\ N - 23.535\ kN$$

$$F_m = 22.781\ kN$$

Par de torsión en el perno

$$T = KF_i d$$

En donde:

K: $condición\ del\ perno$

$$T = KF_i d$$

$$T = 0.3 * 23.535kN * 10\ mm$$

$$T = 70.60\ kN * mm$$

Unión cargada con precarga

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$$

$$\sigma_b = \frac{23.73\ kN}{52.3\ mm^2}$$

$$\sigma_b = 453.72\ MPa$$

Factor de seguridad del perno

$$n_p = \frac{S_p}{\sigma_b}$$

$$n_p = \frac{600\ MPa}{453.72\ MPa}$$

$$n_p = 1.32$$

Factor de seguridad contra la separación de la unión

$$n_o = \frac{F_i}{P(1-C)}$$

$$n_0 = \frac{23.535}{950(1-0.207)}$$

$$n_0 = 31.24$$

Esfuerzo cortante en el perno

$$\tau_p = P/A_t$$

$$\tau_p = \frac{950\ N}{52.3\ mm^2}$$

$$\tau_p = 18.16\ MPa$$

Calculo a fatiga con esfuerzos combinados

$$\tau_a = \tau_m = \tau_p$$

$$\sigma_a = \sigma_m = \frac{(F_b/A_t)}{2}$$

$$\sigma_m = \frac{453.72\ MPa}{2}$$

$$\sigma_m = 226.86\ MPa$$

Límite de resistencia la fatiga

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e{}'$$

$k_a = 0.716$

$k_b = 0.969$

$k_c = 1$

$k_d = 1$

$k_e = 1$

$k_f = 1$

$S_e{}' = 520\ MPa$

$$S_e = (0.716)(0.969)(1)(1)(1)(1)(520)$$

$$S_e = 360.77\ MPa$$

Esfuerzo equivalente de Von mises

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma_a^2 + 3\tau_a^2}$$

$$\sigma_e = \sqrt{226.86^2 + 3(18.16)^2}$$

$$\sigma_e = 229.030\ MPa$$

$$\frac{\sigma_e}{S_e} + \frac{\sigma_e}{S_p} = \frac{1}{n}$$

$$\frac{229.030}{360.77} + \frac{229.030}{600} = \frac{1}{n}$$

Factor de seguridad a fatiga

$$n = 1.16$$

3.4.9. Cálculo del consumo de aire de los actuadores neumáticos.

Consumo de aire para cilindros de doble efecto despreciando el volumen del vástago[33].

$$C_a = 2 * R_c * A_p * C * Ciclos/min$$

En donde:

C_a: $Consumo\ de\ aire\ [cm^3/min]$

R_c: $Relacion\ de\ compresión\ a\ nivel\ del\ mar$

A_p: $Área\ del\ pistón\ [cm^2]$

C: $carrera\ del\ cilindro\ [cm]$

$$R_c = \frac{0.987 + P_{aire}(bar)}{0.987}$$

$$R_c = \frac{0.987 + 8\ bar}{0.987}$$

$$R_c = 9.10\ bar$$

$$A_p = 3117.245\ mm^2$$

$$C_a = 2 * (9.10\ ) * 31.17\ cm^2 * 15cm * 1\ ciclo/min$$

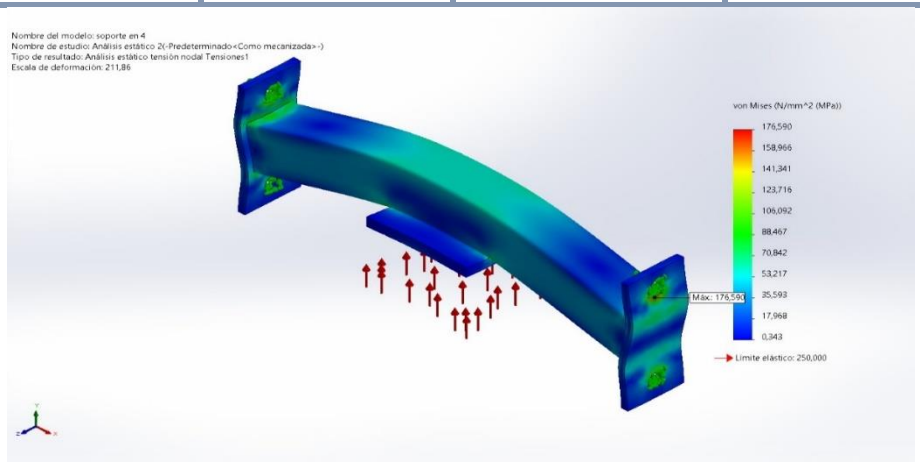
$$C_a = 8509.41\ cm^3/min$$

$$C_a = 8.509\ L/min$$

3.5. Simulación de componentes con geometrías complejas

Diseño de base de pistón de cierre

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,343N/mm^2 (MPa) Nodo: 858	176,590N/mm^2 (MPa) Nodo: 12275

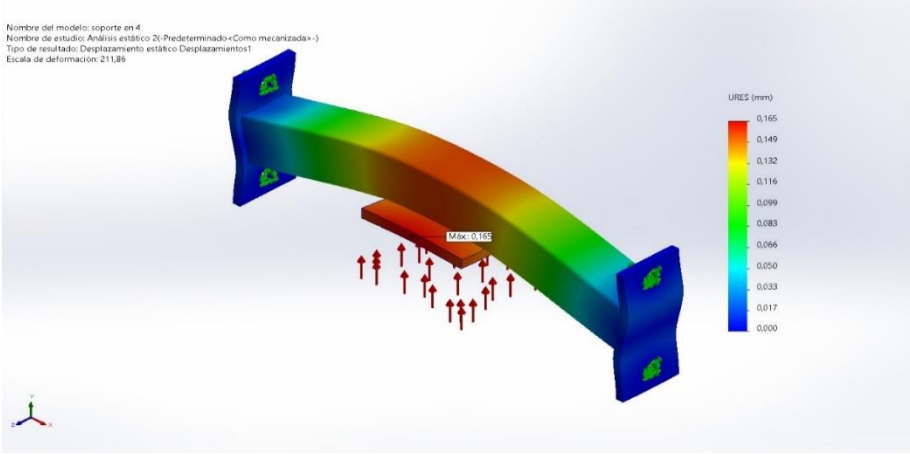


Base de pistón de cierre -Análisis estático 2-Tensiones-Tensiones1

Fig 45. Esfuerzo de von Mises actuante en la base del pistón de inyección

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 1	0,165mm Nodo: 6144

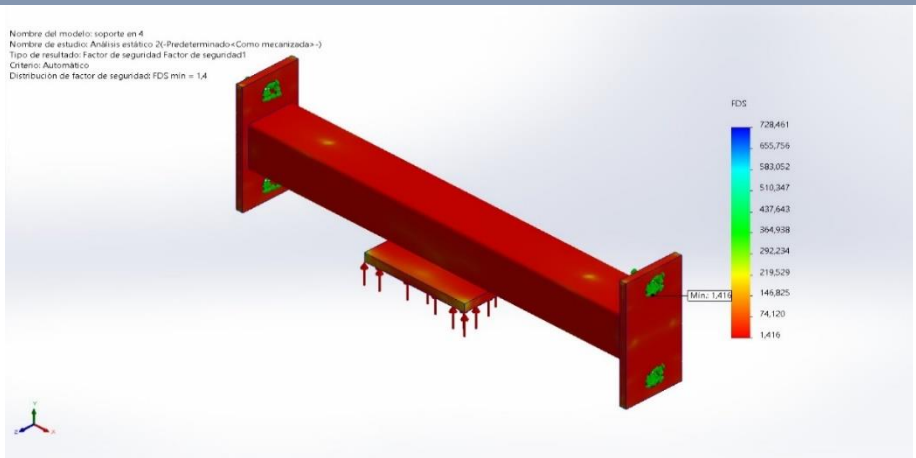


Base de pistón de cierre -Análisis estático 2-Desplazamientos-Desplazamientos1

Fig 46. Desplazamientos en la base del pistón de inyección

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,416 Nodo: 12275	728,461 Nodo: 858

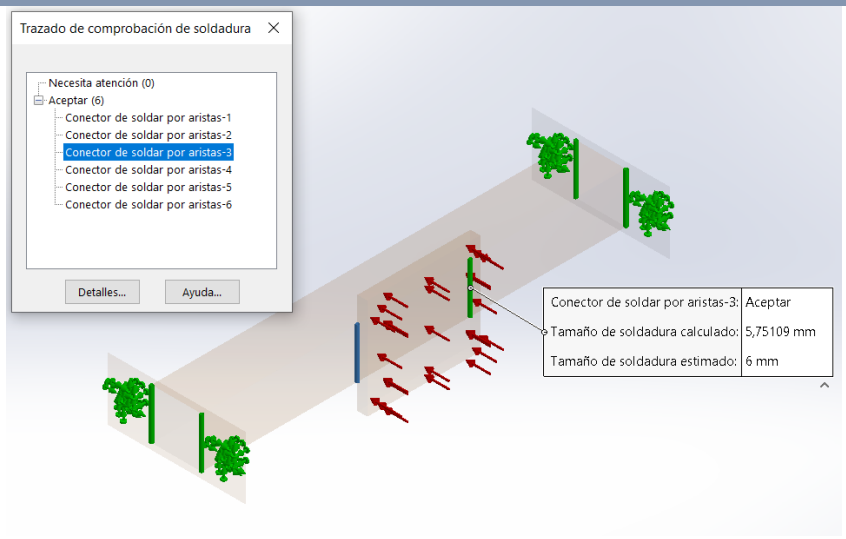


Base de pistón de cierre -Análisis estático 2-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Fig 47. Factor de seguridad de la base del pistón de inyección

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo
Trazado de comprobación de soldadura1	Trazado de comprobación de soldadura



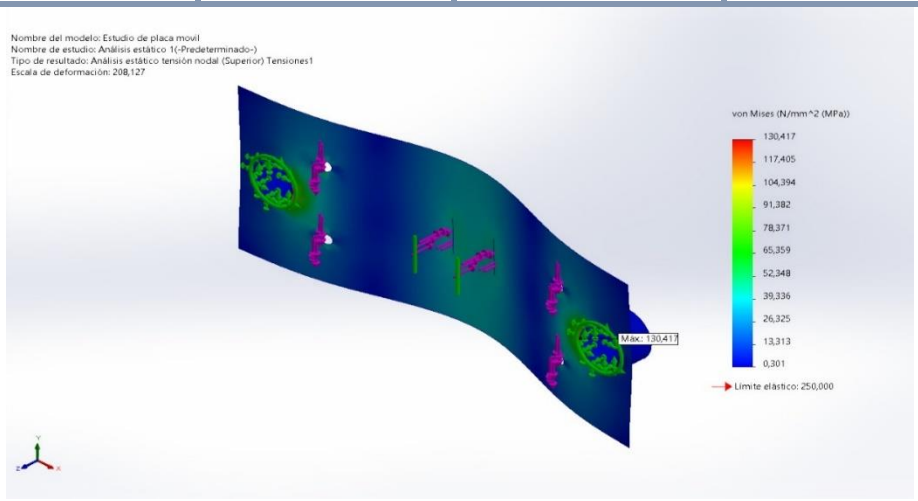
Base de pistón de cierre -Análisis estático 2-Trazado de comprobación de soldadura

Fig 48. Comprobación de la soldaduras de la base del pistón de inyección

Fuente: [Autor]

3.5.1. Diseño de soldaduras en placa móvil

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,301N/mm^2 (MPa) Nodo: 2217	130,417N/mm^2 (MPa) Nodo: 94

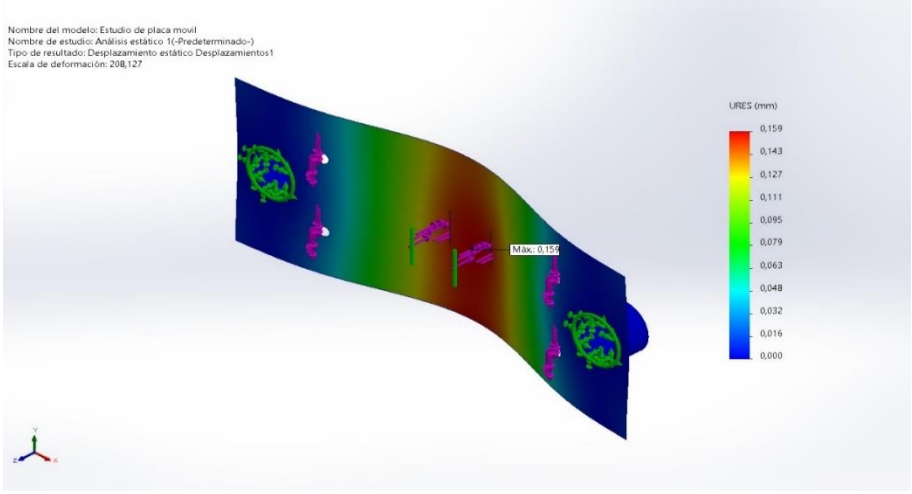


Estudio de placa movil-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Fig 49. Esfuerzo de von Mises en la placa móvil

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 79	0,159mm Nodo: 1155

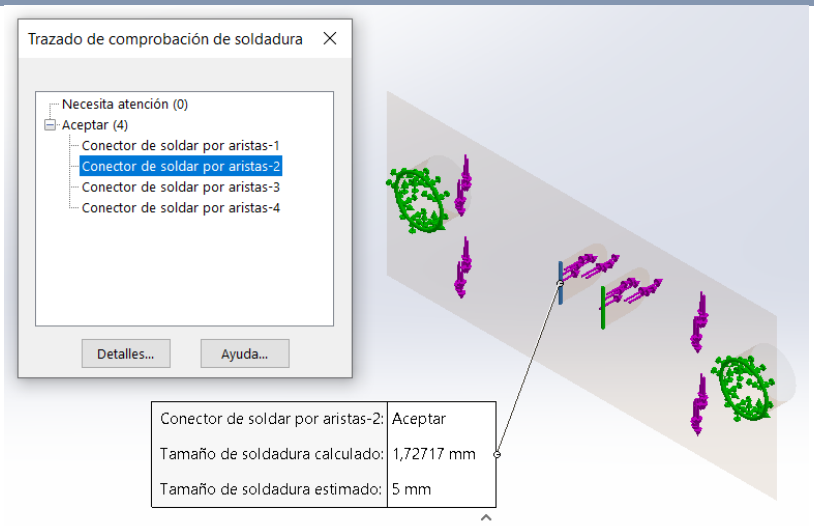


Estudio de placa movil-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Fig 50. Desplazamientos en la placa móvil

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo
Trazado de comprobación de soldadura1	Trazado de comprobación de soldadura

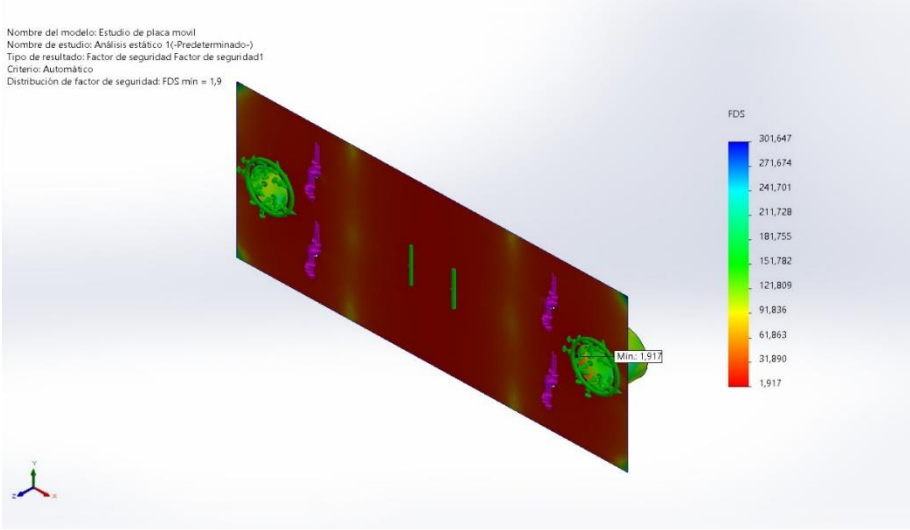


Estudio de placa movil-Análisis estático 1-Trazado de comprobación de soldadura-Trazado de comprobación de soldadura1

Fig 51. Comprobación de las soldaduras en la placa móvil

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Automático	1,917 Nodo: 94	301,647 Nodo: 144



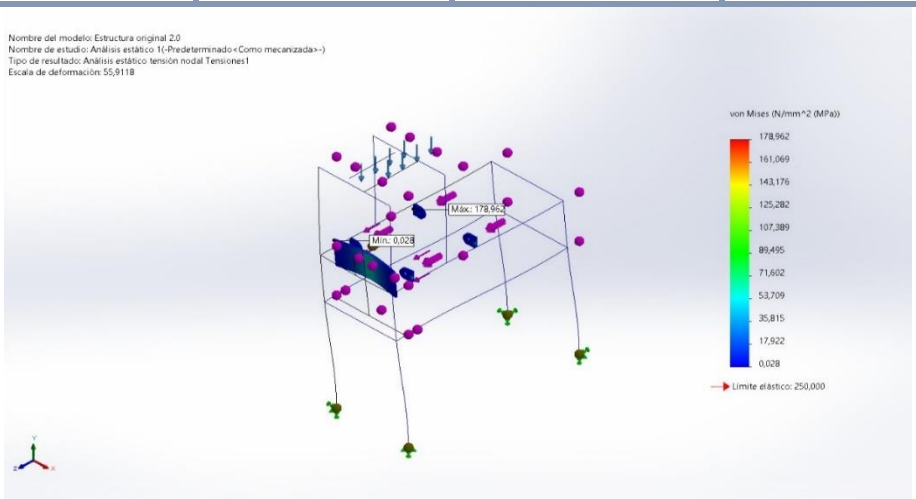
Estudio de placa movil-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Fig 52. Factor de seguridad de la placa móvil

Fuente: [Autor]

3.5.2. Diseño de la estructura modificada

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Tensiones1	VON: Tensión de von Mises	0,000N/mm^2 (MPa) Nodo: 21761	178,962N/mm^2 (MPa) Nodo: 20697

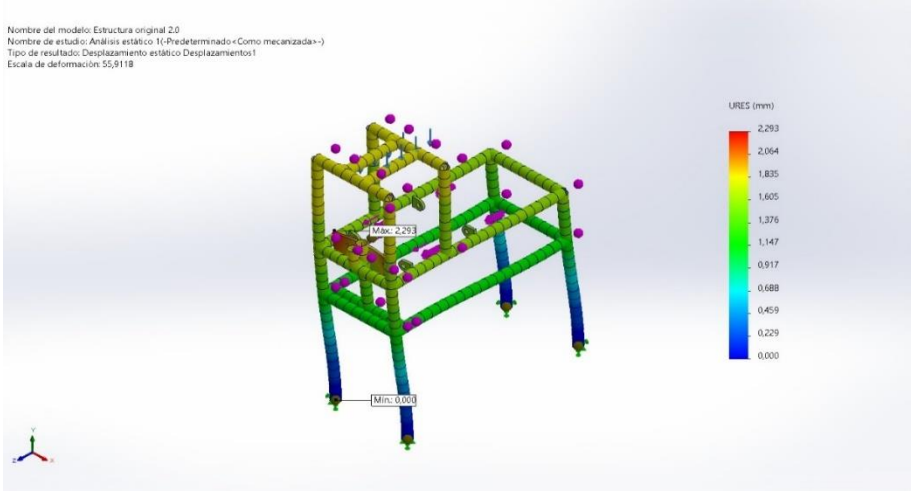


Estructura 2.0-Análisis estático 1-Tensiones-Tensiones1

Fig 53. Esfuerzo de von Mises de la estructura 2.0

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Desplazamientos1	URES: Desplazamientos resultantes	0,000mm Nodo: 21798	2,293mm Nodo: 4

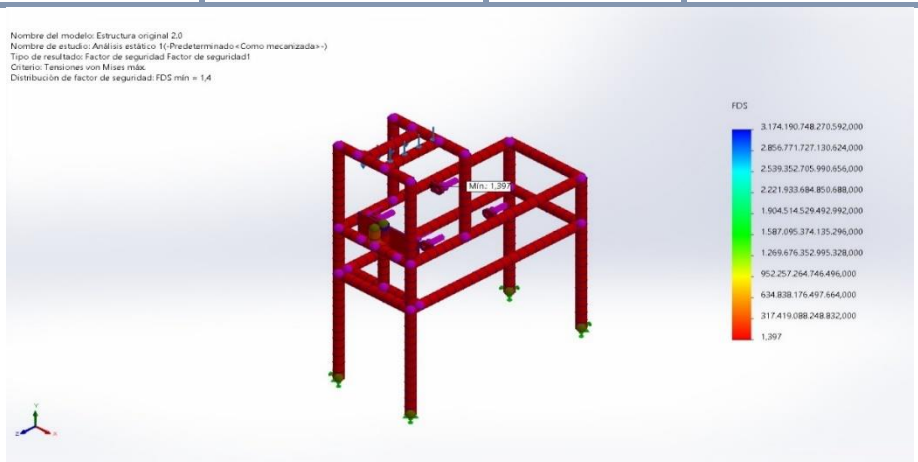


Estructura 2.0-Análisis estático 1-Desplazamientos-Desplazamientos1

Fig 54. Desplazamientos en la estructura 2.0

Fuente: [Autor]

Nombre	Tipo	Mín.	Máx.
Factor de seguridad1	Tensión de von Mises máx.	1,397 Nodo: 20697	3.174.191.016.706.048,000 Nodo: 21799



Estructura 2.0-Análisis estático 1-Factor de seguridad-Factor de seguridad1

Fig 55. Factor de seguridad en la estructura 2.0

Fuente: [Autor]

3.6. Simulación de llenado de cavidades

3.6.1. Simulación de llenado de probeta de tracción ASTM D638

Se necesita ingresar los parámetros para la simulación el software CAD/CAE

Probeta de tracción ASTM D638

Material a inyectar: Polipropileno (PP)

Temperatura de fundición: 200 °C

Temperatura del molde: 20 °C

Presión máxima de la maquina: 5 MPa

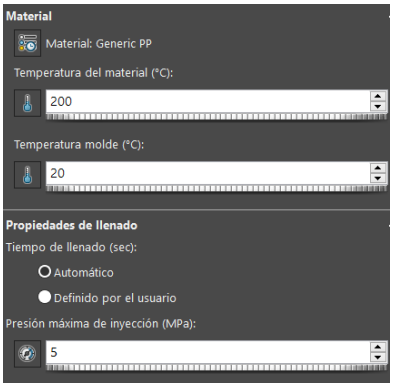


Fig 56. Parámetros para la inyección

Fuente: [Autor]

Resultados obtenidos mediante la simulación

Tiempo de inyección: 4.18 segundos

Tiempo de enfriamiento: 32.18 segundos

Temperatura al final del ciclo: 36.36 segundos

Volumen: 9.23 cm3

Masa: 8.49 gramos

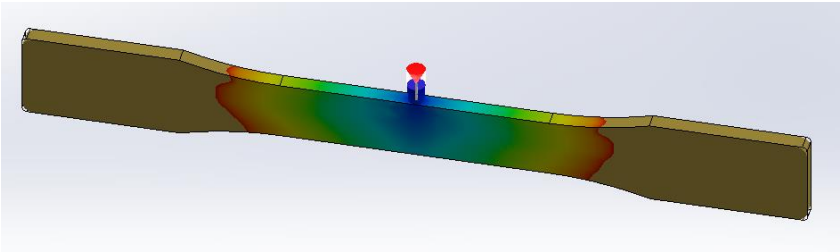


Fig 57. Simulación de llenado de la probeta de tracción ASTM D638

Fuente: [Autor]

3.6.2. Simulación de llenado de probeta de impacto ASTM D5625

Probeta de flexión ASTM D5625

Resultados obtenidos mediante la simulación

Tiempo de inyección: 4.81 segundos

Tiempo de enfriamiento: 30.81 segundos

Temperatura al final del ciclo: 35.62 segundos

Volumen: 11.78 cm3

Masa: 10.79 gramos

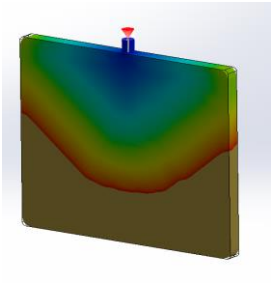


Fig 58. Simulación de llenado de la probeta de impacto ASTM D5625

Fuente: [Autor]

3.6.3. Simulación de llenado de probeta de flexión ASTM D790

Probeta de flexión ASTM D790

Resultados obtenidos mediante la simulación

Tiempo de inyección: 3.94 segundos

Tiempo de enfriamiento: 35.85 segundos

Temperatura al final del ciclo: 39.79 segundos

Volumen: 5.68 cm3

Masa: 5.20 gramos

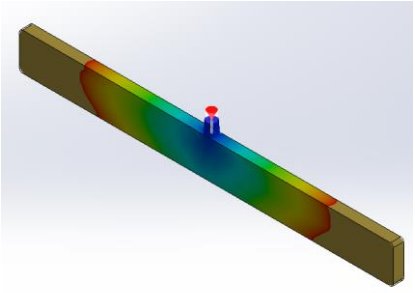


Fig 59. Simulación de llenado de la probeta de flexión ASTM D790

Fuente: [Autor]

3.7. Características de la máquina

3.7.1. Ficha técnica de la máquina de inyección de plástico vertical mayal (repotenciada)

TABLA XXXIII.
Ficha técnica de la máquina de inyección vertical (Mayal)

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA						
FECHA:	28/05/2025		LUGAR:	AMBATO		
FICHA TÉCNICA DE:	MÁQUINA	X	EQUIPO		SISTEMA	
						
ESTADO INICIAL	BUENO	X	REGULAR		MALO	
CARACTERISTICAS GENERALES						
MARCA	N/A		DIMENSIONES GENERALES [mm]	1800x1000x450		
PROCEDENCIA	ECUADOR		PESO TOTAL [kg]	68,73		
MODELO	N/A					

Fuente: [Autor]

TABLA XXXIV.
Características generales de la máquina

SISTEMAS	
Sistema de alimentación	Tolva cilíndrica
Sistema de inyección	Mecanismo cilindro-émbolo accionado con actuador neumático
Sistema de cerrado	Actuador neumático
Sistema de control	Control PID y lógica cableada
Sistema de inyección	
Parámetro [unidad]	**Valor**
Rango de presión de inyección [bar]	0,5-12
Volumen de inyección [cm3]	64,33
Diámetro del cilindro [mm]	29,5
Carrera del actuador [mm]	150
Rango de temperatura [°C]	10 - 400
Relación L/D	4,254
Capacidad de la tolva al 25% [cm3]	25,88
Desplazamiento máximo de la boquilla [mm]	30
Sistema de cerrado	
Fuerza máxima de cierre [kN]	3,8
Carrera entre moldes [mm]	60
Luz entre columnas [mm]	250
Tamaño máximo de molde LxAxE [mm]	180x81x53,5 ±0,5
Tamaño mínimo de molde LxAxE [mm]	125x71x53,5 ±0,5
Sistema eléctrico	
Alimentación [V]	110 - Monofásica
Amperaje [A]	10,909
Potencia [W]	1200
Sistema neumático	
Electroválvulas 5/2	Activación - bobina
Consumo de aire [L/min]	8,509

Fuente: [Autor]

3.8. Análisis de las pruebas de funcionamiento

3.8.1. Pruebas reales de la máquina de inyección de plástico

La siguiente tabla muestra los tiempos promedio del ciclo de inyección desde el precalentamiento hasta la finalización del ciclo obtenidos de los ensayos.

TABLA XXXV.
Pruebas de calibración del tiempo con molde de probetas de tracción

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL TIEMPO DE INYECCIÓN			
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	001
Fecha de ejecución:	02/06/2025	Maquina:	Inyectora vertical (Mayal) semiautomática
Realizador por:	Ronquillo Paredes Luis Ángel	Revisado por:	Ing. Juan Paredes, PhD
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato-Laboratorio de Innovación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
PARÁMETROS DE PRUEBA			
Molde utilizado:	Probetas de tracción ASTM D638		
Material utilizado:	Polipropileno (PP)		

Tiempo → segundos (s)									
N°	Etapa	P1(s)	P2(s)	P3(s)	P4(s)	P5(s)	P6(s)	P7(s)	Promedio (s)
1	Calentamiento y plastificación del polímero	253	281	320	380	300	350	325	315.57
2	Cierre del molde	1.15	0.98	1.25	1.47	1.13	1.29	1.16	1.20
3	Bajada del émbolo / acercamiento de la boquilla	1.82	2.13	1.93	1.75	2.02	1.87	1.96	1.92
4	Inyección	10.83	10.04	11.08	10.24	10.32	11.29	11.23	10.71
5	Retorno del émbolo	1.46	1.02	1.17	1.26	1.19	1.45	1.22	1.25
6	Enfriamiento	18.24	16.74	17.23	18.06	16.52	17.18	16.86	17.26
7	Apertura del molde	0.87	1.02	0.73	0.82	1.03	0.95	0.81	0.89
8	Obtención de la pieza moldeada	5.24	4.26	4.85	5.14	4.68	4.40	5.08	4.80
								Total	353.6

Fuente: [Autor]

TABLA XXXVI.
Pruebas de calibración del tiempo con molde de probetas de flexión

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL TIEMPO DE INYECCIÓN			
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	002
Fecha de ejecución:	02/06/2025	Maquina:	Inyectora vertical (Mayal) semiautomática
Realizador por:	Ronquillo Paredes Luis Ángel	Revisado por:	Ing. Juan Paredes, PhD
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato-Laboratorio de Innovación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
PARÁMETROS DE PRUEBA			
Molde utilizado:	Probetas de flexión ASTM D790		
Material utilizado:	Polipropileno (PP)		

Tiempo → segundos (s)									
N°	Etapa	P1(s)	P2(s)	P3(s)	P4(s)	P5(s)	P6(s)	P7(s)	Promedio (s)
1	Calentamiento y plastificación del polímero	285	317	354	382	328	341	338	335
2	Cierre del molde	1.23	1.12	1.19	1.32	1.25	1.17	1.36	1.23
3	Bajada del émbolo / acercamiento de la boquilla	1.87	1.15	1.39	1.49	1.75	1.81	1.49	1.56
4	Inyección	8.27	9.25	8.47	8.68	9.22	8.36	8.49	8.67
5	Retorno del émbolo	1.48	1.52	1.74	1.55	1.39	1.63	1.61	1.56
6	Enfriamiento	15.24	15.41	16.12	15.92	15.76	15.31	15.28	15.57
7	Apertura del molde	1.18	0.99	0.93	0.81	0.83	0.95	1.03	0.96
8	Obtención de la pieza moldeada	2.37	2.46	3.61	2.74	2.61	2.38	3.27	2.77
								Total	367.32

Fuente: [Autor]

TABLA XXXVII.

Pruebas de calibración del tiempo con molde de probetas de impacto

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE MECÁNICA

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS DEL TIEMPO DE INYECCIÓN

Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	003
Fecha de ejecución:	02/06/2025	Maquina:	Inyectora vertical (Mayal) semiautomática
Realizador por:	Ronquillo Paredes Luis Ángel	Revisado por:	Ing. Juan Paredes, PhD
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato-Laboratorio de Innovación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		

PARÁMETROS DE PRUEBA

Molde utilizado:	Probetas de impacto ASTM D5625
Material utilizado:	Polipropileno (PP)

Tiempo → segundos (s)

N°	Etapa	P1(s)	P2(s)	P3(s)	P4(s)	P5(s)	P6(s)	P7(s)	Promedio (s)
1	Calentamiento y plastificación del polímero	240	300	360	420	335	388	350	334.71
2	Cierre del molde	1.2	1.5	1.4	1.3	1.1	1.2	1.3	1.28
3	Bajada del émbolo / acercamiento de la boquilla	2.12	1.94	1.59	1.77	1.89	1.95	1.89	1.87
4	Inyección	11.92	10.35	12.03	11.55	11.24	12.48	10.95	11.50
5	Retorno del émbolo	1.31	1.15	1.28	1.27	1.17	1.27	1.30	1.25
6	Enfriamiento	20.36	15.28	16.25	20.72	18.52	16.43	16.03	17.65
7	Apertura del molde	1.09	0.91	0.74	0.62	0.71	0.76	1.08	0.84
8	Obtención de la pieza moldeada	3.37	1.92	1.42	4.53	3.32	2.45	5.15	3.16
								Total	372.26

Fuente: [Autor]

3.9. Ensayos de calibración

3.9.1. Pruebas de inyección

TABLA XXXVIII.
Pruebas reales con molde de probetas de flexión

N°	Temperatura de trabajo [°C]	Presión de cierre [psi]	Peso [g]	Observaciones
1	170	110	4.89	Se requiere más tiempo de fundición debido a que el plástico se solidifica antes de alcanzar a llenar la cavidad
2	175	115	5.16	El plástico fluye de mejor manera pero es necesario más tiempo
3	180	120	5.68	Se consigue una probeta de una buena calidad controlando el tiempo de inyección y de enfriamiento
4	185	110	5.50	Se consigue una probeta de una buena calidad pero con la presencia de rebabas en el contorno
5	190	115	5.48	La calidad es superficial es aceptable pero se observa la presencia de poros en el interior
6	195	120	5.48	Se puede detectar la presencia de rebabas en el contorno de la probeta y un ligero cambio de color
7	200	110	5.36	El cambio de color es más notorio y se puede observar la presencia de inclusiones en la probeta.
8	205	115	5.21	La probeta moldeada se torna con un color amarillento y en su superficie hay mayor presencia de rechupes
9	210	120	5.37	Las propiedades mecánicas y químicas del plástico se degradan obteniendo una probeta frágil y con un olor a quemado

Fuente: [Autor]

TABLA XXXIX.
Fotografías de pruebas con molde de probeta de flexión

N°	Imagen
1	
2	
3	
4	
5	

Fuente: [Autor]

TABLA XL.
Pruebas reales con molde de probetas de tracción

N°	Temperatura de trabajo [°C]	Presión de cierre [psi]	Peso [g]	Observaciones
1	170	110	7.74	Se requiere más temperatura y tiempo de fundición debido a que el plástico no alcanzar a llenar la cavidad
2	175	115	8.98	El plástico fluye de mejor manera pero es necesario más tiempo y temperatura para el llenado completo
3	180	120	9.36	Presencia de rebabas en el contorno y rechupes en la superficie
4	185	110	9.43	Se consigue una probeta de una buena calidad superficial con mínima presencia de rebabas
5	190	115	9.02	Se consigue una probeta de una buena calidad superficial pero con rebabas en el contorno
6	195	120	8.35	El plástico empieza a degradarse presentando cambio de color
7	200	110	8.62	Presencia de color amarillento, poros y rebabas en el contorno
8	205	115	8.20	Mínima presencia de rebabas en el contorno pero se nota la presencia de inclusiones en la probeta
9	210	120	9.31	Excesivo color amarillento las propiedades mecánicas y químicas del plástico se degradan obteniendo una probeta frágil y con un olor a quemado

Fuente: [Autor]

TABLA XLI.
Fotografías de pruebas con molde de probeta de tracción

N°	Imagen
1	
2	
3	
4	
5	

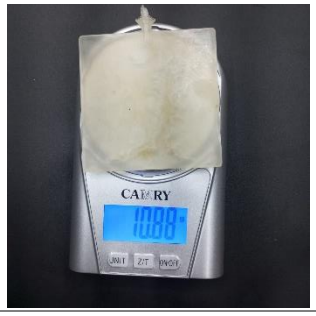
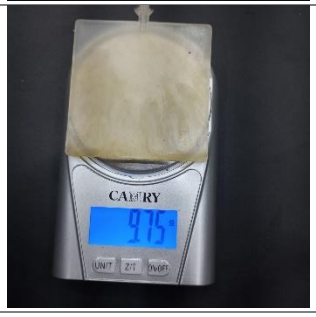
Fuente: [Autor]

TABLA XLII.
Pruebas reales con molde de probetas de impacto

N°	Temperatura de trabajo [°C]	Presión de cierre [psi]	Peso [g]	Observaciones
1	170	110	9.98	No se alcanza a llenar la cavidad del molde necesitando elevar la temperatura y tiempo de fundición
2	175	115	10.88	El plástico aun no es capaz de llenar la cavidad
3	180	120	9.81	Se consigue una probeta de una buena calidad superficial controlando la temperatura, tiempo de inyección y el enfriamiento
4	185	110	10.17	La calidad de la probeta es muy aceptable al igual que su color
5	190	115	9.75	La calidad es superficial es aceptable pero el borde inferior presenta manchas de un color oscuro
6	195	120	10.32	Se puede detectar la presencia poros en el interior de la probeta y con un ligero cambio de color
7	200	110	10.09	El plástico cambia de color, el tiempo de inyección se acorta pero existe la presencia de poros
8	205	115	10.07	La mitad inferior de la probeta se torna oscura y amarillenta evidenciando la degradación de las propiedades del plástico
9	210	120	10.19	Se observa un color negro y amarillento obteniendo una probeta muy frágil y con un olor a quemado

Fuente: [Autor]

TABLA XLIII.
Fotografías de pruebas con molde de probeta de impacto

N°	Imagen
1	
2	
3	
4	
5	

Fuente: [Autor]

3.10. Cuadro comparativo

TABLA XLIV.
Tabla comparativa

Características	Manual	Semiautomático
Cualitativo		
Tiempo total promedio [s]	961,29	429,54
Fuerza de cierre [N]	-----	2780
Presión de inyección [bar]	-----	0,15-12
volumen de inyección [cm3]	64,33	64,33
Altura [m]	2,1	1,8
Temperatura máxima alcanzada [°C]	185	220
Potencia de fundición [W]	1500	1500
Cuantitativo		
Tiempos programables	NO	SI
Uniformidad entre ciclos	BAJA	ALTA
Fatiga operativa	ALTO	BAJO
Intervención del operador	ALTA	MINIMA
Capacitación	BASICA	MEDIA
Comodidad	BAJA	ALTA
Control del proceso	MANUAL	SECUENCIAL
Repetitividad de calidad	BAJA	ALTA
Observaciones		
Versatilidad y adaptabilidad	Muy limitado	Versátil y compatible
Seguridad en la operación	Expuesto directamente al sistema de fundición (Expuesto a sufrir quemaduras)	Menor interacción con el sistema de fundición
Eficiencia de moldeo	El 80% de las probetas sales defectuosas	El 40% de las probetas salen defectuosas
Control de temperatura	Menos preciso con fluctuaciones	Estable en el tiempo
Residuos/ gases	Alta presencia de residuos plásticos y gases en la boquilla y molde	Mínima presencia de residuos plásticos y gases

Fuente: [Autor]

CAPITULO IV.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4. Conclusiones y Recomendaciones

4.1. Conclusiones

- La evaluación inicial de la maquina reveló que los sistemas de la máquina son ineficientes presentando fugas de presión en el sistema de cerrado, el mecanismo piñón-cremallera presentaba dientes rotos impidiendo el avance el émbolo, en consecuencia el 60% de las piezas inyectadas resultaban defectuosas evidenciando un proceso sin control sobre las variables criticas como presión, tiempo y temperatura, justificando la necesidad de una mejora integral.
- En base al criterio de selección de alternativas y cálculos analíticos se seleccionó el sistema cilindro émbolo para la inyección (con una presión de trabajo necesaria de 1.05 MPa y su facilidad de automatización) y los actuadores neumáticos capaces de producir una fuerza de 2448 N asegurando un cierre sin rebabas, la incorporación de un temporizador programable y las electroválvulas 5/2 permiten realizar un ciclo semiautomático con una mejor precisión y control, repetitividad de parámetros y menor intervención humana.
- Las pruebas funcionales permitieron definir condiciones óptimas de operación del proceso de inyección con polipropileno (PP): presión de 8 bar, temperatura de plastificación entre 180–190 °C y tiempo de inyección de 11.20 s. Se determinó que variables como la fuerza de cierre y el volumen de inyección inciden directamente en la calidad de las piezas, siendo necesario su control preciso para evitar defectos como rebabas, llenado incompleto y pérdida de propiedades mecánicas.

4.2. Recomendaciones

- Cumplir rigurosamente con las instrucciones establecidas en el manual de funcionamiento de la máquina repotenciada, el cual detalla el procedimiento del ciclo semiautomático, las normas de seguridad operativa y las verificaciones previas necesarias para asegurar un desempeño adecuado y seguro durante las prácticas.
- Se debe respetar el tiempo de plastificación del polímero, el cual depende de las características del material y su rango óptimo de temperatura de

procesamiento, a fin de garantizar una fusión homogénea. El incumplimiento de este parámetro podría provocar la degradación térmica del material, afectando tanto la calidad estructural como las propiedades mecánicas de la pieza moldeada.

- En caso de realizar un cambio de material de trabajo, es imprescindible ejecutar un proceso de purga del cañón de inyección para eliminar completamente los residuos del polímero previamente utilizado. Esta medida previene la contaminación cruzada entre materiales, evitando reacciones indeseadas o alteraciones en las propiedades finales del producto.
- Establecer un plan de mantenimiento predictivo basado en el monitoreo de variables operativas clave (presión, temperatura y ciclos de trabajo) para anticipar fallos en componentes críticos como cilindros neumáticos, electroválvulas y resistencias. Esto permitirá reducir paradas no programadas, optimizar el rendimiento de la máquina y prolongar su vida útil.

REFERENCIAS

[1] J. C. Hernández, “Nota Técnica: Principio de funcionamiento del sistema de inyección y análisis para la comprensión de la influencia del defecto rebaba de preformas PET,” *Revista INGENIERÍA UC*, vol. 20, no. 1, pp. 42–52, 2013, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=70732640006

[2] J. M. Yelwa *et al.*, “Fabrication of Pneumatic Compression Molding Machine for FRP Composites,” *Academia Green Energy*, vol. 2, no. 1, Feb. 2025, doi: 10.20935/ACADENERGY7555.

[3] M. S. Sheikh, “(PDF) ANÁLISIS DE DISEÑO DE COMPONENTES DE MÁQUINA DE MOLDEO POR INYECCIÓN NEUMÁTICA UTILIZANDO PRO-E NOVATEUR PUBLICATIONS REVISTA INTERNACIONAL DE INNOVACIONES EN INVESTIGACIÓN Y TECNOLOGÍA DE INGENIERÍA [IJIERT].” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://www.researchgate.net/publication/345222469_DESIGN_ANALYSIS_FOR_COMPONENTS_OF_PNEUMATIC_INJECTION_MOULDING_MACHINE_USING_PRO-E_NOVATEUR_PUBLICATIONS_INTERNATIONAL_JOURNAL_OF_INNOVATIONS_IN_ENGINEERING_RESEARCH_AND_TECHNOLOGY_IJIERT

[4] R. Abelardo Puente Espinoza, “MICROMOLDEO CASO DE ESTUDIO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLASTICOS PRESENTA,” 2006. Available:https://ciqa.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1025/409/1/Raul%20Abelardo%20Puente%20Espinoza.pdf

[5] P. G. Shukla and G. P. Shukla, “Design & Fabrication of Pneumatically Operated Plastic Injection Molding Machine,” *Certified International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)*, vol. 9001, no. 7, pp. 2277–3754,2008.Available:https://www.ijeit.com/vol%202/Issue%207/IJEIT1412201301_15.pdf

[6] J. R. Jambeck *et al.*, “Plastic waste inputs from land into the ocean,” *Science (1979)*, vol. 347, no. 6223, pp. 768–771, Feb. 2015, doi: 10.1126/SCIENCE.1260352.

[7] E. G. Savino, “Artículo- Plásticos: un mundo en expansión que requiere atención | ISWALAC.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://iswalac.org/articulo-plasticos-un-mundo-en-expansion-que-requiere-atencion/

[8] P. Clúster and D. E. Plásticos, “INFORME COMPONENTE 2-2023 INFORME FINAL DEL COMPONENTE II ‘Fortalecimiento de la cadena de reciclaje de poliestireno y polipropileno’ 2023”. Available: https://www.produccion.gob.ec/wp-content/uploads/2023/12/5.-Informe-Componente-II-Clu%CC%81ster-Pla%CC%81sticos-2023.11.23.pdf

[9] “Qué es el Moldeo por Inyección de Plásticos ♻ Sintac.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://sintac.es/moldeo-por-inyeccion-de-plasticos/

[10] J. Lin, H.-Y. Wu, P.-H. Lee, and Y.-K. Wang, “Fundamentos de Manufactura Moderna (3era edición) - Mikell P. Groover,” *Academia Nano: Science, Materials, Technology*, vol. 2, no. 1, Jan. 2007, doi: 10.20935/ACADNANO7493.

[11] W. Smith and J. Hashemi, “Fundamentos de la ciencia e ingeniería de materiales. Cuarta Edición.,” p. 1057, 2006. Available: https://www.academia.edu/125968817/Fundamentos_de_la_Ciencia_e_Ingenier%C3%ADa_de_Materiales_by_William_F_Smith_and_Javad_Hashemi

[12] M. Beltrán and A. Marcilla, “Tecnología de polímeros,” *Capítulos 4-5*, pp. 24–37, 2012. Available: https://books.google.co.ve/books?id=jxilUUn4_QAC&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false

[13] U. Martínez, “IDENTIFICACIÓN DE PLÁSTICOS PROTOCOLO Curso de Materiales”.Available:https://www.academia.edu/34970912/IDENTIFICACI%C3%93N_DE_PL%C3%81STICOS_PROTOCOLO_Curso_de_Materiales_

EDICION_2008_1_FACULTAD_INGENIERIA_INDUSTRIAL_LABORATORIO_DE_PRODUCCION

[14] M. Sánchez, “INYECCION DE MATERIALES PLASTICOS II | Tecnología de los Plásticos.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html

[15] A. Marcilla Gomis and M. Beltrán Rico, “TEMA 4. EXTRUSIÓN,” *Tecnología de los Polímeros (Material docente, Universidad de Alicante)*, 2011, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16897/1/TEMA_4_extrusion.pdf

[16] A. Marcilla Gomis and M. Beltrán Rico, “TEMA 6. MOLDEO POR COMPRESIÓN,” *Tecnología de los Polímeros (Material docente, Universidad de Alicante)*, 2011, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16981/1/TEMA6_compresion.pdf

[17] A. Marcilla Gomis and M. Beltrán Rico, “TEMA 8. SOPLADO DE TERMOPLÁSTICOS,” *Tecnología de los Polímeros (Material docente, Universidad de Alicante)*, 2011, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://cadcamiutjaa.wordpress.com/wp-content/uploads/2012/03/tema8.pdf.

[18] R. Prada Ospina, J. C. Acosta-Prado, R. Prada, and J. C. Acosta-Prado, “El Moldeo en el Proceso de Inyección para el Logro de Objetivos Empresariales,” *Dimensión empresarial, ISSN-e 1692-8563, Vol. 15, Nº. 1, 2017, págs. 169-182*, vol. 15, no. 1, pp. 169–182, 2017, doi: 10.15665/rde.v15i1.1002.

[19] S. H. Cho and S. Helduser, “Robust motion control of a clamp-cylinder for energy-saving injection moulding machines,” *Journal of Mechanical Science and Technology*, vol. 22, no. 12, pp. 2445–2453, Dec. 2008, doi: 10.1007/S12206-008-0907-6/METRICS.

[20] A. Elduque, D. Elduque, C. Pina, I. Clavería, and C. Javierre, “Electricity Consumption Estimation of the Polymer Material Injection-Molding Manufacturing Process: Empirical Model and Application,” *Materials 2018,*

Vol. 11, Page 1740, vol. 11, no. 9, p. 1740, Sep. 2018, doi: 10.3390/MA11091740.

[21] M. Kariminejad, D. Tormey, and M. McAfee, "Model-based pressure tracking using a feedback linearisation technique in thermoplastic injection moulding," Mar. 2024, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://arxiv.org/pdf/2403.04388.

[22] M. Beltrán Rico and A. Marcilla Gomis, "TEMA 5. INYECCIÓN," *Tecnología de los Polímeros (Material docente, Universidad de Alicante)*, 2011, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/16980/1/TEMA5_Moldeo_por_inyecci_n.pdf.

[23] H. Zhang, L. Ren, Y. Gao, and B. Jin, "A Comprehensive Study of Energy Conservation in Electric-Hydraulic Injection-Molding Equipment," *Energies 2017, Vol. 10, Page 1768*, vol. 10, no. 11, p. 1768, Nov. 2017, doi: 10.3390/EN10111768.

[24] J. ; Knoll, H.-P. Heim, J. Knoll, and H.-P. Heim, "Analysis of the Machine-Specific Behavior of Injection Molding Machines," *Polymers 2024, Vol. 16, Page 54*, vol. 16, no. 1, p. 54, Dec. 2023, doi: 10.3390/POLYM16010054.

[25] T. Herausgegeben, "Injection Molding Handbook," *Injection Molding Handbook*, 2000, doi: 10.1007/978-1-4615-4597-2. Available: https://www.researchgate.net/publication/265749741_Injection_Molding_Handbook.

[26] M. O. Ajala, "Review of Design and Production of the Injection Moulding Machine," *Journals of Mechatronics Machine Design and Manufacturing (e-ISSN: 2582-8908)*, vol. 5, no. 2, pp. 38–50, Aug. 2023, Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://www.matjournals.co.in/index.php/JMMDM/article/view/2457

[27] J. Rosato and D. Rosato, "Injection Molding Handbook," *3rd ed. New York, NY, USA: Springer*, 2000, doi: 10.1007/978-1-4615-4593-4.

[28] D. O. Kazmer, “Injection mold design engineering,” *Injection Mold Design Engineering*, pp. 1–424, 2007, doi: 10.3139/9783446434196.

[29] J. D. Navarro, “Técnicas de Mantenimiento Industrial| PDF.” Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://www.scribd.com/doc/118413677/Tecnicas-de-mantenimiento-industrial-Juan-Diaz-Navarro

[30] U. Angúlo, *Contabilidad financiera*, 2ª Edición. 2018. Accessed: May 01, 2025. [Online]. Available: https://edicionesdelau.com/producto/contabilidad-financiera-2a-edicion/

[31] C. Riba Romeva, “Diseño concurrente,” Barcelona, Apr. 2002. doi: 10.5821/ebook-9788498800746. Available: https://www.researchgate.net/publication/374492442_Diseno_concurrente

[32] D. V. Rosato, D. V. Rosato, and M. G. Rosato, *INJECTION MOLDING HANDBOOK*, Thrid Edition. 2000. Available: https://archive.org/details/injectionmolding0000unse_e1l4/page/n5/mode/2up?view=theater.

[33] R. G. N. J. K. Budynas, “Diseño en ingeniería mecánica de Shigley,” 2018. Available:http://www1.frm.utn.edu.ar/electromecanica/materias%20pagina%20nuevas/elementoMaquina/material/libroCabecera.pdf.

[34] R. L. Norton, “DISEÑO DE MÁQUINAS,” 2011. Available: https://lsbunefm.wordpress.com/wp-content/uploads/2018/10/disec3b1o-de-maquinaria-robert-l-norton-4.pdf.

[35] A. Creus Solé, “Neumática e Hidráulica,” 2007. [Online]. Available: https://www.academia.edu/37145190/Neum%C3%A1tica_e_Hidr%C3%A1ulica_Antonio_Creus_Sol%C3%A9_LIBROSVIRTUAL.

[36] Best Pneumatics, *Air Cylinders Model Selection*, 2nd ed., SMC Corporation, Japan,2020. [Online]. Available: https://ca01.smcworld.com/catalog/BEST-Guide-en/pdf/2-m27-49_en.pdf

ANEXOS

ANEXO A (Especificaciones, propiedades de los materiales)

Anexo 1.1 Propiedades y espesores de planchas de acero ASTM A36

PLANCHAS

PLANCHAS
LAMINADAS AL CALIENTE

Especificaciones Generales:

Norma:	NTE INEN 115
Espesores:	ASTM A36 - SAE J 403 1008
Espesores:	2mm a 12mm
Rollos:	Ancho 1000, 1220, 1500mm
Planchas:	4 x 8 pies y medidas especiales
Acabado:	Acero Negro



Calidad Comercial

Calidad	Composición Química							Propiedades Mecánicas			
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%AL	%CU	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alargamiento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
JIS G3131 SPHC	0,08 0,13	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,05 max	0,02 0,08	0,2 max	270 min	29 min	0= Oe	SAE 1010 ASTM A-569
SAE 1008	0,03 0,1	0,25 0,5	0,02 max	0,025 max	0,04 max	0,02 0,08	0,2 max				JIS G3132 SPHT1
SAE 1012	0,1 0,15	0,3 0,6	0,02 max	0,025 max	0,03 max	0,02 0,08	0,2 max				ASTM A-635 ASTM A-570 GRADO 33

Calidad Estructural

Norma	Composición Química							Propiedades Mecánicas				
	% C	%MN	%P	%S	%SI	%CU	OTROS	Fluencia (Mpa)	Esfuerzo Máximo (Mpa)	Alarga-miento %	Doblado 180°	Norma Equivalente
ASTM A-588M Grado A	0,19 max	0,8 1,25	0,04 max	0,05 max	0,3 0,6	0,25 0,40	Ni 0,15-0,35 Cr 0,40-0,65 V 0,02-0,10	345 min	485 min	18 min		
ASTM A-283 Grado C	0,12 0,18	0,3 0,6	0,025 max	0,03 max	0,04 max	0,2 max		205 min	380 516 max	25 min	0=1,5e	SAE 1015
JIS G-3101 5541 M	0,17 0,23	0,3 0,6	0,025 max	0,025 max	0,04 max	0,25 max		250 min	400 min 550 max	21 min		SAE 1020 ASTM A-36 ASTM A-570 GRADO 36
A 36	0,25 0,29	0,80 1,2	0,04 max	0,05 max	0,4 max	0,20 max		250 min	400 min 550 max	20 min		
A570-GR50	0,25	1,35 max	0,035 max	0,04 max				340 min	450 min 550 max	17 min	1-1/2e	

Fig 60. Ficha técnica planchas de acero ASTM A36

Anexo 1.2 Propiedades y dimensiones del eje AISI 1018

EJES

ACERO DE TRANSMISIÓN

Especificaciones Generales:

Norma: AISI 1018

Descripción: Es un acero de cementación no aleado principalmente utilizado para la elaboración de piezas pequeñas, exigidas al desgaste y donde la dureza del núcleo no es muy importante.

Aplicaciones: Levas uniones, bujes, pines, pivotes, pernos grado 3.

Largo: 6 mts





EJES

COMPOSICIÓN QUÍMICA				
%C	%Si	%Mn	%P	%S
0 – 0,20	0 – 0,25	0 – 0,70	0 – 0,04	0 – 05

PROPIEDADES MECÁNICAS			
RESISTENCIA MECÁNICA (N/mm^2)	PUNTO DE FLUENCIA (N/mm^2)	Elongación % Min.	DUREZA ROCKWELL B
410 - 520	235	20	143

DIMENSIONES
DIÁMETRO
3/8"
1/4"
5/8"
3/4"
7/8"
1"
1-1/4"
1-1/2"
1-3/4"
2"
2-1/4"
2-1/2"
2-3/4"
3"
3-1/2"
4"
4-1/2"
5"
6"

Fig 61. Ficha técnica eje AISI 1018

Anexo 1.3 Propiedades y dimensiones del alambre de piano A228

Material	ASTM núm.	Exponente m	Diámetro, pulg	A, kpsi · pulg^m	Diámetro, mm	A, Mpa · mm^m	Costo relativo del alambre
Alambre de piano*	A228	0.145	0.004-0.256	201	0.10-6.5	2 211	2.6
Alambre T y R en aceite†	A229	0.187	0.020-0.500	147	0.5-12.7	1 855	1.3
Alambre estirado duro‡	A227	0.190	0.028-0.500	140	0.7-12.7	1 783	1.0
Alambre al cromo-vanadio§	A232	0.168	0.032-0.437	169	0.8-11.1	2 005	3.1
Alambre al cromo-silicio ‖	A401	0.108	0.063-0.375	202	1.6-9.5	1 974	4.0
Alambre inoxidable 302#	A313	0.146	0.013-0.10	169	0.3-2.5	1 867	7.6-11
		0.263	0.10-0.20	128	2.5-5	2 065	
		0.478	0.20-0.40	90	5-10	2 911	
Alambre de bronce fosforado**	B159	0	0.004-0.022	145	0.1-0.6	1 000	8.0
		0.028	0.022-0.075	121	0.6-2	913	
		0.064	0.075-0.30	110	2-7.5	932	

Fig 62. Propiedades y dimensiones de materiales para resortes a compresión

Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

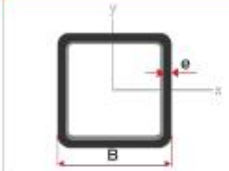
Material	Límite elástico, porcentaje de S_{ut}, tensión, torsión		Diámetro d, pulg	E		G	
				Mpsi	GPa	Mpsi	GPa
Alambre de piano A228	65-75	45-60	<0.032	29.5	203.4	12.0	82.7
			0.033-0.063	29.0	200	11.85	81.7
			0.064-0.125	28.5	196.5	11.75	81.0
			>0.125	28.0	193	11.6	80.0
Resorte estirado duro A227	60-70	45-55	<0.032	28.8	198.6	11.7	80.7
			0.033-0.063	28.7	197.9	11.6	80.0
			0.064-0.125	28.6	197.2	11.5	79.3
			>0.125	28.5	196.5	11.4	78.6

Fig 63. Propiedades del alambre de piano A228

Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Anexo 1.4 Propiedades y dimensiones del tubo estructural 50x50x3 mm



DENOMINACIÓN	LONGITUD
	6 metros. Otras longitudes bajo pedido y volúmenes mínimos.

DESCRIPCIÓN

Tubería soldada, conformada en frío con acero laminada en caliente.

USOS

Estructuras metálicas, tales como: columnas, andamios, galpones y vigas. También aplicable en la industria automotriz, ganadera y señalización.

NORMAS TÉCNICAS

NTE INEN 2415 (Ecuatoriana)

ASTM A500 (Americana)

A36 (Americana)

GRADO 50

Diámetro Exterior (B)		Espesor (e)	Área	Peso	Momento de inercia	Módulo de resistencia	Radio de giro
pulg	mm	mm	cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm
3/4	20	1,20	0,86	0,67	0,49	0,48	0,76
		1,50	1,05	0,83	0,58	0,58	0,75
		1,80	1,23	0,98	0,66	0,66	0,73
		2,00	1,34	1,05	0,70	0,70	0,72
1	25	1,20	1,10	0,86	1,01	0,81	0,96
		1,50	1,35	1,06	1,22	0,97	0,95
		1,80	1,59	1,25	1,39	1,11	0,94
		2,00	1,74	1,36	1,49	1,19	0,93
1 1/4	30	1,20	1,34	1,05	1,81	1,21	1,16
		1,50	1,65	1,29	2,18	1,46	1,15
		1,80	1,95	1,53	2,53	1,69	1,14
		2,00	2,15	1,68	2,74	1,83	1,13
1 1/2	40	1,20	1,82	1,42	4,49	2,25	1,57
		1,50	2,25	1,77	5,49	2,75	1,56
		1,80	2,67	2,09	6,39	3,19	1,55
		2,00	2,94	2,31	6,95	3,47	1,54
		3,00	4,21	3,30	9,36	4,68	1,49
		4,00	5,35	4,20	11,18	5,59	1,45
2	50	1,50	2,85	2,24	11,07	4,43	1,97
		1,80	3,39	2,68	12,95	5,18	1,96
		2,00	3,74	2,93	14,15	5,66	1,95
		3,00	5,41	4,25	19,50	7,80	1,90
		4,00	6,95	5,45	23,84	9,54	1,85
2 3/8	60	1,50	3,45	2,71	19,52	6,51	2,38
		1,80	4,11	3,22	22,95	7,65	2,36
		2,00	4,54	3,56	25,15	8,38	2,35
		3,00	6,61	5,19	35,17	11,72	2,31
		4,00	8,55	6,71	43,65	14,55	2,26
3	75	1,50	4,35	3,42	38,92	10,38	2,99
		1,80	5,19	4,07	45,95	12,25	2,98
		2,00	5,74	4,50	50,50	13,47	2,97
		3,00	8,41	6,60	71,65	19,11	2,92
		4,00	10,95	8,59	90,29	24,08	2,87
4	100	1,80	6,99	5,48	111,62	22,32	4,00
		2,00	7,74	6,07	123,01	24,60	3,99
		3,00	11,41	8,96	177,08	35,42	3,94
		4,00	14,95	11,73	226,46	45,29	3,89
		5,00	18,36	14,41	271,36	54,27	3,84
		6,00	21,63	16,98	312,00	62,40	3,80

Fig 64. Dimensiones tubo estructural cuadrado

Anexo 1.5 Propiedades y dimensiones del eje de teflón

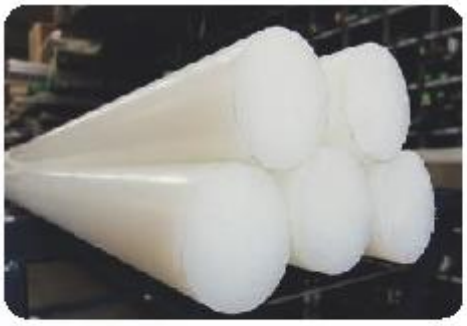
EJE DE NYLON

Especificaciones Generales:

El Eje de Nylon es resistente a los agentes químicos (no tóxicos). Excelente rigidez estructural con facilidad de mecanizado. Posee resistencia a los golpes.

Beneficios:

-Alta resistencia mecánica
-Buena resistencia a la fatiga
-Excelentes características al deslizamiento
-Resistencia al desgaste.



Aplicaciones:

Se utiliza para la aplicación de:
Moldes de inyección, poleas, rodamientos engranajes, empaques, separadores de bobina.



DIMENSIONES
DIÁMETRO
1"
1-1/4"
1-1/2"
2"
2-1/2"
3"

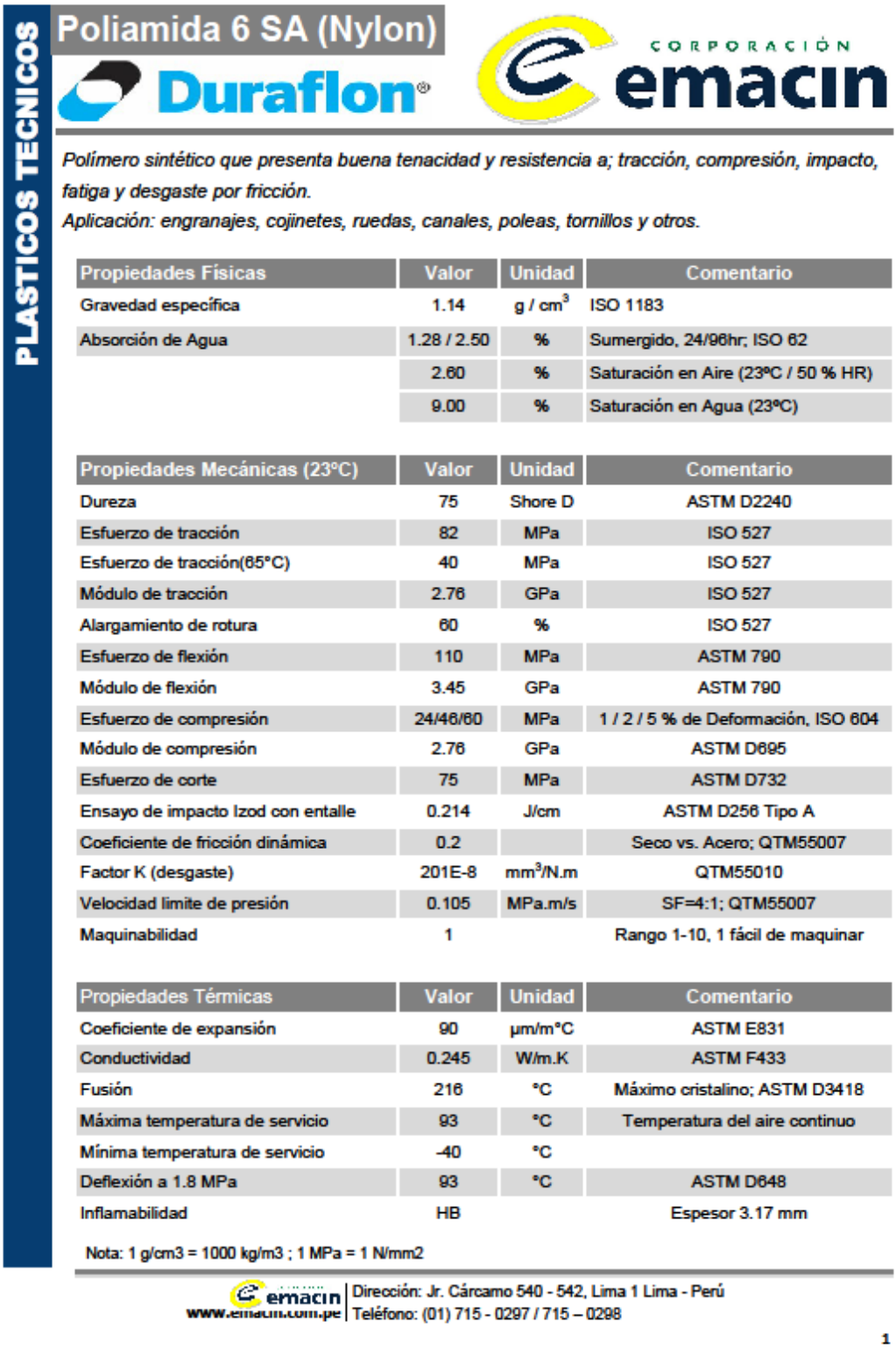
EJES

www.dipacmanta.com

53

Fig 65. Ficha técnica eje de Nylón

Anexo 1.6 Propiedades polímero Poliamida 6 SA (Nylon) PA



PLASTICOS TECNICOS

Poliamida 6 SA (Nylon)

Duraflon®

CORPORACIÓN emacin

Polímero sintético que presenta buena tenacidad y resistencia a; tracción, compresión, impacto, fatiga y desgaste por fricción.

Aplicación: engranajes, cojinetes, ruedas, canales, poleas, tornillos y otros.

Propiedades Físicas	Valor	Unidad	Comentario
Gravedad específica	1.14	g / cm^3	ISO 1183
Absorción de Agua	1.28 / 2.50	%	Sumergido, 24/96hr; ISO 62
	2.60	%	Saturación en Aire (23ºC / 50 % HR)
	9.00	%	Saturación en Agua (23ºC)

Propiedades Mecánicas (23°C)	Valor	Unidad	Comentario
Dureza	75	Shore D	ASTM D2240
Esfuerzo de tracción	82	MPa	ISO 527
Esfuerzo de tracción(65°C)	40	MPa	ISO 527
Módulo de tracción	2.76	GPa	ISO 527
Alargamiento de rotura	60	%	ISO 527
Esfuerzo de flexión	110	MPa	ASTM 790
Módulo de flexión	3.45	GPa	ASTM 790
Esfuerzo de compresión	24/46/60	MPa	1 / 2 / 5 % de Deformación, ISO 604
Módulo de compresión	2.76	GPa	ASTM D695
Esfuerzo de corte	75	MPa	ASTM D732
Ensayo de impacto Izod con entalle	0.214	J/cm	ASTM D256 Tipo A
Coeficiente de fricción dinámica	0.2		Seco vs. Acero; QTM55007
Factor K (desgaste)	201E-8	mm^3/N.m	QTM55010
Velocidad limite de presión	0.105	MPa.m/s	SF=4:1; QTM55007
Maquinabilidad	1		Rango 1-10, 1 fácil de maquinar

Propiedades Térmicas	Valor	Unidad	Comentario
Coeficiente de expansión	90	µm/m°C	ASTM E831
Conductividad	0.245	W/m.K	ASTM F433
Fusión	216	°C	Máximo cristalino; ASTM D3418
Máxima temperatura de servicio	93	°C	Temperatura del aire continuo
Mínima temperatura de servicio	-40	°C	
Deflexión a 1.8 MPa	93	°C	ASTM D648
Inflamabilidad	HB		Espesor 3.17 mm

Nota: 1 g/cm3 = 1000 kg/m3 ; 1 MPa = 1 N/mm2

emacin www.emacin.com.pe | Dirección: Jr. Cárcamo 540 - 542, Lima 1 Lima - Perú
Teléfono: (01) 715 - 0297 / 715 – 0298

1

Fig 66. Propiedades del polímero Nylón PA

Anexo 1.7 Propiedades polímero Polipropileno PP

PLASTICOS TECNICOS

Polipropileno-PP

Duraflon®

CORPORACIÓN emacin

Polímero termoplástico que presenta excelente resistencia química e inocuidad ante compuestos orgánicos y ácidos, siendo así de aplicación para la industria alimentaria, posee buena rigidez, dureza y resistencia superficial; logrando así una buena estabilidad dimensional.
Aplicación: cajas, botellas, tuberías, industria automotriz, envases de alimentos y cosméticos.

Propiedades Físicas	Valor	Unidad	Comentario
Gravedad específica	0.91	g / cm^3	ASTM D792
Absorción de Agua	<= 0.010	%	Sumergido, 24hr; ASTM D570
	<= 0.010	%	Saturación en Agua (23ºC), ASTM D570

Propiedades Mecánicas (23°C)	Valor	Unidad	Comentario
Dureza	78	Shore D	ASTM D2240
Esfuerzo de tracción	33	MPa	ASTM D638
Esfuerzo de tracción(65°C)	2.76	MPa	ASTM D638
Módulo de tracción	1.31	GPa	ASTM D638
Alargamiento de rotura	400	%	ASTM D638
Esfuerzo de flexión	33.1	MPa	ASTM D790
Módulo de flexión	1.34	GPa	ASTM D790
Esfuerzo de compresión	34.5	MPa	10 % de Deformación, ASTM D695
Módulo de compresión	1.38	GPa	ASTM D695
Ensayo de impacto Izod con entalle	0.641	J/cm	ASTM D256 Tipo A
Coeficiente de fricción dinámica	0.25		Seco vs. Acero; QTM55007
Maquinabilidad	3		Rango 1-10, 1 fácil de maquinar

Propiedades Térmicas	Valor	Unidad	Comentario
Fusión	164	°C	Máximo cristalino; ASTM D3418
Máxima temperatura de servicio	82	°C	Temperatura del aire continuo
Deflexión a 1.8 MPa	98	°C	ASTM D648
Inflamabilidad	HB		Espesor 3.17 mm

Nota: 1 g/cm3 = 1000 kg/m3 ; 1 MPa = 1 N/mm2

emacin
www.emacin.com.pe
Dirección: Jr. Cárcamo 540 - 542, Lima 1 Lima - Perú
Teléfono: (01) 715 - 0297 / 715 – 0298

1

Fig 67. Propiedades del polímero Polipropileno PP

ANEXO B (Tablas y graficas de concentradores de esfuerzo)

Anexo 2.1 Factor por condición superficial ka

Factor de superficie k_a

Acabado superficial	Factor a S_{ut}, kpsi	Factor a S_{ut}, MPa	Exponente b
Esmerilado	1.34	1.58	−0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	−0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	−0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	−0.995

Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Anexo 2.2 Factor por modificación de tamaño kb

Factor de tamaño k_b

El factor de tamaño se evaluó en 133 conjuntos de puntos de datos.[15] Los resultados para flexión y torsión pueden expresarse como

$$k_b = \begin{cases} (d/0.3)^{-0.107} = 0.879d^{-0.107} & 0.11 \le d \le 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \le 10 \text{ pulg} \\ (d/7.62)^{-0.107} = 1.24d^{-0.107} & 2.79 \le d \le 51 \text{ mm} \\ 1.51d^{-0.157} & 51 < d \le 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (6\text{-}20)$$

Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1 \quad (6\text{-}21)$$

Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Anexo 2.3 Factor de modificación por carga kc

Factor de carga k_c

$$k_c = \begin{cases} 1 & \text{flexión} \\ 0.85 & \text{axial} \\ 0.59 & \text{torsión}[17] \end{cases}$$

Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Anexo 2.4 Factor de modificación por confiabilidad ke

Factor de confiabilidad k_e

Confiabilidad, %	Variación de transformación z_a	Factor de confiabilidadr k_e
50	0	1.000
90	1.288	0.897
95	1.645	0.868
99	2.326	0.814
99.9	3.091	0.753
99.99	3.719	0.702
99.999	4.265	0.659
99.9999	4.753	0.620

Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Anexo 2.5 Limite de resistencia a la fatiga de viga rotatoria Se´

$$S_e' = \begin{cases} 0.5S_{ut} & S_{ut} \le 200 \text{ kpsi } (1\,400 \text{ MPa}) \\ 100 \text{ kpsi} & S_{ut} > 200 \text{ kpsi} \\ 700 \text{ MPa} & S_{ut} > 1\,400 \text{ MPa} \end{cases}$$

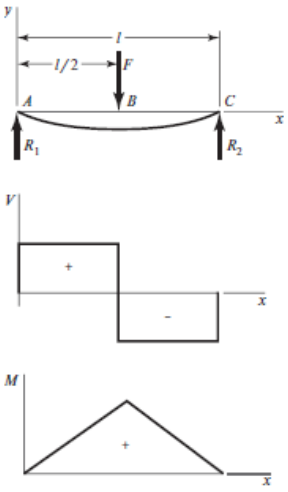
Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

Anexo 2.6 Reacciones, diagrama de fuerza cortante y momento flector de una viga simplemente apoyada

Tabla A-9

Cortante, momento y deflexión de vigas (*continuación*)
(*Nota:* La fuerza y las reacciones de momento son positivas en las direcciones que se muestran; las ecuaciones de la fuerza cortante V y el momento cortante M siguen las convenciones de signos que se dieron en la sección 3-2.)

5 Apoyos simples: carga central



$$R_1 = R_2 = \frac{F}{2}$$

$$V_{AB} = R_1 \qquad V_{BC} = -R_2$$

$$M_{AB} = \frac{Fx}{2} \qquad M_{BC} = \frac{F}{2}(l - x)$$

$$y_{AB} = \frac{Fx}{48EI}(4x^2 - 3l^2)$$

$$y_{\text{máx}} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

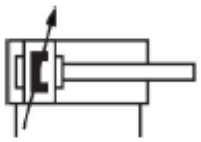
Fuente: Shigley, Diseño en Ingeniería Mecánica.

ANEXO C (Especificaciones del actuador neumático)

Cilindro normalizado
DSBC-63-150-PPVA-N3
Número de artículo: 2125494

FESTO





General operating condition

Hoja de datos

Característica	Valor
Carrera	150 mm
Diámetro del émbolo	63 mm
Rosca del vástago	M16x1,5
Amortiguación	Amortiguación neumática, regulable en ambos lados
Posición de montaje	Cualquiera
Conforme a la norma	ISO 15552
Extremo del vástago	Rosca exterior
Forma constructiva	Émbolo Vástago Camisa perfilada
Detección de posición	Para sensor de proximidad
Símbolo	00991235
Variantes	Vástago simple
Presión de funcionamiento	0.04 MPa ... 1.2 MPa
Presión de funcionamiento	0.4 bar ... 12 bar
Modo de funcionamiento	Doble efecto
Medio de funcionamiento	Aire comprimido según ISO 8573-1:2010 [7:4:4]
Nota sobre el medio de trabajo/mando	Admite funcionamiento con lubricación (lo cual requiere seguir utilizándolo)
Clase de resistencia a la corrosión CRC	2 - riesgo de corrosión moderado
Conformidad PWIS	VDMA24364-B1/B2-L
Temperatura ambiente	-20 °C ... 80 °C
Energía de impacto en las posiciones finales	1.3 J
Longitud de amortiguación	22 mm
Fuerza teórica con 6 bar, retorno	1682 N
Fuerza teórica con 6 bar, avance	1870 N
Masa móvil	805 g
Masa móvil con carrera de 0 mm	430 g
Aumento masa móvil por 10 mm de carrera	25 g
Peso del producto	2670 g
Peso básico con carrera de 0 mm	1740 g
Peso adicional por 10 mm de carrera	62 g
Tipo de fijación	A elegir: Con rosca interior Con accesorios
Conexión neumática	G3/8

Fig 68. Ficha técnica del actuador neumático

ANEXO D (Especificaciones técnicas de la máquina)

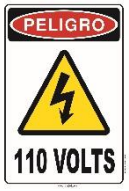
Manual de funcionamiento

Descripción de la máquina de inyección de plástico vertical

a) Sistema de inyección y cerrado son accionados mediante actuadores neumáticos con un rango de regulación de 0.4 hasta 12 bares de presión.
b) Se puede seleccionar un ciclo manual o un ciclo automático según convenga mediante un selector de dos posiciones.
c) El control de temperatura alcanza y mantiene la temperatura de trabajo, con un rango de regulación de 10 hasta 400 °C.
d) El sistema de alimentación es monofásico de 110 VAC.

Normas de seguridad

- Leer y comprender el manual de operación andes de utilizar la máquina.
- Obligatorio! Utilizar equipo de protección personal, guantes térmicos, protección auditiva, ropa de trabajo.
- Peligro! Riesgo eléctrico, Prohibido manipular el tablero de control sin supervisión técnica.



- Peligro! Riesgo de atrapamiento, no introducir manos u objetos en el área del inyector/tolva durante el funcionamiento.
- Peligro! Riesgo de atrapamiento, no introducir manos u objetos en el área del molde durante el funcionamiento.



- Verificar que no existan fugas de aire o cables expuestos antes de encender la máquina.
- Precaución! Superficie caliente, evitar tocar los elementos térmicos y los demás elementos que se encuentran en contacto.



- En caso de emergencia presionar el botón de Reset.
- Prohibido! Realizar modificaciones sin autorización.

Verificación de la maquina

Antes del encendido:

Inspeccionar el sistema neumático verificando que no existan mangueras sueltas o conexiones en mal estado

Inspeccionar el sistema eléctrico verificando que no existan cables sueltos.

Verificar que los elementos móviles se encuentren en la posición inicial (inyector arriba- molde abierto).

Comprobar que el cañón de plastificación haya sido purgando si se desea inyectar otro tipo de material polímero.

Verificar que el molde haya sido instalado correctamente

Sistema de cierre

Encender el sistema de alimentación de aire comprimido (compresor) y verificar que se encuentre operando en un rango aceptable para la maquina inyectora.

Verificar que la maquina se encuentre operando en un ciclo manual (Selector superior izquierdo)

Accionar el selector denominado “Molde” cambiando la posición de abierto a cerrado y verificar el movimiento suave del molde, se puede calibrar la de velocidad mediante los tornillos de los racores del pistón horizontal.

Verificar que las mitades del molde cierren de forma correcta, para evitar rebabas en el contorno de las piezas moldeadas.

Ajustar la presión en la unidad de mantenimiento FRL si es necesario.

Sistema de inyección

Accionar el selector denominado “inyector” cambiando la posición de arriba a abajo para verificar el recorrido y acercamiento de la boquilla.

Verificar la alineación del embolo inyector con el cañón

Verificar la alineación de la boquilla de inyección con el bebedero del molde para evitar choques y deformaciones.

Verificar que el embolo inyector regrese a su posición inicio luego de realizar la inyección.

Sistema de calentamiento/fundición

Accionar el selector denominado “Control de temperatura” cambiando la posición de “OFF” a “ON”.

Calibrar la temperatura de trabajo dependiendo del polímero que se vaya a inyectar.

Realizar algunas pruebas de inyección una vez se alcance la temperatura ideal.

Pasos para el montaje de los moldes

1. Fijar la mitad del molde móvil a la placa de fijación con la ayuda de los pernos M6x1 de 25 mm de largo, con la ayuda de una llave Allen #6.

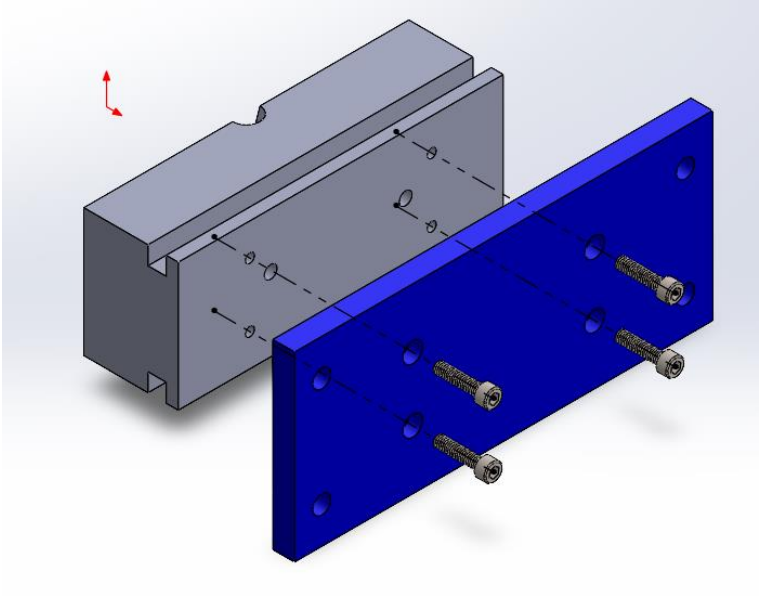


Fig 69. Montaje pernos M6x25

Fuente: [Autor]

2. Fijar el ensamble placa de fijación y mitad de molde a la placa móvil con la ayuda de los pernos M10x1.5 de 20 mm de largo, con la ayuda de una llave Allen #8.

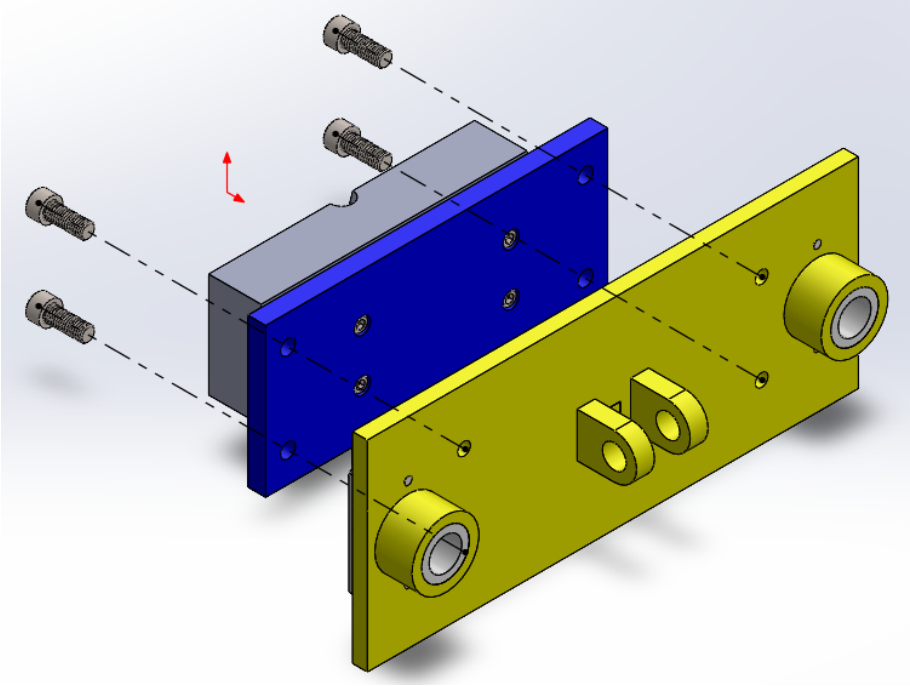
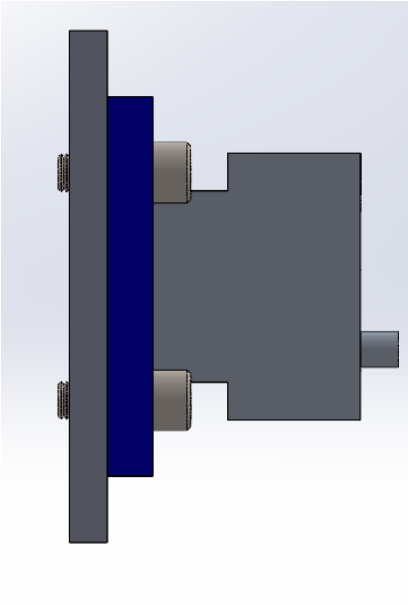
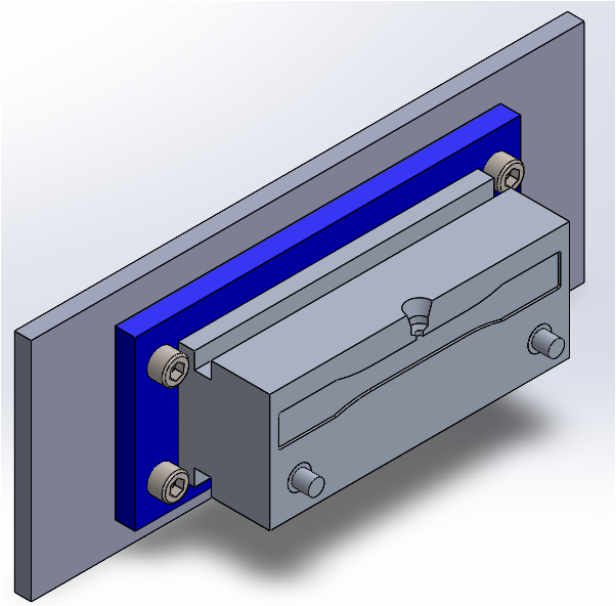


Fig 70. Montaje pernos M10x20

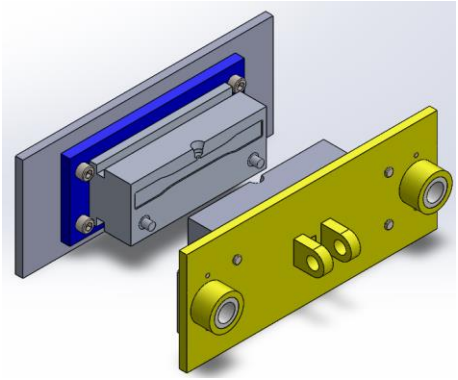
Fuente: [Autor]

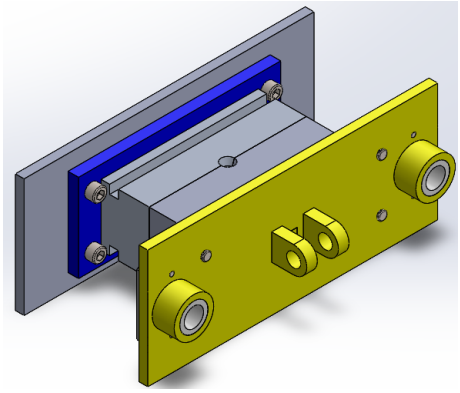
3. Repetir el mismo proceso para la otra mitad del molde fijo y placa fija.

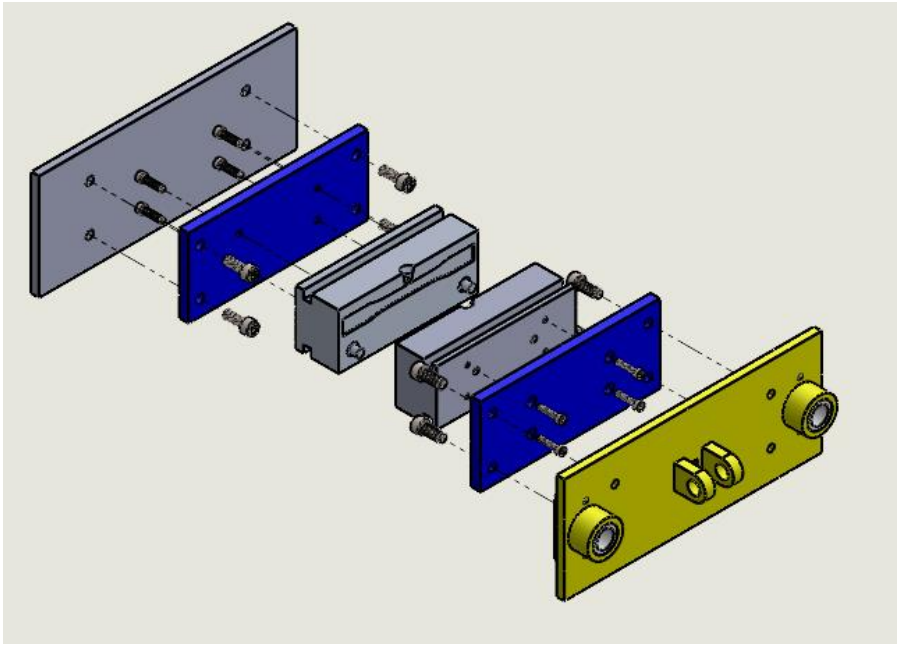




4. Verificar que el molde cierre y abra sin ninguna dificultad.







Ciclo manual

Verificar que el selector se encuentre en la posición de manual.

Encendido de las resistencia tipo banda hasta alcanzar la temperatura de plastificación ideal para el polímero a inyectar.

Carga de material en la tolva.

Cierre de molde manualmente mediante el selector

Accionar el selector de inyección en tiempo necesario para llenar la cavidad del molde.

Regresar el inyector a su posición inicial

Esperar el tiempo de enfriamiento de la pieza y abrir el molde.

Retirar la pieza moldeada.

Inspeccionar en busca de defectos superficiales.

Ciclo automático (se cumple solo 1 vez)

Verificar que el selector se encuentre en la posición de automático.

Encendido de las resistencia tipo banda hasta alcanzar la temperatura de plastificación ideal para el polímero a inyectar.

Configurar el tiempo de inyección con el "Timmer 1 inyección" rango de calibración de 0-10 segundos.

Configurar el tiempo de cierre y apertura con el "Timmer 2 cierre" rango de calibración de 0-10 segundos (aquí se debe considerar y sumar un tiempo de enfriamiento adecuado dependiendo la cavidad del molde).

Accionar el botón de "inicio" para que comience el ciclo automático.

Si se llega a presentar algún inconveniente durante el ciclo, se presiona el botón "Reset" para cancelar la operación. Se recomienda supervisar constantemente en la duración del ciclo.

Retirar la pieza moldeada.

Inspeccionar en busca de defectos superficiales.

Apagado de los sistemas

Purgar el cañón de plastificación, se recomienda eliminar el material sobrante.

Regresar los elementos móviles a sus posiciones iniciales de reposo.

Apagar (posición "OFF") el control de temperatura.

Apagar el compresor, cierre de la válvula principal o desconectar la manguera de aire.

Se recomienda dejar en el ciclo manual para que las electroválvulas 5/2 se encuentren apagadas.

Desconectar el cable de alimentación de energía.

Realizar una limpieza general de la máquina.

Defectos y causas en las piezas

TABLA XLV.
Defectos y causas en la calidad de las piezas.

Defecto	Causa	Solución
Falta de llenado	- Baja presión de inyección. - Tiempo de inyección insuficiente. - Obstrucción en la boquilla de inyección. - Falta de dosificación del material en el cañón. - Avance demasiado lento del inyector.	- Limpieza de la boquilla de inyección - Aumentar la presión/tiempo de inyección. - Aumentar la velocidad en el inyector. - Cargar el material por la tolva de alimentación.
Rebabas	- Presión de inyección excesiva. - Molde mal alineado o desgaste excesivo.	- Reducir la presión de inyección. - Alinear los moldes.
Burbujas o poros	- Aire atrapado en el cañón de plastificación o cavidad del molde. - Material polímero a inyectar con humedad excesiva. - Velocidad excesiva en la inyección.	- Mejorar la ventilación. - Secar el material antes de utilizarlo.
Deformación	- Insuficiente tiempo de enfriamiento. - Material moldeado con alta temperatura.	- Aumentar el tiempo de enfriamiento antes del desmoldeo.
Líneas de flujo	- Temperatura del material baja. - Flujo de material muy lento.	- Aumento ligero en la presión y temperatura de inyección.
Acabado rugoso	- Superficie del molde sucia o dañada. - Temperatura de inyección incorrecta. - Superficie del molde contaminada con aceite o grasas.	- Limpiar, rectificar o pulir el molde. - Calibrar la temperatura de fundición.
Piezas frágiles	- Enfriamiento demasiado brusco. - Temperatura de inyección baja. - Mezcla de diferentes materiales.	- Aumentar la temperatura de fundición. - Reducir el tiempo de enfriamiento.

Fuente: [Autor]

Mantenimiento

TABLA XLVI.
Tabla de mantenimiento

Actividad	Diario	Semanal	Mensual	Semestral
Verificación de fujas en el sistema neumático. (mangueras, acoples, racores.)	X			
Inspección visual del cableado eléctrico y conexiones. (tablero de control y electroválvulas.)				X
Lubricación de guías y partes móviles. (columnas guías y columnas de desplazamiento.)		X		
Verificación del funcionamiento de las electroválvulas.			X	
Revisar el apriete de los pernos estructura. (soportes de los actuadores neumáticos y moldes)				X
Revisión de la resistencia eléctrica de banda.			X	
Revisión de los bocines de las placas móviles.				X
Drenaje del filtro en la unidad de mantenimiento FRL.			X	
Calibración de los tiempos de inyección y cierre.	X			

Fuente: [Autor]

ANEXO E (Fichas de estado de máquina de inyección de plástico)

TABLA XLVII.
Ficha de estado de la máquina

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS			
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	001
Fecha de ejecución:	12/3/2025	Maquina:	Inyectora vertical (Mayal)
Realizador por:	Ronquillo Paredes Luis Ángel	Revisado por:	Ing. Juan Paredes, PhD
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato-Laboratorio de Innovación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
PARÁMETROS DE PRUEBA			
Molde utilizado:	Probetas de tracción ASTM D638		
Material utilizado:	Polipropileno (PP)		
PREOPERATIVAS			
ESTADO	OPERATIVO	PARCIAL	DAÑADO
Estructura		X	
Conexiones neumáticas		X	
Tablero de control/conexiones eléctricas	X		
OPERATIVAS			
Control de temperatura	X		
Resistencia tipo banda	X		
Actuador/es neumático/s		X	
Mecanismo inyección		X	
Mecanismo cierre		X	
POST-OPERATIVAS			
Estado del molde	X		
		SI	NO
Fugas o perdida de presión		X	
Ruido o vibraciones		X	
Residuos de plástico en la boquilla o molde		X	
Presión de trabajo [bar]	------	Temperatura [°C]	170
Fuerza de cierre teórica [N]	1500		
Observaciones y recomendaciones			

TABLA XLVIII.
Ficha de estado de la máquina repotenciada

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA CARRERA DE MECÁNICA			
FICHA DE RECOLECCION DE DATOS			
Tipo de estudio:	Proyecto Técnico	Codificación:	002
Fecha de ejecución:	10/6/2025	Maquina:	Inyectora vertical (Mayal) repotenciada
Realizador por:	Ronquillo Paredes Luis Ángel	Revisado por:	Ing. Juan Paredes, PhD
Lugar:	Universidad Técnica de Ambato-Laboratorio de Innovación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica		
PARÁMETROS DE PRUEBA			
Molde utilizado:	Probetas de tracción ASTM D638		
Material utilizado:	Polipropileno (PP)		
PREOPERATIVAS			
ESTADO	OPERATIVO	PARCIAL	DAÑADO
Estructura	X		
Conexiones neumáticas	X		
Tablero de control/conexiones eléctricas	X		
OPERATIVAS			
Control de temperatura	X		
Resistencia tipo banda	X		
Actuador/es neumático/s	X		
Mecanismo inyección	X		
Mecanismo cierre	X		
POST-OPERATIVAS			
Estado del molde	X		
		SI	NO
Fugas o perdida de presión			X
Ruido o vibraciones			X
Residuos de plástico en la boquilla o molde			X
Presión de trabajo [bar]	8 bar	Temperatura [°C]	220
Fuerza de cierre teórica [N]	2780		
Observaciones y recomendaciones			

Fuente: [Autor]

Máquina de inyección de plástico vertical mayal (manual)



Fig 71. Máquina sin repotenciar (obsoleta)

Fuente: [Autor]

Máquina de inyección de plástico vertical mayal (semiautomática)



Fig 72. Máquina repotenciada

Fuente: [Autor]

ANEXO F (Planos)

PLANOS

Torneado

8



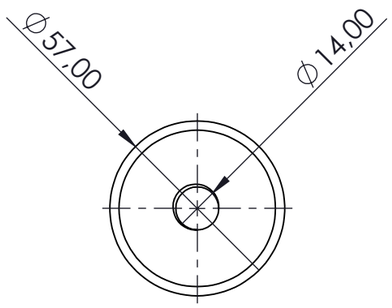
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	1466.98 g	Acero AISI 1018
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 1 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)

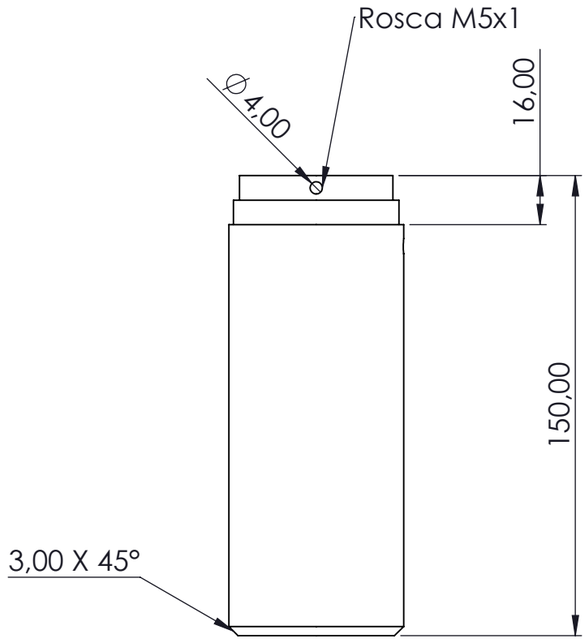
Denominación: Columna de desplazamiento

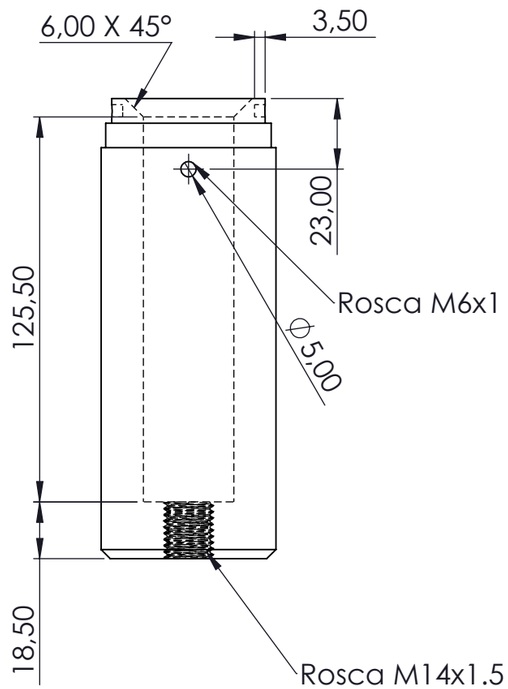
Escala: 1:4

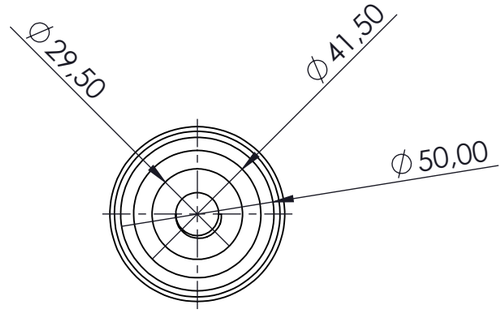
Torneado

8









Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)
±0,1	2196.65 g

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

UTA
Ingeniería Mecánica

Materiales:
AISI 1018

Denominación:
Cañón de fundición

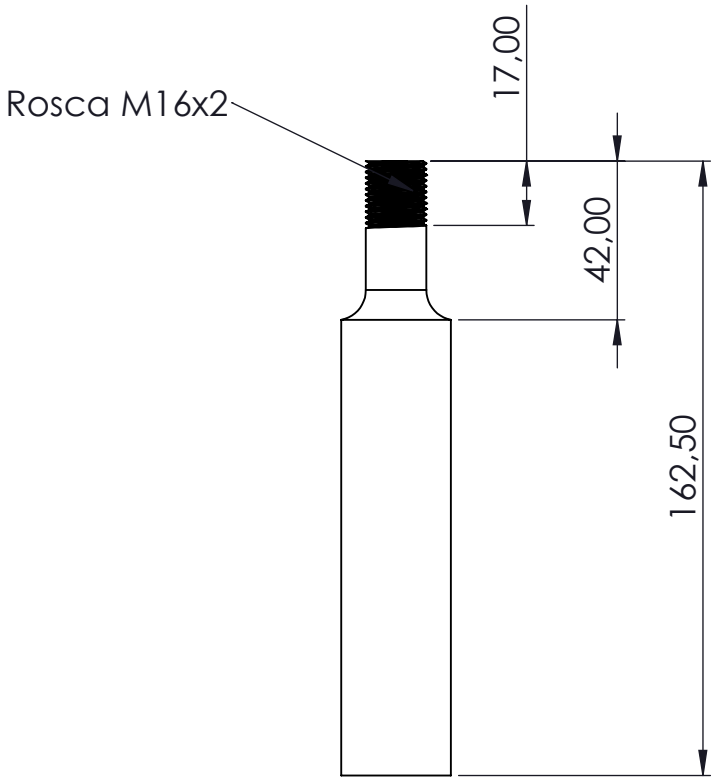
Escala:
1:2

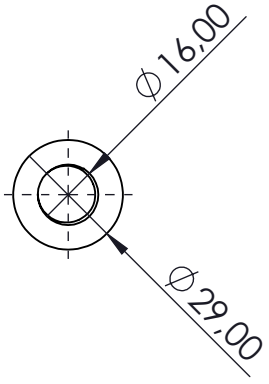
Número del dibujo: 2 de23

(Sustitución)

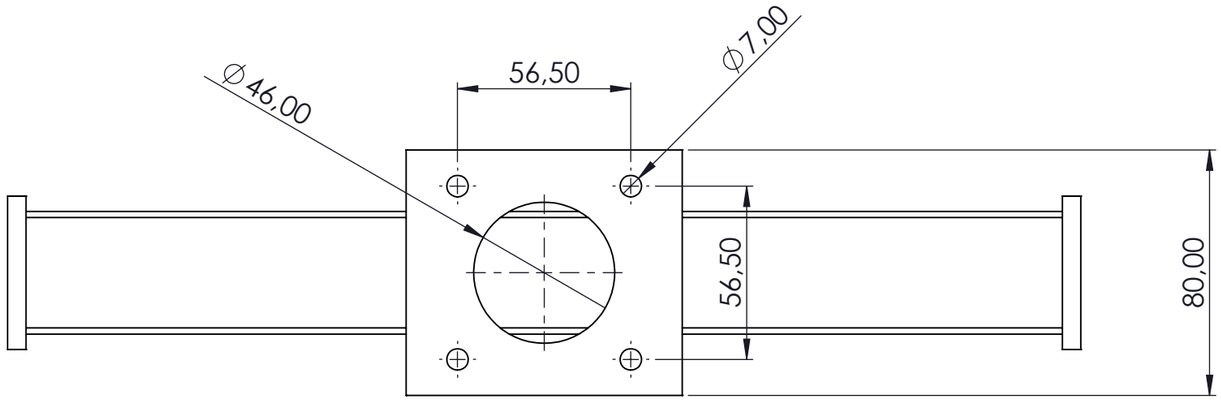
Torneado

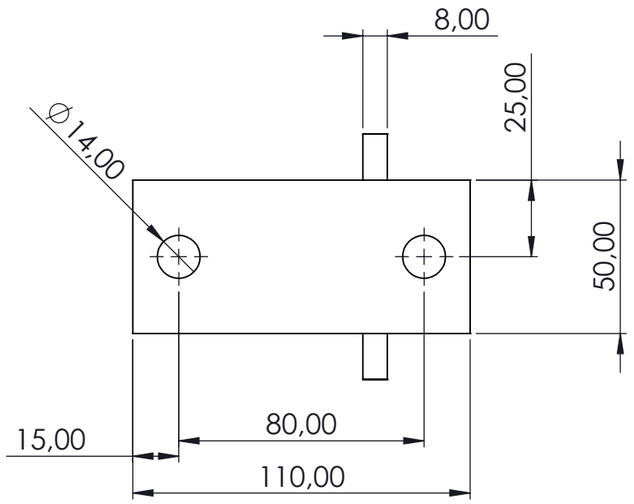
8

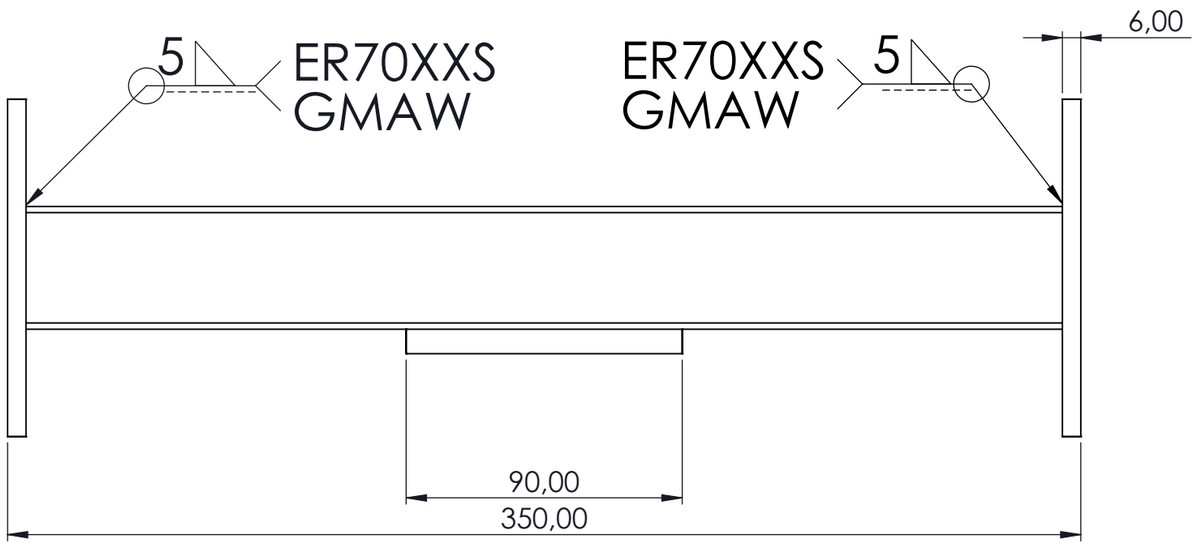




				Tolerancia		(Peso)	Materiales:
				±0,1		688.4 g	Acero AISI 1030
					Fecha	Nombre	Denominación: / Escala:
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	Embolo inyector / 1:2
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 3 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)







Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)
±0,1	2004.42 g

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

UTA
Ingeniería Mecánica

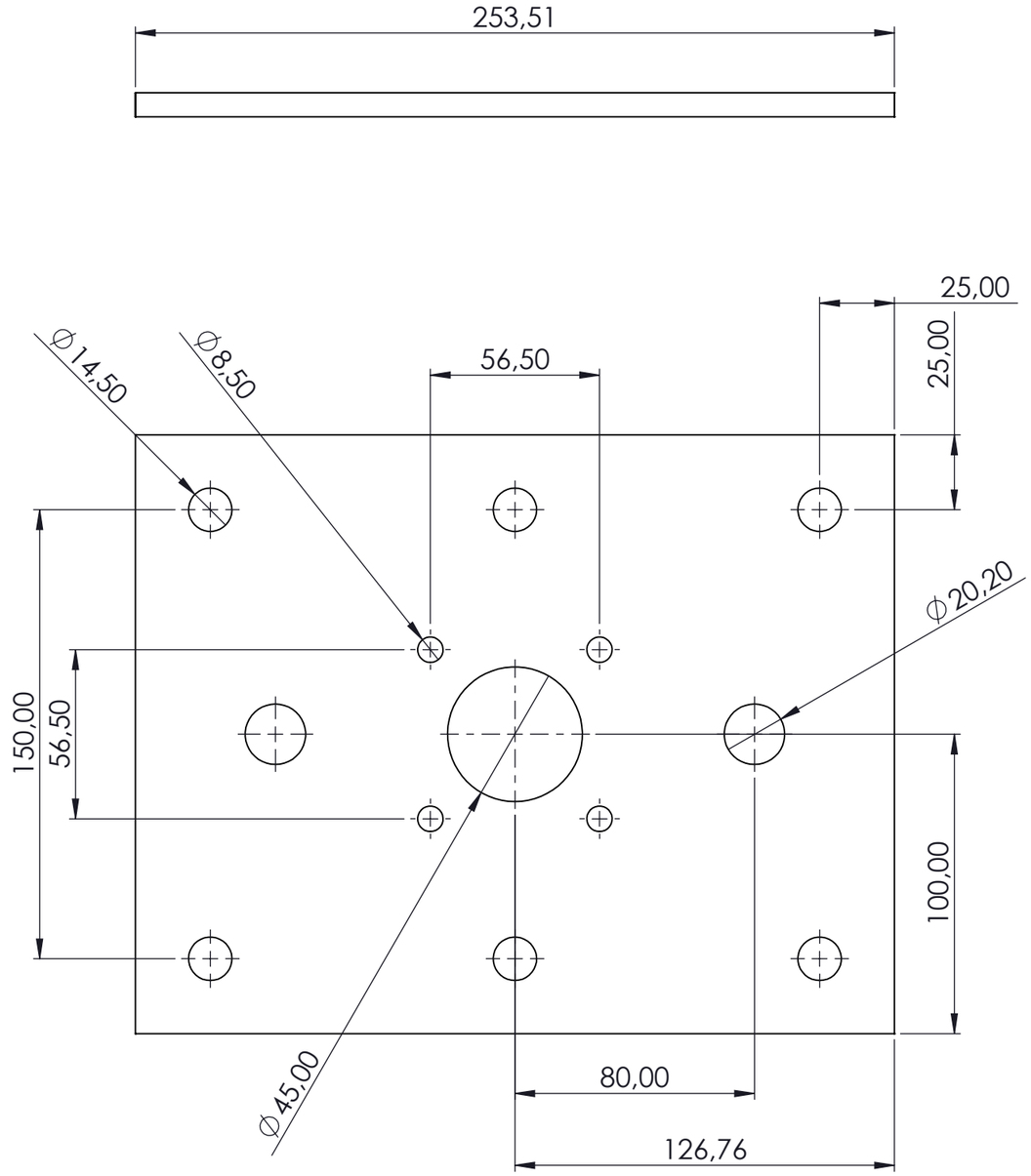
Materiales:
ASTM - A36

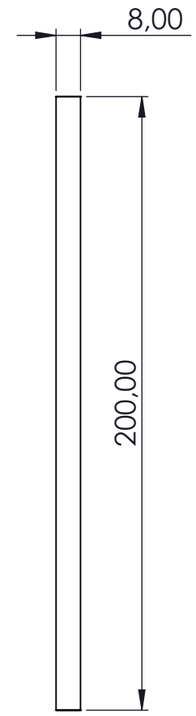
Denominación:
Base de pistón de cierre

Escala: 1:2

Número del dibujo: 4 de23

(Sustitución)





Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)	Materiales:
±0,1	2962.09 g	ASTM-A36

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

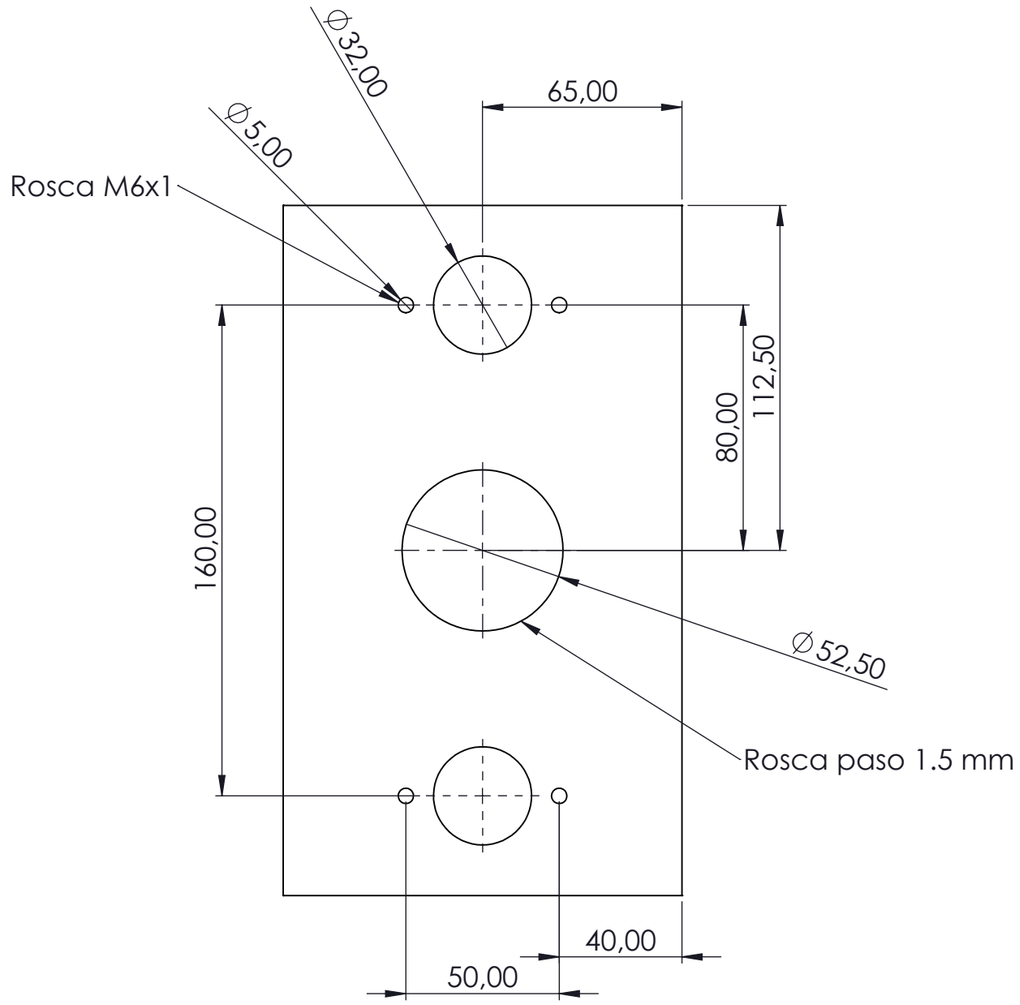
UTA
Ingeniería Mecánica

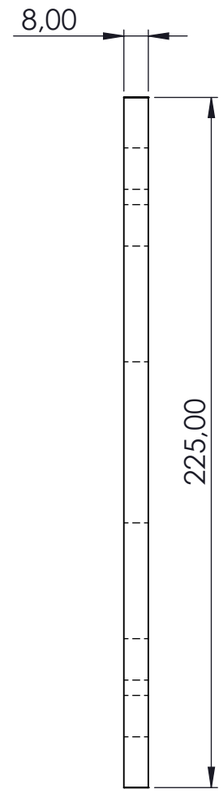
Denominación:
Base pistón inyección

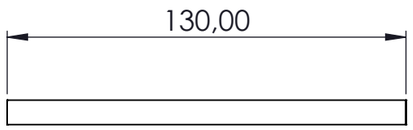
Escala: 1:2

Número del dibujo: 5 de23

(Sustitución)







Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)	Materiales:
±0,1	1573.44 g	ASTM-A36

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

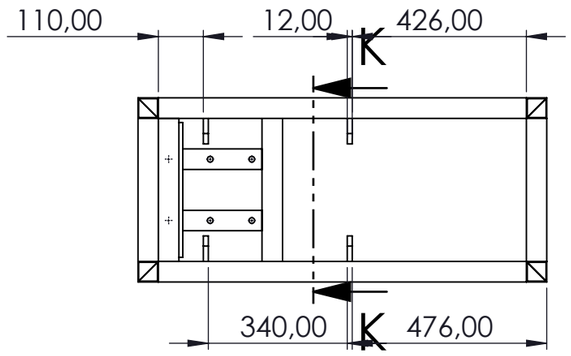
UTA
Ingeniería Mecánica

Denominación:
Placa movil de cañón

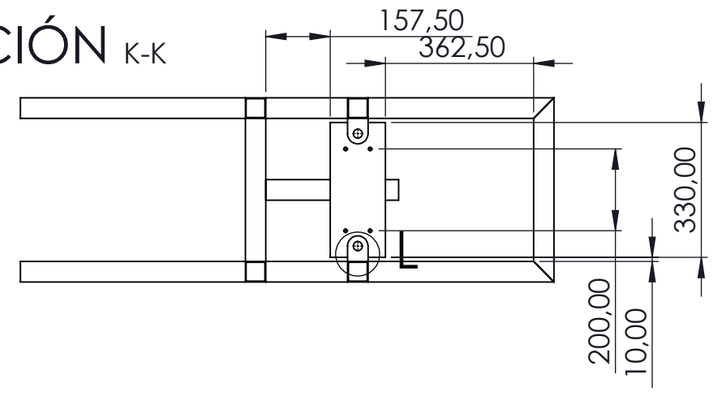
Escala: 1:2

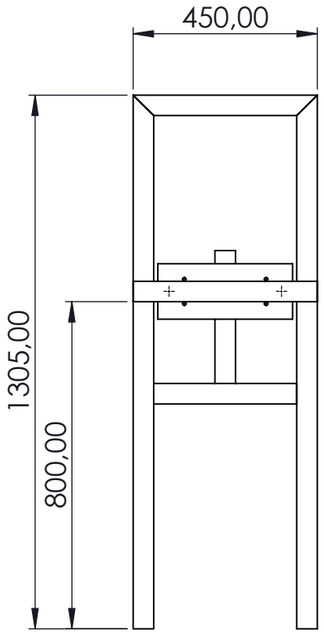
Número del dibujo: 6 de23

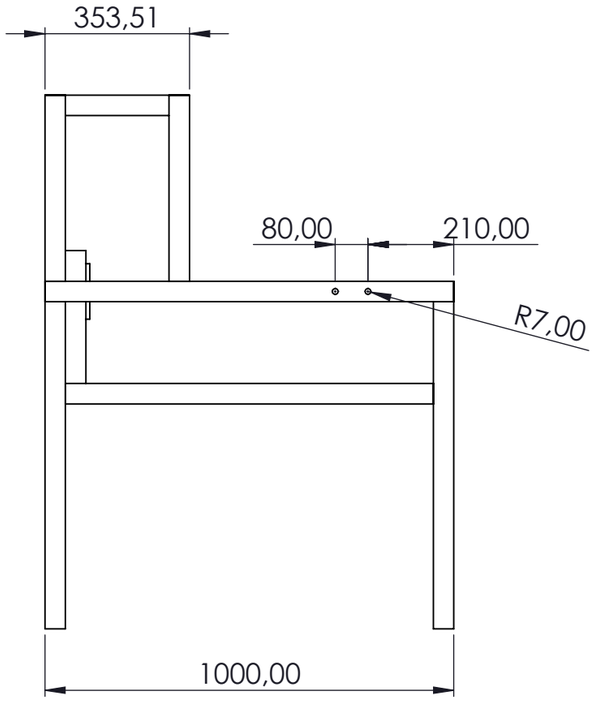
(Sustitución)

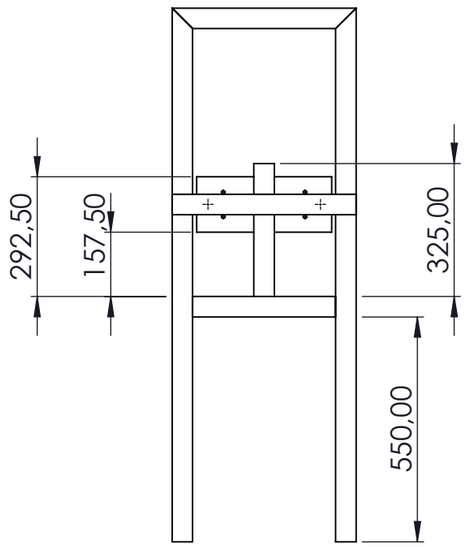


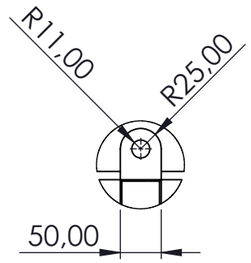
SECCIÓN K-K





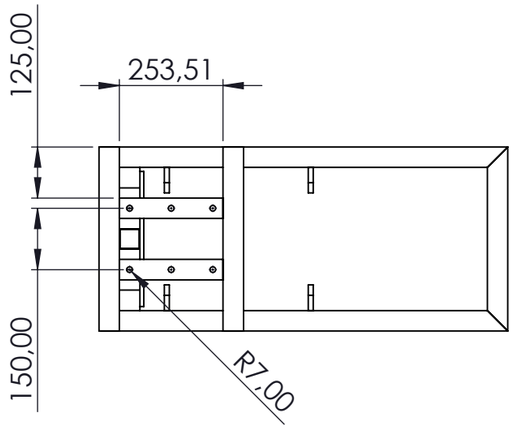






DETALLE L

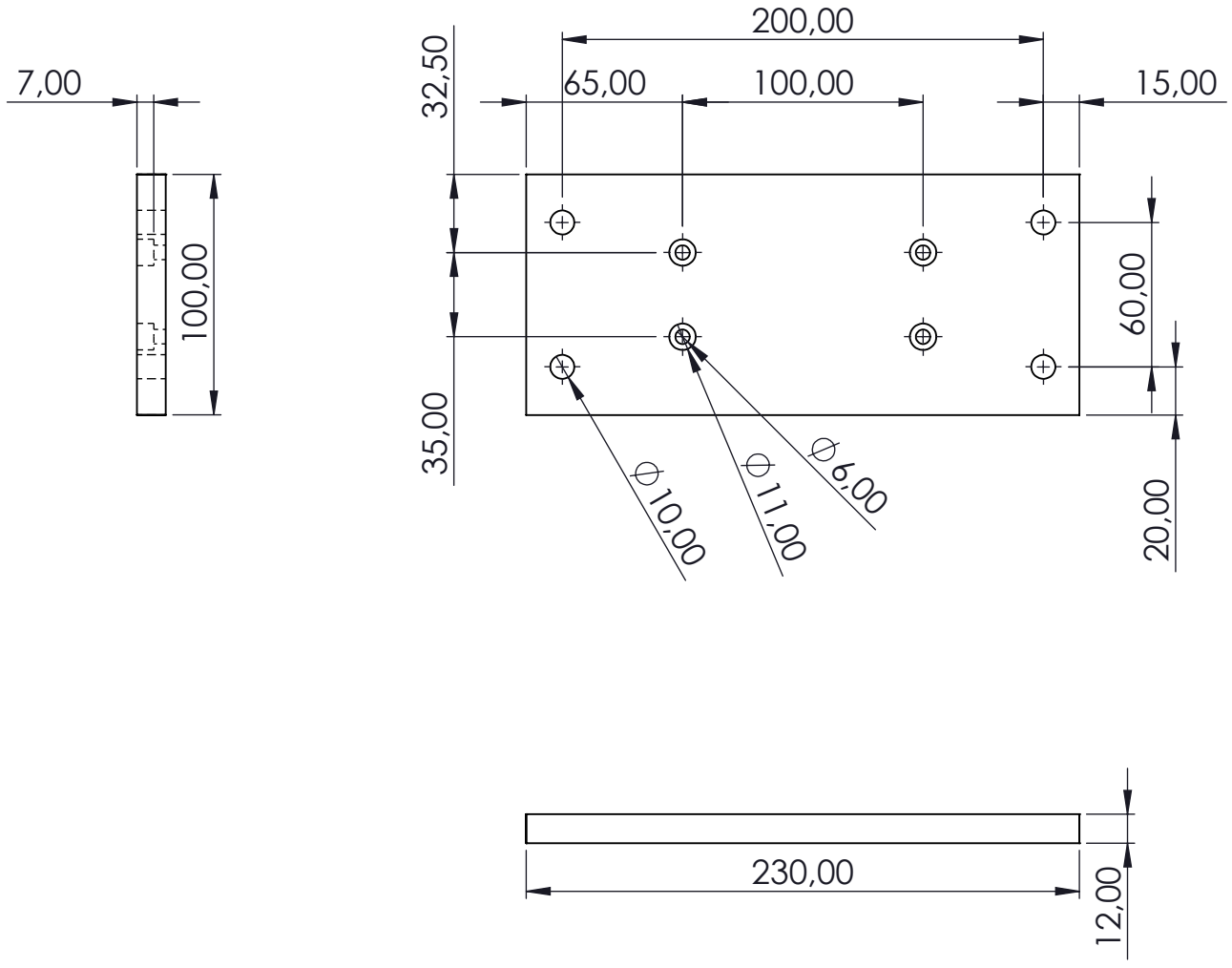
ESCALA 2 : 15



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	41450.56 g	ASTM - A500	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 7 de23	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Denominación: Estructura 2.0

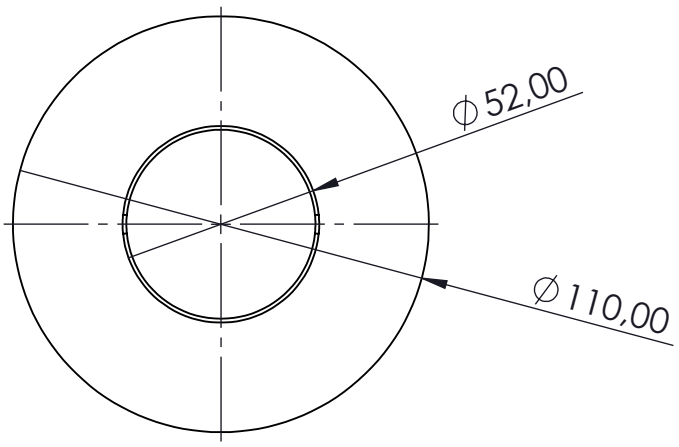
Escala: 1:15

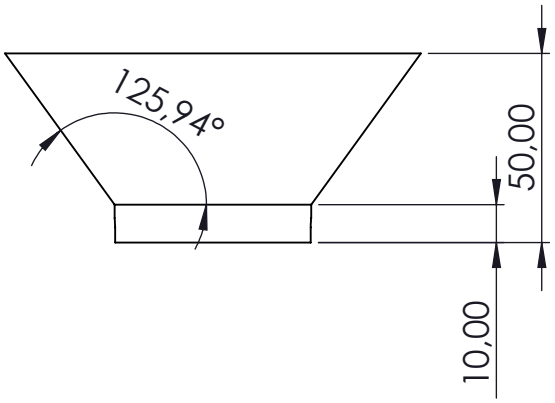


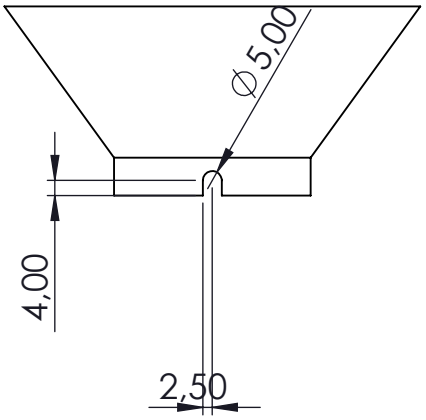
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	2103.59 g	ASTM - A36
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 8 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)

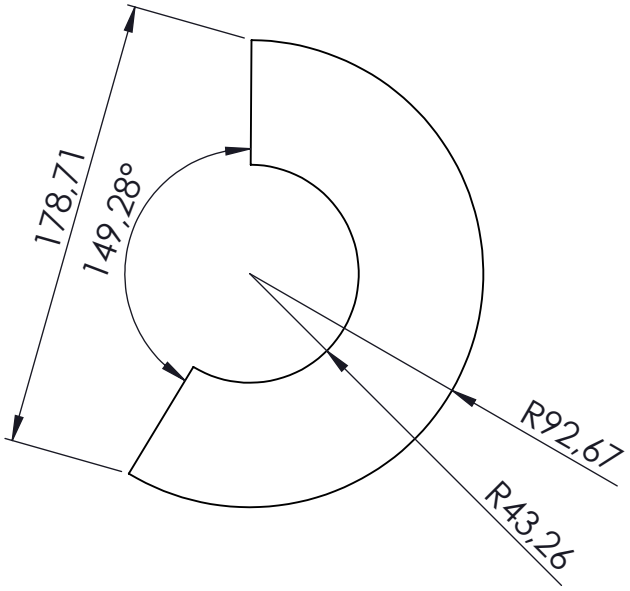
Denominación: Placa de fijación

Escala: 1:3









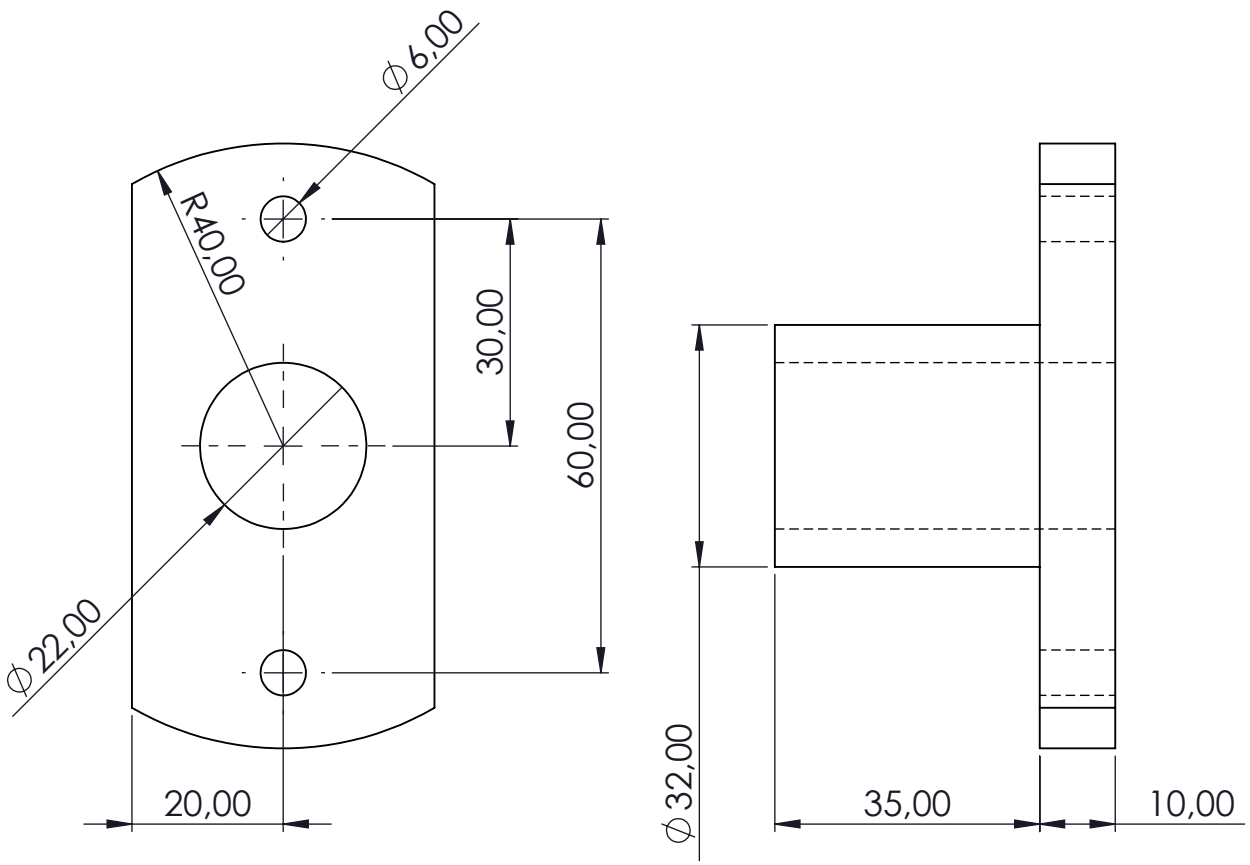
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	111.34 g	AISI 316 Inox	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 9 de23	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Denominación: Tolva de alimentación

Escala: 1:2

Torneado

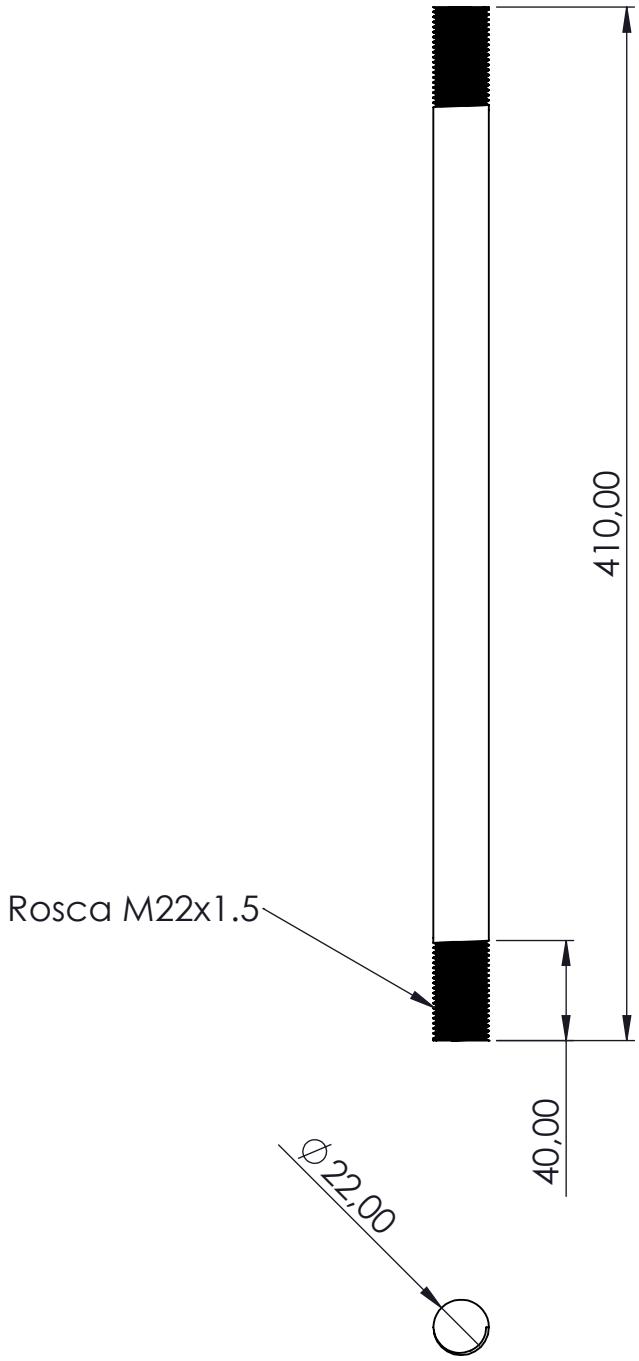
8



				Tolerancia ±0,1	(Peso) 64.88 g	Materiales: PTFE Teflón
					Fecha / Nombre	Denominación: Bocín de placa móvil — Escala: 1:1
				Dibujó:	20/6/2025 Ronquillo L.	
				Revisó:	20/6/2025 Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	20/6/2025 Ing. Paredes J.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 10 de23 — (Sustitución)

Torneado

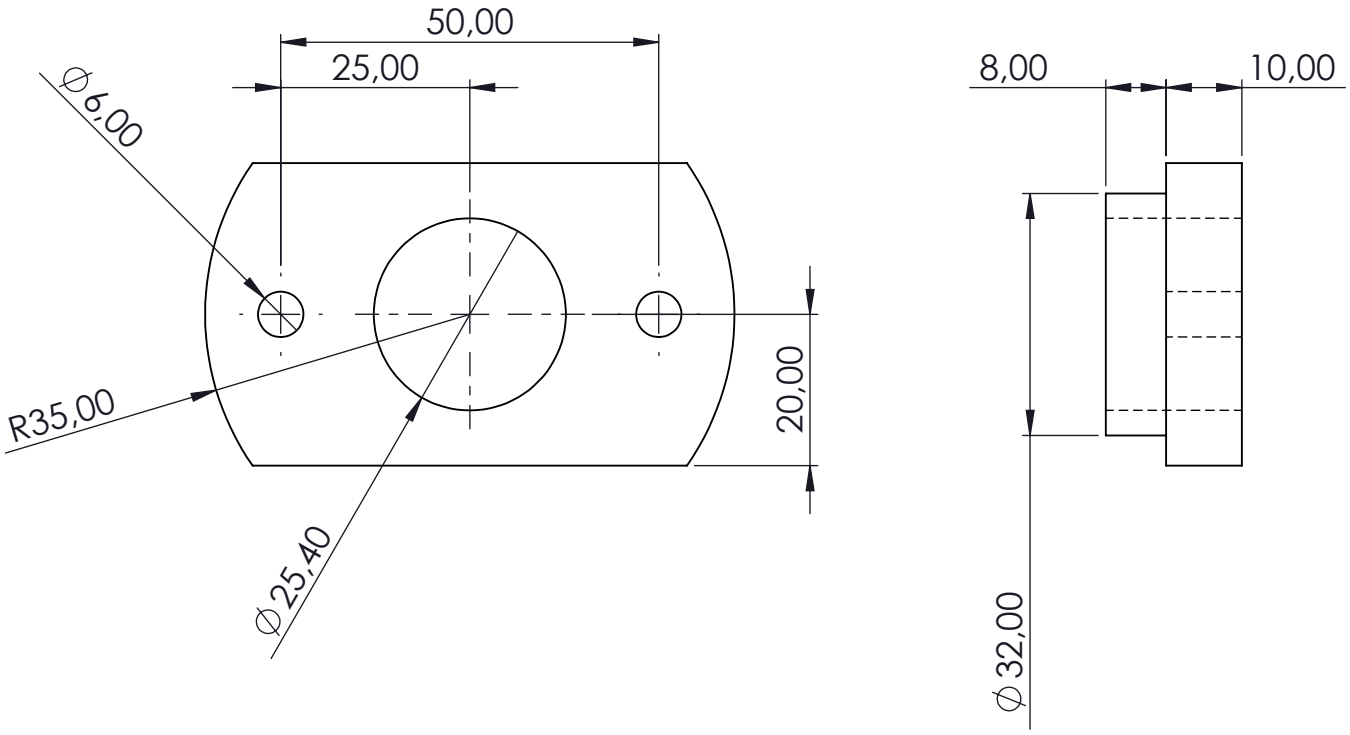
8



				Tolerancia ±0,1	(Peso) 1198.15 g	Materiales: AISI 1018
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		Denominación: Columnas guia
						Escala: 1:3
						Número del dibujo: 11 de23
						(Sustitución)

Torneado

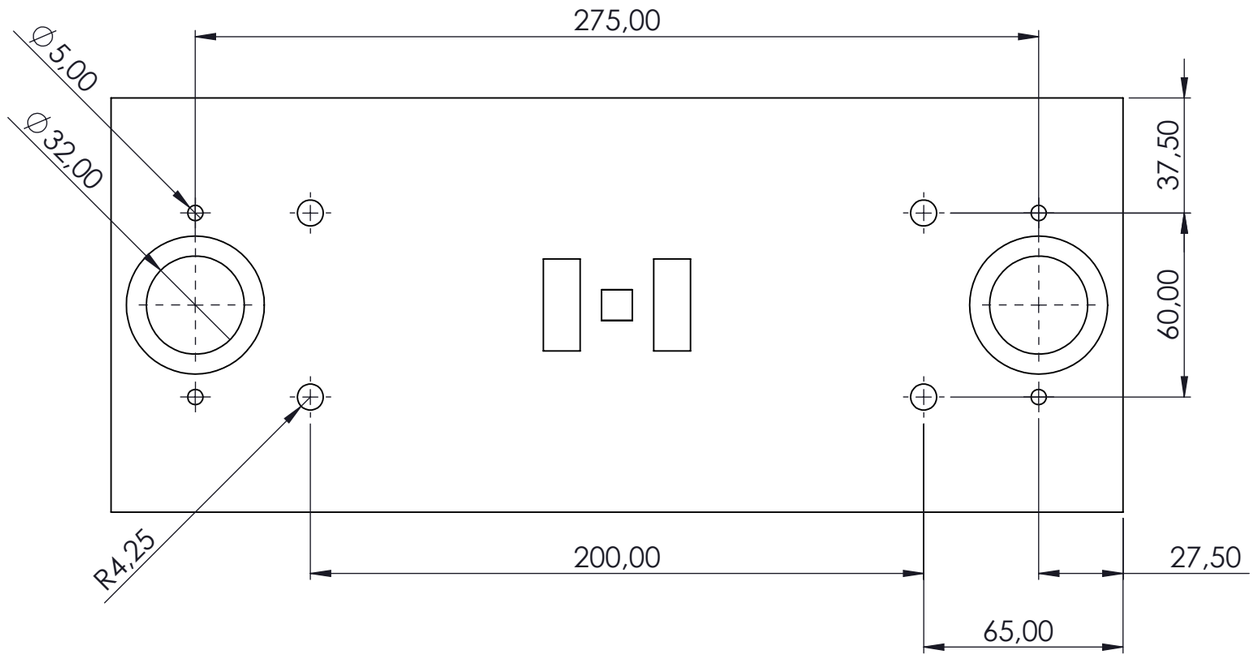
8

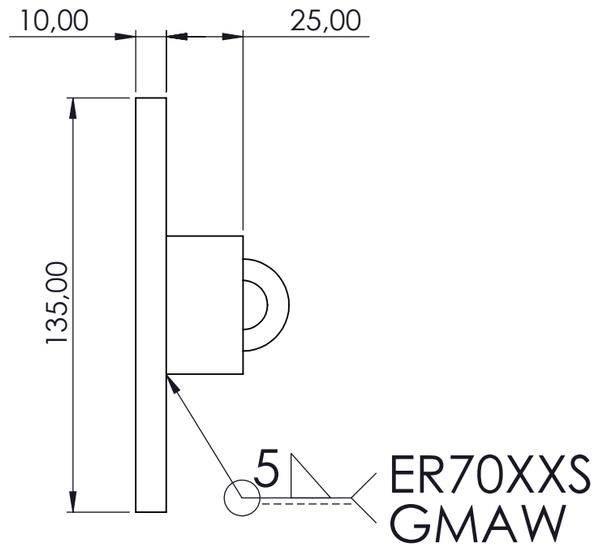


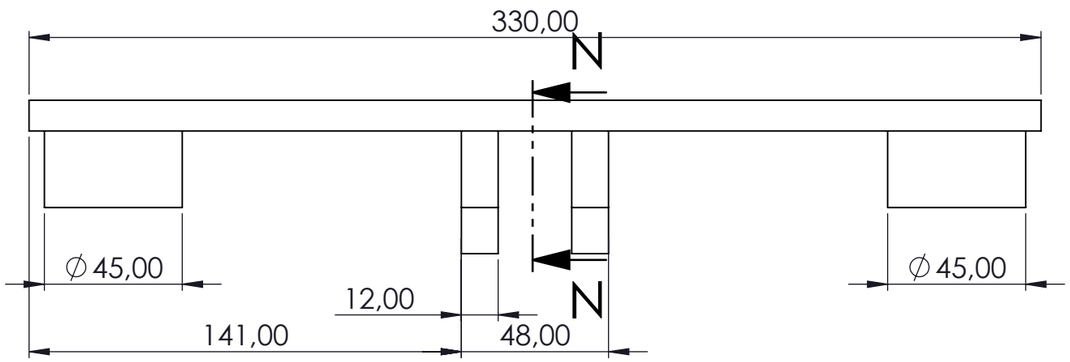
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	53.68 g	PTFE Teflón
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 12 de23
						(Sustitución)

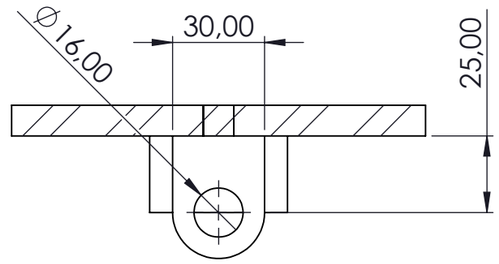
Denominación: Bocin de placa cañón

Escala: 1:1









SECCIÓN N-N

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia	(Peso)	Materiales:
±0,1	3882.66 g	ASTM - A36

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

UTA
Ingeniería Mecánica

Denominación: Placa móvil

Escala: 1:2

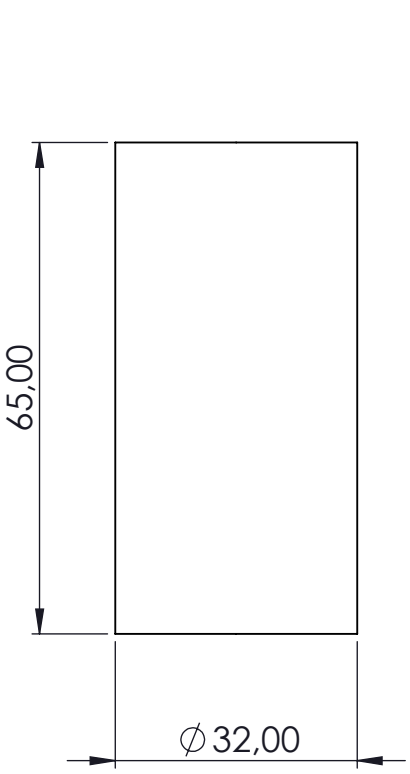
Número del dibujo: 13 de23

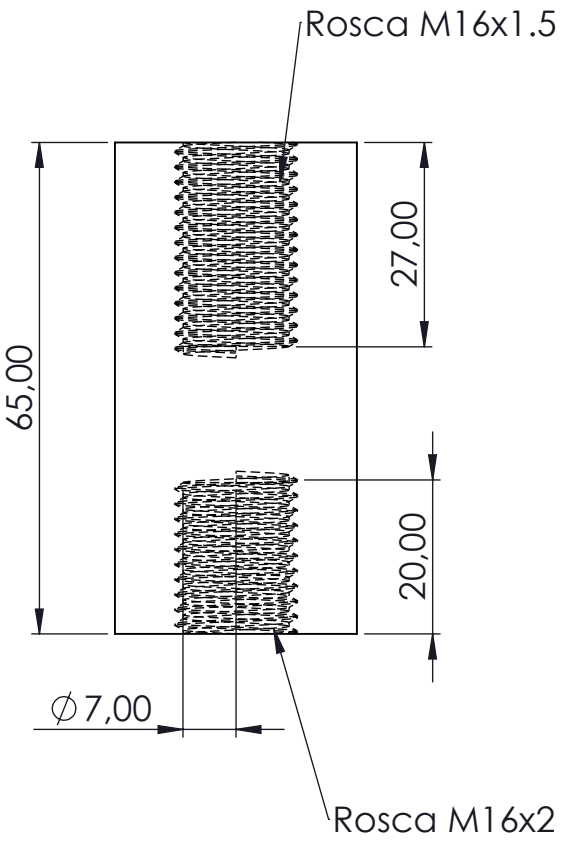
(Sustitución)

Torneado

8



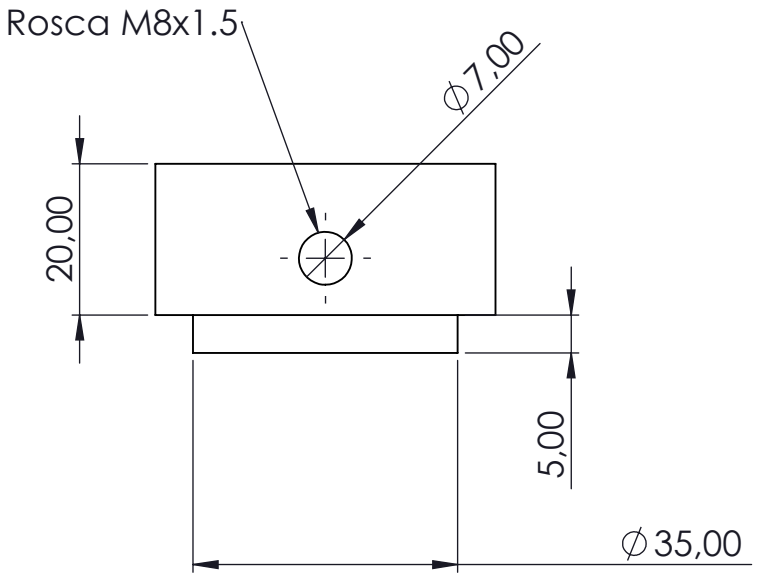


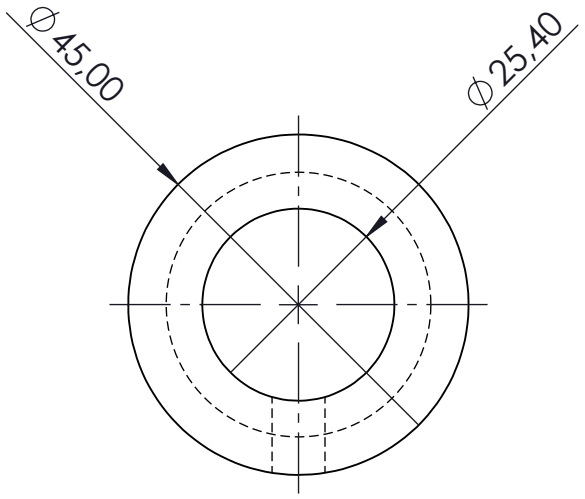


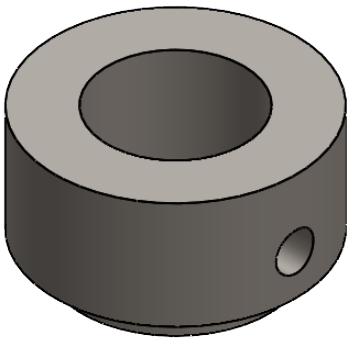
				Tolerancia		(Peso)	Materiales:
				±0,1		327.79 g	AISI 1018
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	Acople pistón émbolo
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	Escala: 1:1
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 14 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)

Torneado

8



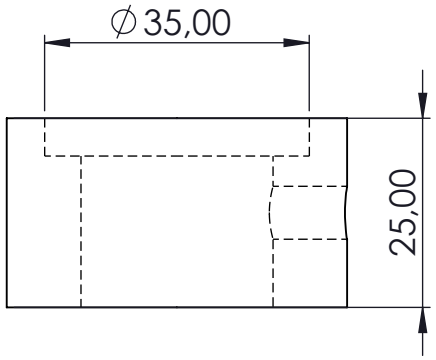


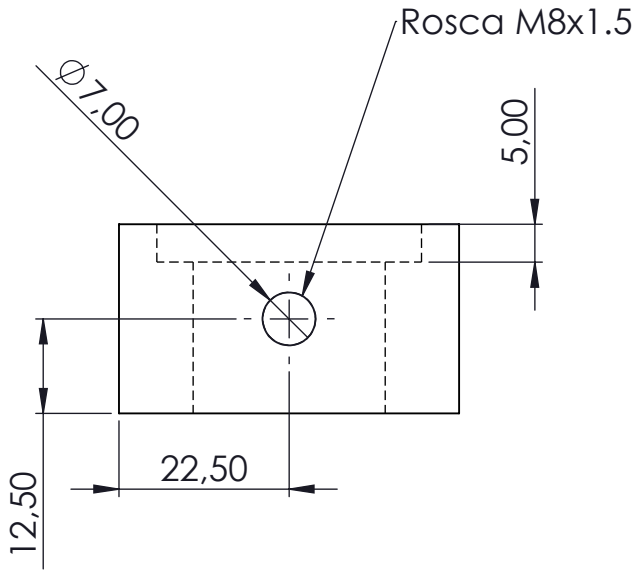


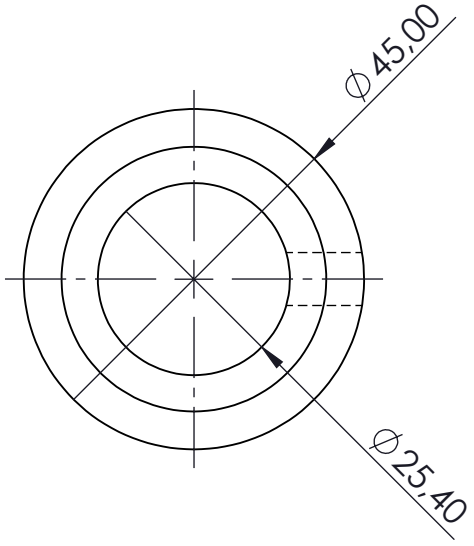
				Tolerancia		(Peso)	Materiales:
				±0,1		185.51 g	AISI 1010
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	Anillo de fijación superior
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	Escala: 1:1
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 15 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)

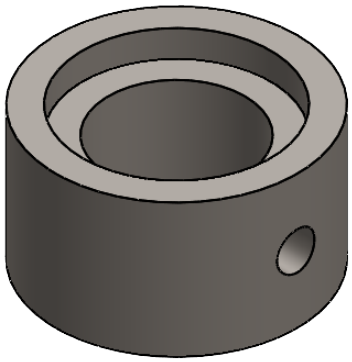
Torneado

8









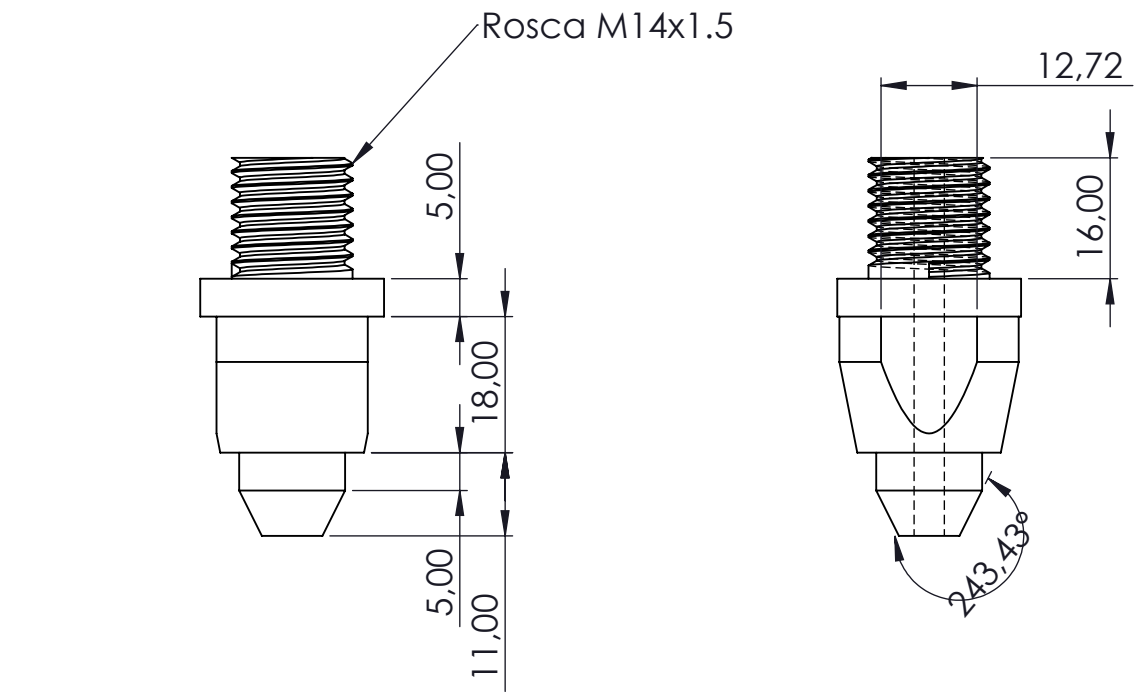
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	192.32 g	AISI 1010
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 16 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)

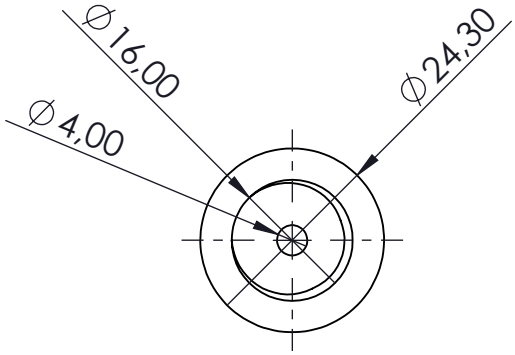
Denominación: Anillo de fijación inferior

Escala: 1:1

Torneado

8

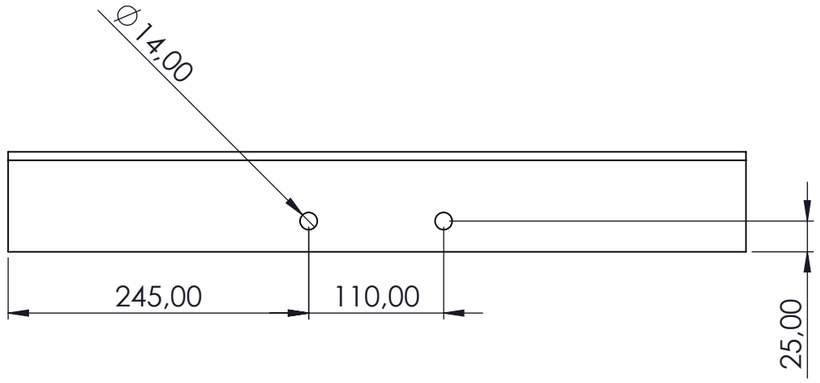


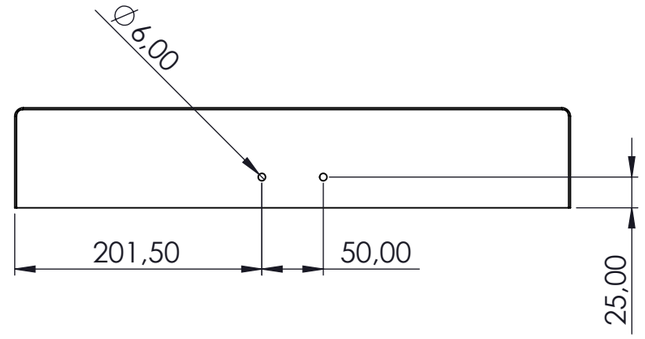


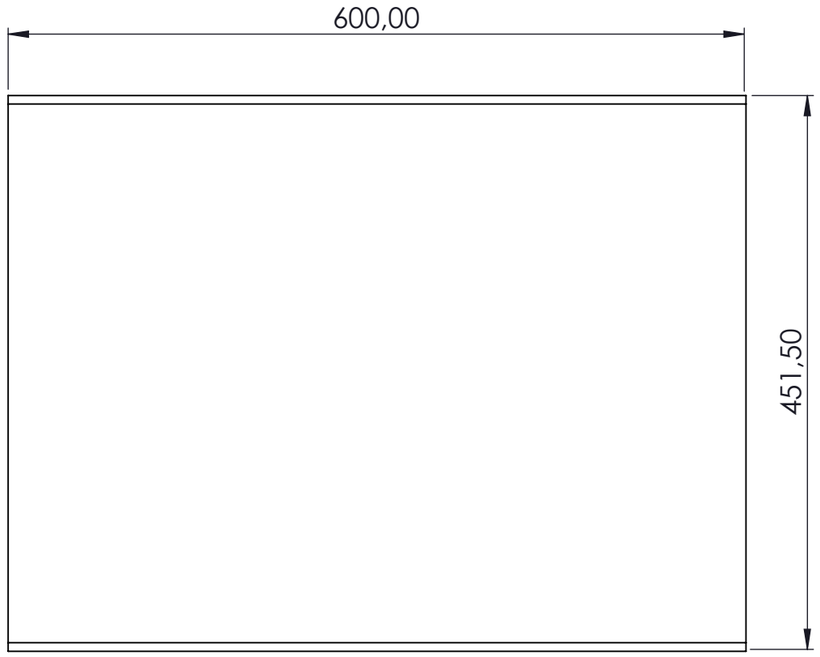
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:
				±0,1	97.98 g	AISI 4043
					Fecha	Nombre
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 17 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)

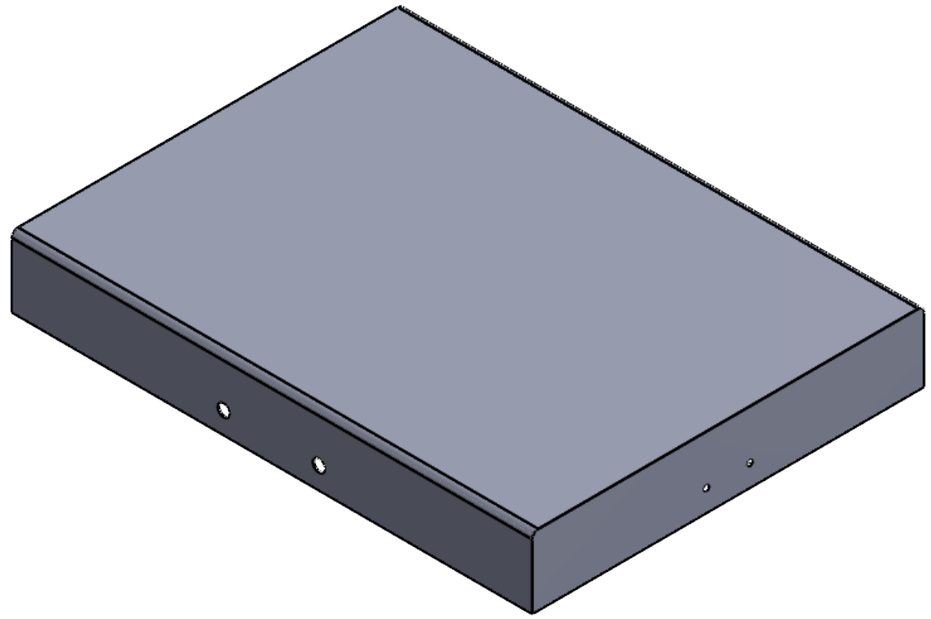
Denominación: Nozzle

Escala: 1:1

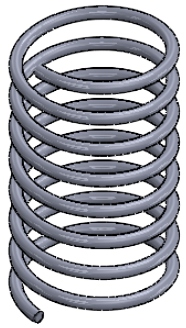


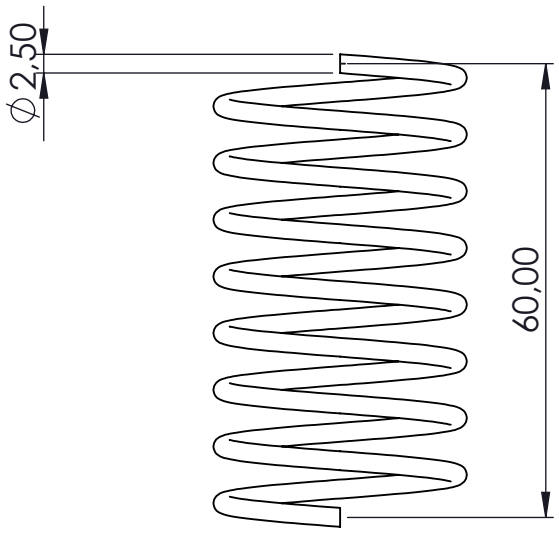


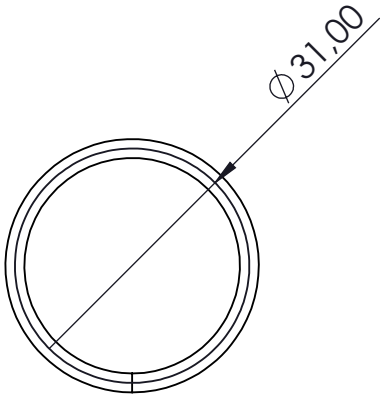




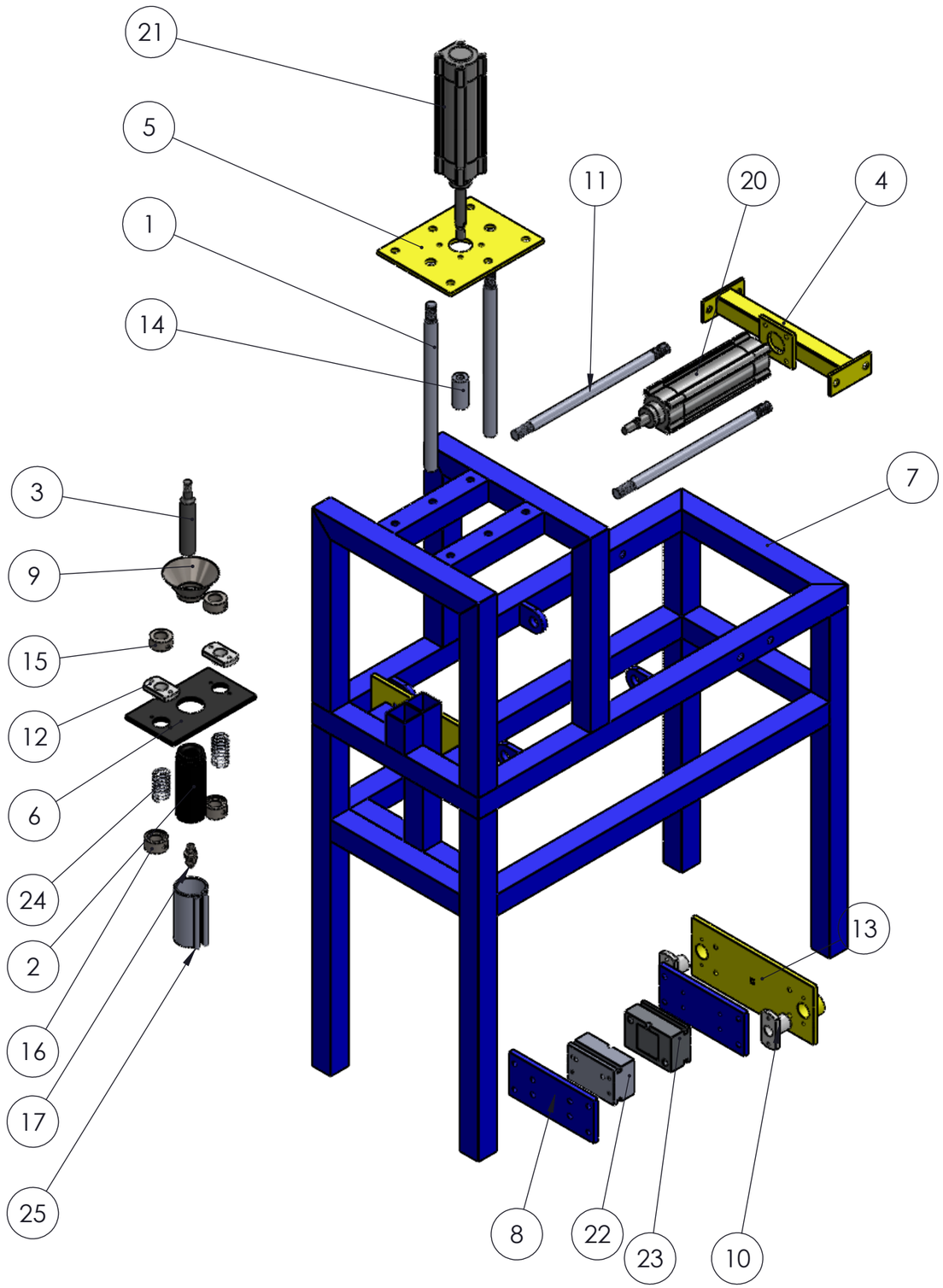
				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				±0,1	10 Kg	ASTM - A36	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre	UTA Ingeniería Mecánica		Denominación: Cubierta horizontal	Escala: 1:5
						Número del dibujo: 18 de23	
						(Sustitución)	







				Tolerancia		(Peso)	Materiales:
				±0,1		10 Kg	Alambre de piano A228
					Fecha	Nombre	Denominación: / Escala:
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	Resorte / 1:1
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 19 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



25	Resistencia tipo banda	Existente	1
24	Acople tipo rótula	Adquirido	1
23	Resorte	Construido	2
22	Molde movil	Existente	1
21	Molde fijo	Existente	1
20	Pistón de inyección	Adquirido	1
19	Pistón de cierre	Adquirido	1
18	Cubierta horizontal	Construido	1
17	Nozzle	Existente	1
16	Anillo de fijación inferior	Construido	2
15	Anillo de fijación superior	Construido	2
14	Acople pistón émbolo	Construido	1
13	Placa movil	Construido	1
12	Bocin de placa cañón	Construido	2
11	Columna guia	Existente	2
10	Bocin de placa móvil	Construido	2
9	Tolva de alimentación	Construido	1
8	Placa de fijación	Construido	2
7	Estructura 2.0	Construido	1
6	Placa movil de cañón	Construido	1
5	Base de pistón de inyección	Construido	1
4	Base de pistón de cierre	Construido	1
3	Embolo inyector	Existente	1
2	Cañón de fundición	Existente	1
1	Columna de desplazamiento	Construido	2
N°	Elemeno	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ±0,1

(Peso): 68735.3 g

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

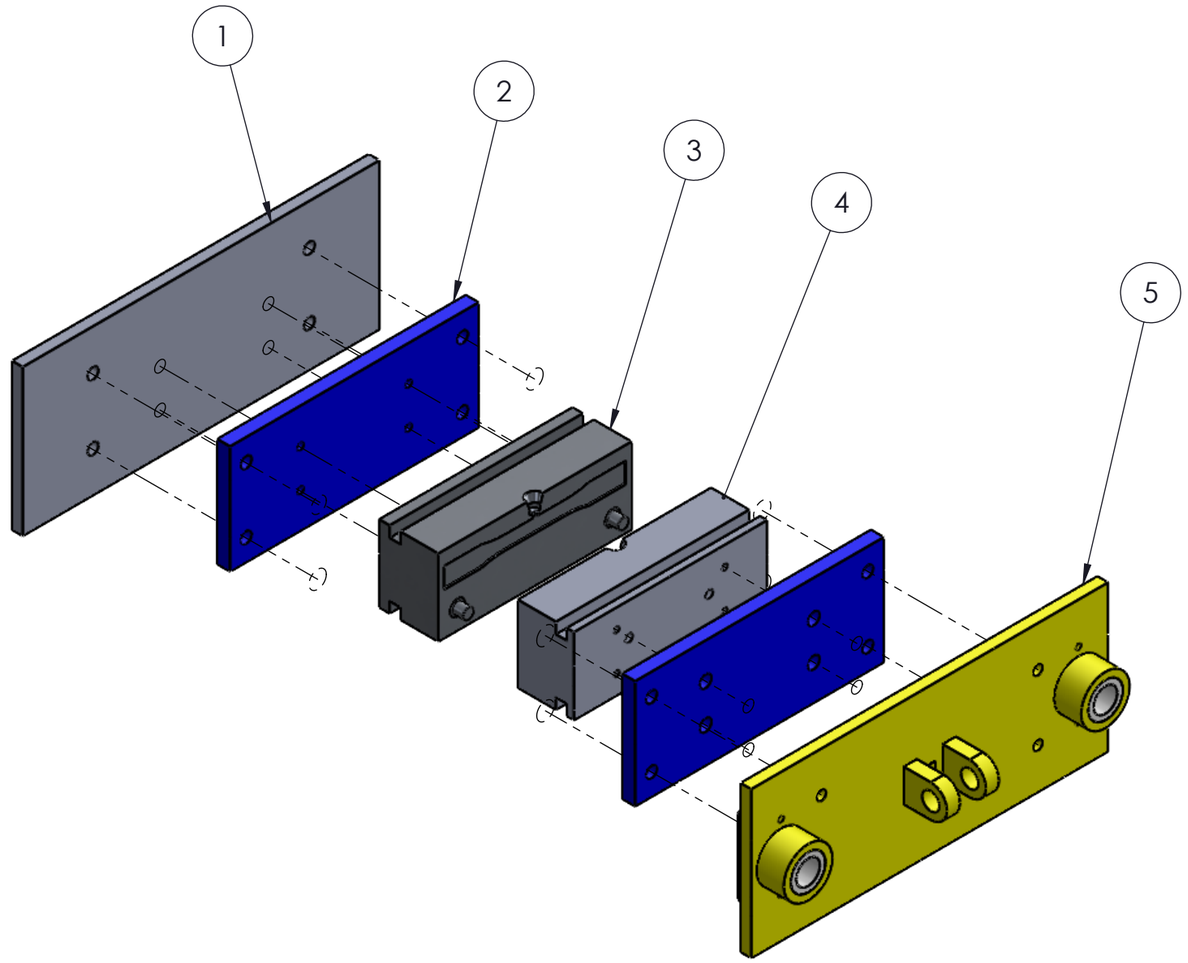
UTA
Ingeniería Mecánica

Denominación: Vista explosionada

Escala: 1:10

Número del dibujo: 20 de23

(Sustitución)



Nº	Nombre del elemento	Cantidad
7	Pernos cabeza tipo allen M10x1.5 x20mm	8
6	Pernos cabeza tipo allen M6x1x25 mm	8
5	Placa movil	1
4	Molde movil mitad	1
3	Molde fijo mitad	1
2	Placa de fijación	2
1	Placa fija	1

Edición	Modificación	Fecha	Nombre

Tolerancia: ±0,1

(Peso): NA

Materiales: Varios

	Fecha	Nombre
Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.
Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.
Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.

UTA
Ingeniería Mecánica

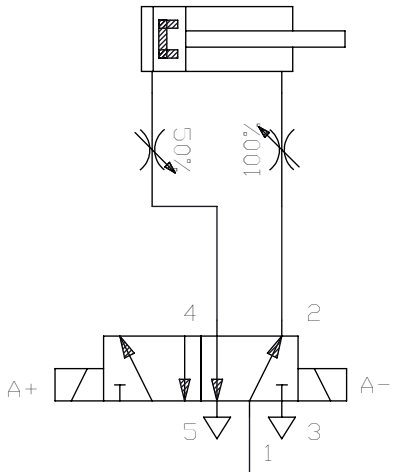
Denominación: Montaje de moldes

Escala: 1:4

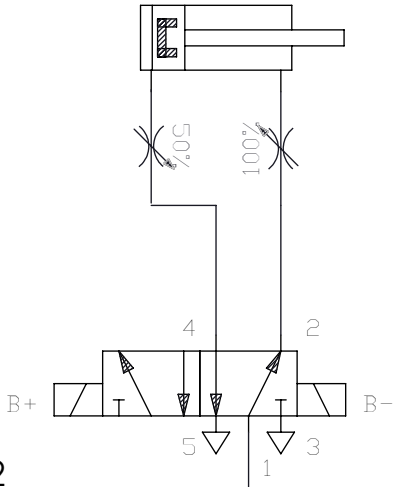
Número del dibujo: 21 de23

(Sustitución)

Pistón de inyección

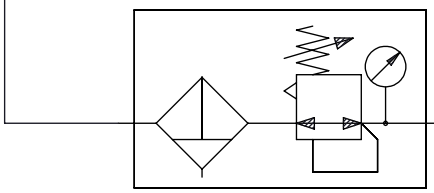


Pistón de cierre



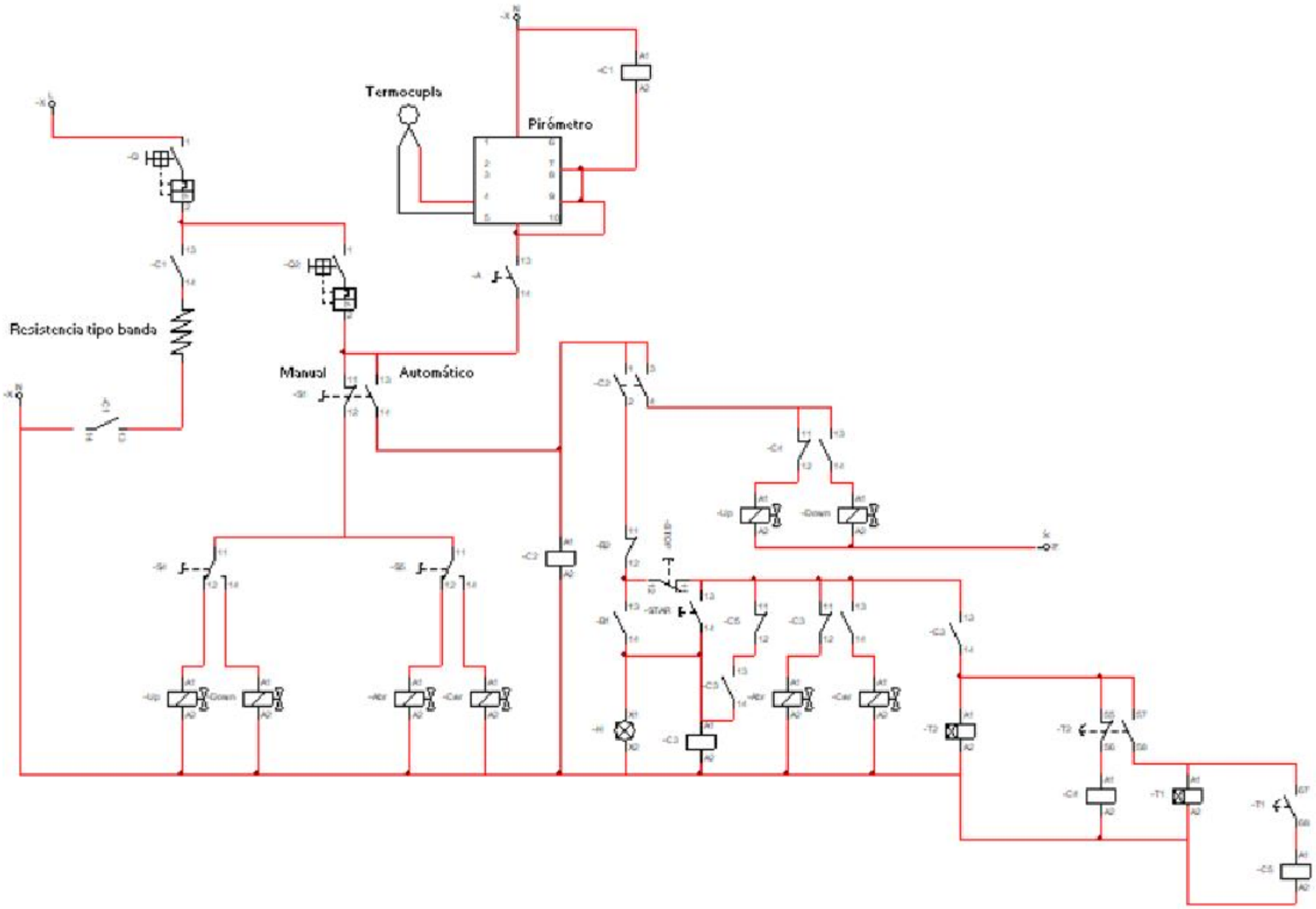
Electroválvulas 5/2

Unidad de mantenimiento FRL



Alimentación de aire comprimido

				Tolerancia		(Peso)	Materiales:
				NA		NA	NA
					Fecha	Nombre	Denominación:
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	Diagrama neumático
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	Escala: 1:4
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica			Número del dibujo: 22 de23
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				(Sustitución)



				Tolerancia	(Peso)	Materiales:	
				NA	NA	NA	
					Fecha	Nombre	
				Dibujó:	20/6/2025	Ronquillo L.	
				Revisó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				Aprobó:	20/6/2025	Ing. Paredes J.	
				UTA Ingeniería Mecánica		Número del dibujo: 23 de23	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			(Sustitución)	

Denominación: Circuito Eléctrico

Escala: 1:4