



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN
MECATRÓNICA**

TEMA:

“MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO”

AUTOR:

BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN

DIRECTOR:

MSC. COSME DAMÍAN MEJÍA ECHEVERRIA

IBARRA, 2023



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y APLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

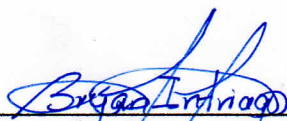
En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información.

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	2300283807		
APELLIDOS Y NOMBRES:	INTRIAGO RAMÓN BRYAN GERARDO		
DIRECCIÓN:	Ibarra		
EMAIL:	bgintriagor@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	(02)2751510	TELF. MOVIL	0978688469
DATOS DE LA OBRA			
TÍTULO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO		
AUTOR (ES):	INTRIAGO RAMÓN BRYAN GERARDO		
FECHA: DD/MM/AAAA	01/08/2023		
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO			
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO		
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO MECATRÓNICO		
ASESOR /DIRECTOR:	MSc. Cosme Damián Mejía Echeverria		

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 07 días del mes de septiembre de 2023



Nombre: Bryan Gerardo Iñtriago Ramón
Cédula: 2300283807

CERTIFICACIÓN

Ibarra, 07 de septiembre de 2023

MSC. COSME DAMIÁN MEJÍA ECHEVERRIA
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

CERTIFICA:

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado. **“MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO”** que el presente trabajo fue desarrollado por el señor Bryan Gerardo Intriago Ramón, bajo mi supervisión. Es todo en cuanto puedo certificar en honor a la verdad.



.....
Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc

DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

APROBACIÓN DEL COMITÉ CALIFICADOR

El Tribunal Examinador del trabajo de titulación “**MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO**” elaborado por BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN, previo a la obtención del título del Ingeniero Mecatrónico, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Universidad Técnica del Norte:



.....
Ing. Cosme Damián Mejía Echeverría, MSc
DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO



.....
Ing. Brizeida Nohemi Gámez Aparicio, Msc
ASESOR DE TRABAJO DE GRADO

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mi familia, especialmente a mi madre Sonia Ramón A. y mi padre Gerardo Intriago L. quienes siempre estuvieron apoyándome y guiándome en cada decisión tomada a lo largo de mi proceso de formación.

Bryan Intriago

AGRADECIMIENTO

Debo agradecer a todos mis tutores, profesores y cada persona que me brindo apoyo a lo largo de mi proceso de formación, mi familia por el apoyo que me brindaron y a mis padres por ser pieza fundamental a lo largo de mi carrera académica.

Bryan Intriago

RESUMEN

Dentro de los procesos industriales que han tenido un mayor desarrollo se encuentra el moldeo de plásticos por inyección del material, sin embargo, debido a que las máquinas y procesos empleados para estas prácticas son demasiado costosas y requieren de gran inversión, se desarrolló una alternativa de maquinaria a pequeña escala que involucra el mismo funcionamiento y un menor costo de producción e inversión. En el desarrollo del marco teórico se despliega el uso y propiedades de los materiales que se emplean en este proceso de producción, así como el principio bajo el cual debe funcionar la máquina de inyección. Para el diseño conceptual de la máquina se utilizó la metodología QFD y DFMA para concebir los mejores prototipos de funcionamiento y descartar las características o requerimientos que significarán un decremento en el cumplimiento de los requerimientos dados por el mejor diseño propuesto. Seleccionado el mejor diseño, se planteó el diseño estructural, mecánico y eléctrico de la máquina, adicional se realizaron las simulaciones pertinentes para el cumplimiento de todas las características mecánicas con las que se planteó el modelo. Los cálculos analíticos formaron parte fundamental en el desarrollo de la estructura mecánica y al momento de realizar el mecanizado de las piezas. Una vez mecanizadas las piezas y diseñado el sistema de control eléctrico de la máquina, se ensambló e integró todos los subsistemas de la máquina conforme lo descrito en los planos mecánicos y de potencia de la máquina de inyección.

Palabras clave: Inyección de plástico, moldeo plástico, husillo de inyección, ácido poliláctico, control PID de temperatura.

ABSTRACT

Within the industrial processes that have had a greater development is the molding of plastics by injection of material, however, due to the fact that the machines and processes used for these practices are too expensive and require a large investment, an alternative of small-scale machinery that involves the same operation and lower production and investment cost. In the development of the theoretical framework, the use and properties of the materials used in this production process are displayed, as well as the principle under which the injection machine must work. For the conceptual design of the machine, the QFD and DFMA methodology was used to conceive the best working prototypes and discard the characteristics or requirements that would mean a decrease in the fulfillment of the requirements given by the best proposed design. Once the best design was selected, the structural, mechanical, and electrical design of the machine was proposed, additionally the relevant simulations were carried out to comply with all the mechanical characteristics with which the model was proposed. Analytical calculations were a fundamental part in the development of the mechanical structure and when machining the parts. Once the parts were machined and the electrical control system of the machine was designed, all the subsystems of the machine were assembled and integrated as described in the mechanical and power drawings of the injection machine.

Keywords: Plastic injection, plastic molding, injection screw, polylactic acid, PID temperature control.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	VI
AGRADECIMIENTO	VII
RESUMEN.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XIII
ÍNDICE DE TABLAS.....	XV
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XVI
INTRODUCCIÓN	1
Objetivos	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos.....	2
Justificación.....	2
Alcance.....	3
CAPÍTULO I.....	4
1. MARCO REFERENCIAL.....	4
1.1. Antecedentes.....	4
1.2. Marco Teórico.....	5
1.2.1. Teoría Básica de los Polímeros.....	5
1.2.2. Clasificación de los Polímeros.....	5
1.2.3. Material Seleccionado.....	6
1.2.4. Procesos de Moldeo de Plásticos	9
1.2.5. Tipos de Máquinas de Moldeo Plástico por Inyección.....	13
1.2.6. Proceso de Moldeo por Inyección de Termoplásticos	15
1.2.7. Sistema de control de temperatura	21
CAPÍTULO II.....	23

2. MARCO METODOLÓGICO	23
2.1. Métodos de Investigación	23
2.1.1. Método descriptivo	23
2.1.2. Método explicativo	23
2.1.3. Método experimental	23
CAPÍTULO III.....	24
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
3.1. Diseño Conceptual	24
3.1.1. Primera Etapa. Recolección de información y definición de límites.....	24
3.1.2. Segunda Etapa. Determinación de parámetros requeridos.....	25
3.1.3. Tercera Etapa. Diseño de la máquina	28
3.1.4. Cuarta Etapa. Implementación de la máquina	30
3.1.5. Quinta Etapa. Validación del funcionamiento	31
3.2. Diseño Mecánico.....	31
3.2.1. Diseño del husillo de inyección	31
3.2.2. Diseño del muñón	55
3.2.3. Diseño del cilindro de inyección.....	57
3.2.4. Selección y diseño de la tolva	60
3.2.5. Posición de orificio de alimentación.....	62
3.2.6. Diseño del cabezal inyector	63
3.3. Diseño Eléctrico.....	64
3.3.1. Sistema de control de temperatura	65
3.4. Propuestas de solución.....	71
3.4.1. Diseño de la máquina.....	71
3.4.2. Selección de la mejor propuesta.....	74
3.4.3. Metodología DFMA.....	75
3.5. Construcción de piezas y partes.....	75
3.5.1. Mecanizado husillo de inyección.....	75
3.5.2. Mecanizado cilindro inyector.....	77
3.5.3. Construcción de manivela.....	78
3.5.4. Mecanizado de boquilla de inyección.....	79
3.5.5. Construcción de placas de sujeción	80
3.5.6. Mecanizado de barras guía.....	81
3.5.7. Construcción de estructura de la máquina	82
3.5.8. Construcción de la cubierta.....	82
3.5.9. Construcción de la tolva.....	83

3.5.10. Construcción de elementos suplementarios	84
3.5.11. Resistencias calefactoras	84
3.6. Ensamblaje	85
3.6.1. Ensamble de sistema de inyección.....	85
3.6.2. Ensamble de piezas de sujeción.....	86
3.6.3. Ensamble de sistema eléctrico	87
3.6.4. Ensamblaje final y funcionamiento.....	88
CONCLUSIONES.....	91
RECOMENDACIONES	93
REFERENCIAS.....	94
ANEXOS.....	98

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 <i>Proceso de Moldeo por Soplado</i>	10
Figura 2 <i>Proceso de Moldeo por Extrusión</i>	11
Figura 3 <i>Proceso de Moldeo por Compresión</i>	12
Figura 4 <i>Proceso de Moldeo por Inyección</i>	13
Figura 5 <i>Máquina de Inyección Horizontal</i>	14
Figura 6 <i>Máquina de Inyección Vertical</i>	15
Figura 7 <i>Máquina de Inyección por Pistón</i>	16
Figura 8 <i>Máquina Inyección con Husillo</i>	17
Figura 9 <i>Sistema de Cierre con Pistón Hidráulico</i>	18
Figura 10 <i>Sistema de Cierre por Rodillera Simple</i>	19
Figura 11 <i>Sistema de Cierre por Rodillera Doble</i>	19
Figura 12 <i>Sistema de Cierre por Tornillo sin fin</i>	20
Figura 13 <i>Boquillas de inyección</i>	21
Figura 14 <i>Diagrama de control PID de temperatura</i>	22
Figura 15 <i>Tabla de ponderaciones vs requerimientos de la máquina</i>	26
Figura 16 <i>Máquinas de Inyección comparadas en características importantes</i>	27
Figura 17 <i>Parámetros de tornillo de inyección</i>	32
Figura 18 <i>Diagrama de cargas que actúan en el husillo</i>	46
Figura 19 <i>Diagramas de fuerza cortante y momento flector</i>	47
Figura 20 <i>Superficie transversal A-A del husillo inyector</i>	49
Figura 21 <i>Análisis de máximo esfuerzo del husillo</i>	52
Figura 22 <i>Deformación del husillo</i>	53
Figura 23 <i>Rango de factores de diseño para materiales dúctiles</i>	55
Figura 24 <i>Sección inicial y muñón del husillo</i>	56
Figura 25 <i>Parámetros del cilindro inyector</i>	57
Figura 26 <i>Modelado del cilindro inyector</i>	58
Figura 27 <i>Tipos de tolvas para uso de inyectoras</i>	60
Figura 28 <i>Diseño de tolva y silueta desplegada</i>	62
Figura 29 <i>Orificio de alimentación</i>	63
Figura 30 <i>Modelado del cabezal y corte transversal</i>	64
Figura 31 <i>Esquema del controlado eléctrico</i>	64
Figura 32 <i>Termopar tipo J de uso común</i>	66
Figura 33 <i>Propuesta 1 – Máquina de inyección horizontal</i>	71
Figura 34 <i>Propuesta 2 – Máquina de inyección vertical</i>	72
Figura 35 <i>Propuesta 3 – Máquina de inyección horizontal</i>	73
Figura 36 <i>Husillo de inyección – AISI 304</i>	76
Figura 37 <i>Mecanizado del tornillo sin fin</i>	76
Figura 38 <i>Husillo mecanizado</i>	77
Figura 39 <i>Mecanizado de cilindro inyector</i>	78
Figura 40 <i>Chaveta 6mm de la manivela</i>	79
Figura 41 <i>Mecanizado cabezal inyector</i>	79
Figura 42 <i>Perforación de agujeros en placa de sujeción</i>	80

Figura 43 <i>Roscado de perforaciones</i>	81
Figura 44 <i>Ensamble de barras guía</i>	81
Figura 45 <i>Estructura base de la máquina</i>	82
Figura 46 <i>Archivo CAD cubierta de acero inoxidable</i>	83
Figura 47 <i>Archivo CAD tolva de acero inoxidable</i>	83
Figura 48 <i>Guías para molde y tapón trasero</i>	84
Figura 49 <i>Resistencias tipo abrazadera – 220V</i>	85
Figura 50 <i>Montaje de las placas en la estructura</i>	86
Figura 51 <i>Montaje de la gata mecánica en la placa de sujeción</i>	87
Figura 52 <i>Control PID de temperatura Rex-C100</i>	87
Figura 53 <i>Cajetín de conexiones eléctricas del sistema calentador</i>	88
Figura 54 <i>Ensamble del sistema de inyección en la estructura</i>	89
Figura 55 <i>Ensamble final de la máquina</i>	89
Figura 56 <i>Pruebas de funcionamiento</i>	90
Figura 57 <i>Resultados del funcionamiento con PLA</i>	90

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Propiedades Térmicas del PET</i>	7
Tabla 2 <i>Propiedades Mecánicas del PET</i>	7
Tabla 3 <i>Propiedades Físicas del PET</i>	8
Tabla 4 <i>Propiedades Térmicas del PLA</i>	8
Tabla 5 <i>Propiedades Mecánicas del PLA</i>	9
Tabla 6 <i>Tabla de requerimientos principales de la máquina</i>	24
Tabla 7 <i>Evaluación de las relaciones entre las características de importancia</i>	26
Tabla 8 <i>Cuadro comparativo y grafica de Producto vs Competencia</i>	28
Tabla 9 <i>Ventajas de la Relación L/D corta y larga</i>	32
Tabla 10 <i>Ventajas y desventajas de los materiales</i>	44
Tabla 11 <i>Análisis de las propiedades de aceros comerciales</i>	44
Tabla 12 <i>Deformaciones admisibles en vigas</i>	53
Tabla 13 <i>Ventajas y desventajas de los materiales analizados</i>	59
Tabla 14 <i>Análisis de las propiedades de aceros comerciales</i>	59
Tabla 15 <i>Ventajas de los controladores de temperatura</i>	65
Tabla 16 <i>Temperaturas de termopares comerciales</i>	66
Tabla 17 <i>Tabla comparativa de los tipos de resistencias calefactoras</i>	67
Tabla 18 <i>Ponderaciones sobre ventajas de resistencias calefactoras</i>	68

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A Curva temperatura vs velocidad inyección PLA	98
ANEXO B Casa de la calidad	99
ANEXO C Hoja de procesos: Husillo Inyector.....	100
ANEXO D Hoja de procesos: Cilindro inyector.....	102
ANEXO E Hoja de procesos: Cabezal Inyector.....	104
ANEXO F Hoja de procesos: Manivela.....	106
ANEXO G Hoja de procesos: Placa de sujeción inicial.....	108
ANEXO H Hoja de procesos: Placa sistema inyector.....	110
ANEXO I Hoja de procesos: Placa sujeción cilindro.....	112
ANEXO J Hoja de procesos: Placa sist. cierre movil/fija.....	114
ANEXO K Hoja de procesos: Placa de unión y sujeción.....	115
ANEXO L Hoja de procesos: Barra guía.....	116
ANEXO M Hoja de procesos: Tolva.....	117
ANEXO N Hoja de procesos: Cubierta.....	119
ANEXO O Modelo 3D del tablero de control.....	121
ANEXO P Costos totales.....	122

INTRODUCCIÓN

Problema

Desde finales del siglo XIX con la invención de los primeros plásticos su uso no ha hecho más que ir incrementando con el tiempo, debido a su versatilidad de usos para la fabricación de diversas piezas y elementos de máquinas que tradicionalmente se realizarían con materiales metálicos, cerámicos, madera, etc. El desmesurado uso que se da a los plásticos se debe principalmente a sus invaluable características además de propiedades que facilitan una adaptabilidad exponencial en la producción en serie [1]. Los diversos materiales de tipo plástico tienen una gran cantidad de procesos para dotarlos de formas y características diferentes, entre los que encontramos procesos de moldeo plástico como la extrusión, el soplado y la inyección. Es el proceso de moldeo plástico mediante inyección el cuál es uno de los más usados y eficientes que se ha desarrollado hasta la actualidad, ya que permite obtener una gran cantidad de detalles en las piezas de fabricación además de tolerar el uso de geometrías complejas en su uso y ser el proceso de moldeo que menos material desperdicia a comparación de otros procesos [2].

Para las industrias plásticas ecuatorianas es más importante buscar una buena calidad bajando la cantidad de materiales utilizados y mejorando los procesos mediante los cuales se fabrican dichos productos finales, por tal razón utilizan procesos eficientes como la inyección o extrusión de plásticos[1]. Si bien el mercado de productos plásticos cada vez tiene más aplicaciones y demanda, estos campos se encuentran monopolizados por empresas de renombre que tienen grandes maquinarias, la capacidad económica y tecnológica para adquirir dichas máquinas, por lo que para las pequeñas y nuevas empresas que incursionan dentro de este campo, se les hace insostenible a largo plazo mantener la competencia, ya que la maquinaria a usar es de gran tamaño, presenta valores excesivamente elevados y la importación es un problema que implica demasiados trámites.

Dentro del proceso de inyección de plásticos la resina en forma de gránulos se alimenta mediante un cañón que es calentado con un husillo interno que funde y plastifica el material mediante el calor y la fricción generada en el empuje del plástico que se encuentra dentro del cilindro inyector, una vez realizado el proceso de inyección a presión dentro de la cavidad del molde, se enfriará y solidificará.

A vista general este proceso consiste en la inyección a gran presión de un material hacia un molde que proporcionará al material primario con una forma definida. Para que se logre un calentamiento uniforme en todo el cilindro de inyección y el material, se utilizan generalmente resistencias de bandas, las cuales junto con la relación de longitud y diámetro del cilindro inyector proporcionarán una fundición homogénea dentro del polímero.

De esta manera, se presenta el desarrollo de una máquina de inyección de plástico, la cual será de funcionamiento manual, logrando optimizar costos de adquisición de una máquina de tipo industrial a pequeñas empresas y teniendo un uso didáctico, haciendo uso de todos los principios del moldeo plástico por inyección. Al ser una máquina de fácil operación no se requiere de conocimientos previos, asumiendo que se tiene em conocimiento teórico del moldeo por inyección.

Objetivos

Objetivo General

Desarrollar una máquina de inyección manual de plástico.

Objetivos Específicos

1. Determinar los parámetros correspondientes al diseño de una máquina de inyección manual.
2. Diseñar una máquina de inyección de plástico.
3. Construir una máquina inyectora a partir del diseño planteado.
4. Validar el funcionamiento de la máquina inyectora.

Justificación

El enfoque que toma del presente proyecto es la realización de una máquina que sea capaz de realizar un proceso de moldeo de plástico que sea rápido, eficiente y óptimo en la distribución y uso de materiales, el método seleccionado ha sido la inyección plástica, con esto se suplirá la carencia de equipos de procesamiento para pequeñas y medianas empresas que se dediquen a la creación de productos plásticos en el territorio ecuatoriano con tendencia a la personalización. Se ha elegido este proceso debido a las grandes ventajas de costos y materia que representan.

La industria plástica ecuatoriana, se mantiene en constante evolución y con un aumento de la demanda productiva, por lo cual diversas empresas están incursionando en los procesos de moldeo plástico, lo que involucra mayor demanda en la adquisición de máquina que realicen

estos procesos, conforme la demanda se eleva, los precios de dichas máquinas también, por lo que una máquina más compacta, accesible y que satisfaga los procesos de moldeo plástico, representa una ventaja económica para la industria.[3] Los principales materiales que se usarán en esta máquina de moldeo por inyección serán pellets de PLA y PET, el cual podrá ser virgen o reciclado, siempre y cuando esté debidamente preparado para el proceso de moldeo o según requieran las especificaciones el producto final.

Alcance

Dentro del presente proyecto se plantea el diseño de una máquina inyectora de plástico manual, la cual haga uso de pellets y partículas de plástico reciclado, que esté controlada mediante una manivela llenará los moldes para la realización de los productos y cuente con un sistema de control de temperatura para mantener al material al nivel de calor adecuado. Se plantea la ejecución de la inyección con pellets de PLA y PET (el cuál se derivará de material reciclado), ya que son los más utilizados en la industria y cuentan con mejores especificaciones. La velocidad de inyección vendrá dada por la manivela que se incorpora en la máquina.

CAPÍTULO I

1. MARCO REFERENCIAL

1.1. Antecedentes

P. Cárdenas dentro de su trabajo de grado realizó el diseño de una máquina inyectora de poliuretano semiautomática para la línea de producción de la empresa SETEG PIGS EC. En esta propuesta de diseño se realizó desde cero un sistema semiautomático que realice la inyección de plástico poliuretano, para una empresa dedicada a la fabricación de diversas piezas. Es una máquina de gran calibre ya que logra una capacidad máxima de 60 gr/s y con un máximo de 26 kg de material por ciclo de inyección. Se realiza un estudio para la posterior elección de las diferentes piezas de la máquina inyectora, como el husillo, el eje mezclador y las diversas resistencias [4].

La manera de implementación en la que se dará principal uso de dicha máquina inyectora es en la elaboración y ensamblaje de herramientas de limpieza utilizadas para el mantenimiento e inspección del interior de tuberías, denominadas PIGs (Pipeline Inspection Gauge).[4] Como resultado de la implementación de la máquina inyectora de poliuretano, la compañía logra aumentar su capacidad y tienen como característica principal que los operadores pueden simplemente ingresar el peso de las distintas piezas a ser fabricadas, y la inyectora modificará el tiempo de inyección del material, garantizando las cantidades requeridas de materia prima para la mezcla y teniendo un pleno control sobre los procesos de inyección.

Pedro M. y David M. en el desarrollo de su modelo de diseño y posterior construcción de una máquina de inyección de termoplásticos para fines didácticos plantean las amplias posibilidades para el moldeo de plásticos, como son el moldeo por compresión, por transferencia, por extrusión, por inyección, por soplado, etc. Hecho el estudio de las características y propiedades de cada método, se realiza la selección de la mejor opción de la máquina inyectora, ya que presenta las ventajas y especificaciones que se requiere para el producto final [5], la idea es poder realizar inyecciones, haciendo uso de diversos materiales poliméricos que sean vírgenes o de preferencia reciclados debido a que el uso de materiales plásticos se ha visto incrementado debido a que se utilizan para fabricar gran variedad de partes y herramientas.

La capacidad propuesta en el diseño final y construcción de dicha máquina inyectora es de 40 gramos. Por lo que previo se han investigado las capacidades y tablas de estudio y ensayo de

gran cantidad de materiales plásticos, procesos de moldeo y particularmente del proceso de inyección, lo cual fundamenta el diseño que se realizó.[5]

César Cadena y Alejandro Meza [6] crearon un diseño compacto y construcción de una máquina inyectora de plástico con el objetivo de realizar la implementación de esta en los laboratorios de su universidad, para que sea el detonante en la investigación de procesos de manufactura plástica pocos conocidos. Se realizan diversos ensayos de calidad en los materiales plásticos, donde se concluye y reafirma las buenas cualidades que tienen estos. Una vez diseñados las diversas piezas con las que contara el dispositivo, se realiza un Análisis de elementos finitos (FEA), en las partes críticas. En Santander, donde se realiza el proyecto existen una amplia industria de confecciones y calzado que se beneficia con la producción de elementos plásticos de bajo costo, además el sector de la industria del plástico existente en se vio favorecido con los procesos que esta máquina otorga.

1.2. Marco Teórico

1.2.1. Teoría Básica de los Polímeros

Los polímeros son macromoléculas que están compuestas por uno o varios monómeros que se repiten a lo largo de toda su cadena. La polimerización es un proceso en el cual se van adicionando moléculas hasta obtener unas moléculas más grandes, a medida que su tamaño se va incrementando [7], se incrementa también su punto de fusión o reblandecimiento y el polímero se hace más resistente y rígido.

1.2.2. Clasificación de los Polímeros

Los polímeros poseen gran cantidad de características y propiedades en función de su estructura química, tamaño y dispersión de masas moleculares. La gran versatilidad que estos poseen permite que existan varios modos de clasificación de polímeros como se menciona [8]:

- Tipos de enlace: Químico o fuerza intermolecular
- Tipo de monómeros que los forman: Homopolímeros o copolímeros
- Cadenas poliméricas: Polimerización, policondensación y poli adición
- Materiales que conforman: Termoplásticos, elastómeros o termoestables.

Es en el grupo de clasificación de materiales que conforman en el que el proyecto va enfocado, directamente en termoplásticos. Los materiales termoplásticos se conforman de plásticos, los cuales a elevadas temperaturas logran un punto de fundición que les permite adoptar la forma deseada, pero a diferencia de los termoestables que al fundirse y moldearse no pueden repetir el ciclo, los materiales termoplásticos tienen la ventaja de ser reutilizables en el aspecto del ciclo de fundición [9].

1.2.3. Material Seleccionado

Dentro de la familia de los termoplásticos, se han seleccionado dos tipos, a los cuales se dirigirá el alcance para la aplicación dentro del proyecto de inyección, los cuales son PLA y PET.

Polyethylene Terephthalate PET

Es un polímero termoplástico que está elaborado a partir de procesos de polimerización de ácido Tereftálico y mono etilenglicol. Es una materia prima que cuenta con excelentes características para él su uso industrial y en la fabricación de envases. Presenta características de rigidez y resistencia sobresalientes en comparación a otros materiales de igual aplicación. La selección del material PET se destaca en este proyecto ya que al ser un termoplástico permite una reutilización de sus distintas formas y por contar con propiedades de excelencia como las presentes:

- Presenta resistencia y rigidez que lo permiten utilizarse en campos de medicina y alimento al no ser propiedades tóxicas.
- Una transparencia natural la que permite la utilización de pigmentos para su modificación.
- Posee una resistencia química alta, lo cual le permite resistir el contacto con diferentes tipos de aceites y disolventes.
- Alta resistencia al desgaste y rotura.

La estabilidad térmica que posee el tereftalato de polietileno impide exponer al material a un uso continuo por encima de los 70°C para evitar una deflexión de calor. La resistencia química que posee este material le otorga un aguante contra sales, ácidos y alcoholes.[10]

Tabla 1
Propiedades Térmicas del PET

Propiedad	Valor	Unidad
Deflexión por calor	80	[°C]
Temperatura de transición vítrea	70	[°C]
Temperatura de ablandamiento	74	[°C]
Vicat		
Coefficiente de expansión térmica	60	[K-1 . 10-6]
Conductividad térmica	0,28	[W/m . K]
Capacidad calorífica específica	1100	[J/kg . K]
Punto de fusión	255	[°C]

Nota. Adaptado de Máquina de moldeo por inyección: una guía de usuario. [10]

Tabla 2
Propiedades Mecánicas del PET

Propiedad	Valor	Unidad
Resistencia a la tracción	85	[Mpa]
Módulo de elasticidad	3	[Gpa]
Fuerza flexible	80	[Mpa]
Módulo de flexión	1	[Gpa]
Dureza	170	
Fuerza de impacto	2	[KJ/m2]
Alargamiento a la rotura	15	[%]

Nota. Adaptado de Máquina de moldeo por inyección: una guía de usuario. [10]

Tabla 3
Propiedades Físicas del PET

Propiedades	Valor	Unidad
Densidad	1,38	[g/cm ³]
Absorción de agua	0,1	[%]
Resistividad eléctrica	16*10 ¹⁵	[ohm-cm]
Contracción	1,2 - 2,0	[%]

Nota. Adaptado de Máquina de moldeo por inyección: una guía de usuario. [10]

Polylactic Acid PLA

El ácido poli láctico mejor conocido como PLA es un poliéster termoplástico alifático lineal, producido a partir de recursos renovables y que es de fácil compostaje y biodegradable. Los ácidos poli lácticos son producidos a partir de la polimerización de apertura de anillo lácticas y los monómeros de ácido láctico usados se obtienen de la fermentación de materias primas de azúcar. Debido a las propiedades mecánicas que tiene el PLA comparables a las del poliestireno, puede ser sustituto de este en varios ámbitos de aplicación, aunque debido a su baja deformación a la rotura y su elevado costo sus aplicaciones se ven reducidas.[11]

El PLA posee una calidad de su superficie detallada, buena resistencia a la tracción. Debido a su estructura presenta un comportamiento rígido y frágil. Resiste trabajos continuos a temperaturas de hasta 50°C y posee una baja resistencia a la humedad.

Tabla 4
Propiedades Térmicas del PLA

Propiedad	Valor típico	Método de prueba
Temperatura de fusión	115±35°C	ISO 11357
Temperatura de ablandamiento Vicat	60°C	ISO 306
Temperatura de transición vítrea	57°C	ISO 11357

Nota. Adaptado de Poli (ácido láctico). [11]

Tabla 5
Propiedades Mecánicas del PLA

Propiedad	Valor típico	Método de prueba
MFR 210°C/2,16 kg	9,56 gr/10 min	ISO 1133
Resistencia a la tracción	70 MPa	ISO 527
Tensión en el rendimiento	5%	ISO 527
Tensión en el descanso	20%	ISO 527
Módulo de tracción	3120 MPa	ISO 527
Resistencia al impacto método Charpy 23°C	3,4 kJ/m ²	ISO 179
Absorción de humedad	1968 ppm	ISO 62

Nota. Poli (ácido láctico). [11]

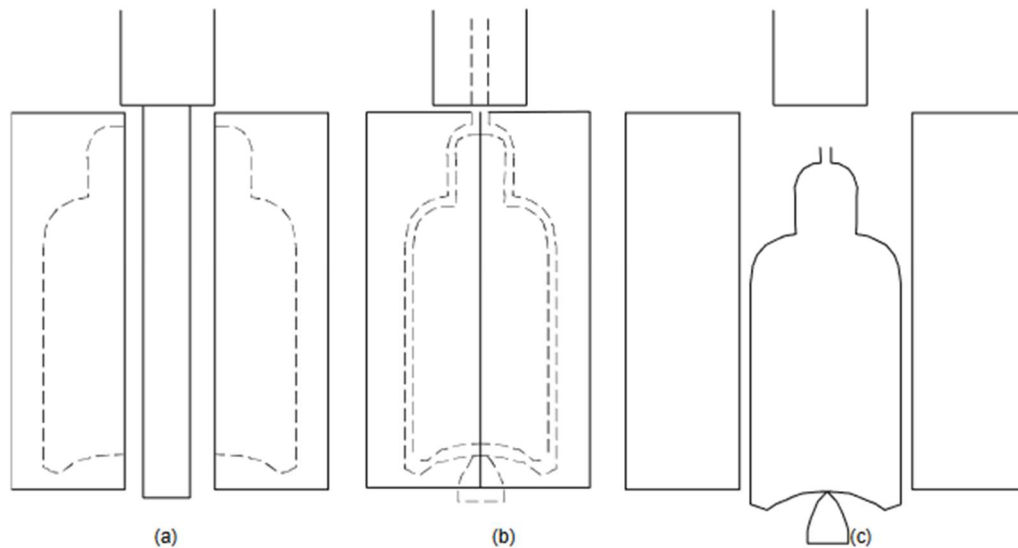
1.2.4. Procesos de Moldeo de Plásticos

A términos generales los procesos de moldeo plástico consisten en dar predeterminadas formas y medidas a un material plástico por medio de un molde o guía. Un molde consiste en una pieza de dos o más partes donde se vierte o da la forma al plástico fundido, cabe recalcar que durante estos procesos se hace uso de presión ejercida en el material para que logre adoptar la forma establecida.

Moldeo por soplado

Como se observa en la **figura 1** este es un método en el que se elaboran productos huecos, haciendo uso de una película de resina termoplástica de tal manera que el material quede bien adherido a la pared interior del molde que lo contenga, para posteriormente recibir un flujo a presión como el aire con la finalidad de inflarlo y que adopte la forma del molde al que estuvo expuesto. Estos productos deben pasar por un proceso de acabado donde se recortan los excedentes que salen del molde después del procesado. Este proceso es usado primordialmente en procesos de producción de envases contenedores como botellas, envases cosméticos, flotadores, tubos de calefacción, bolsas etc.[12]

Figura 1
Proceso de Moldeo por Soplado

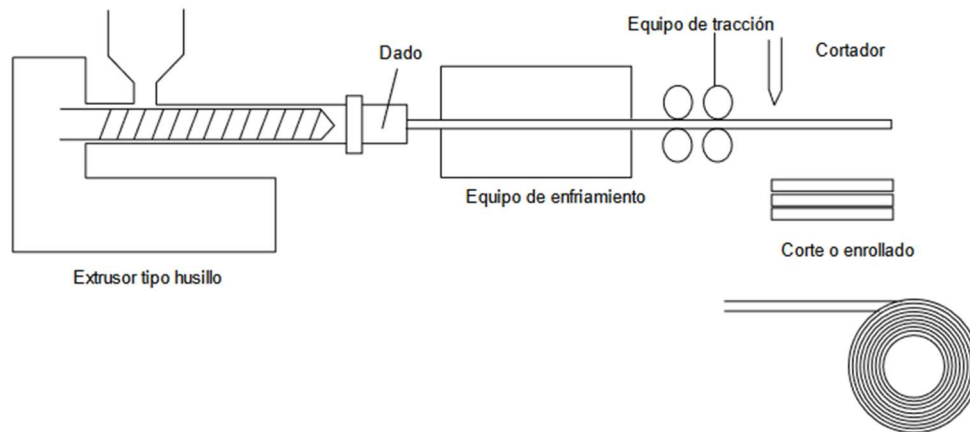


Nota. a) Extrusión de excedente de materia b) Soplado a presión con aire c) Extracción pieza completa. Adaptado de Dibujo conceptual del moldeo por soplado.

Moldeo por extrusión

Este proceso consta en la utilización de una máquina extrusora del tipo pistón o del tipo husillo, del cual se extrae el material formado con dado para la fabricación de fibras o productos cuya sección transversal es uniforme. Dentro de este tipo de proceso los materiales termoplásticos que más son utilizados son los derivados de celulosa, resinas, diversos tipos de poliestireno y nylon. Estos materiales son introducidos en forma de granulo o polvo dentro de la tolva del extrusor y esta a su vez alimenta la cámara de calentamiento para que finalmente con el uso de un tornillo sin fin el material pase a través de la matriz, tal como se observa en la **figura 2**. Dentro de este proceso se debe tener un sistema de enfriamiento ya sea mediante agua o aire, el cual enfríe y endurezca gradualmente al material.[13]

Figura 2
Proceso de Moldeo por Extrusión

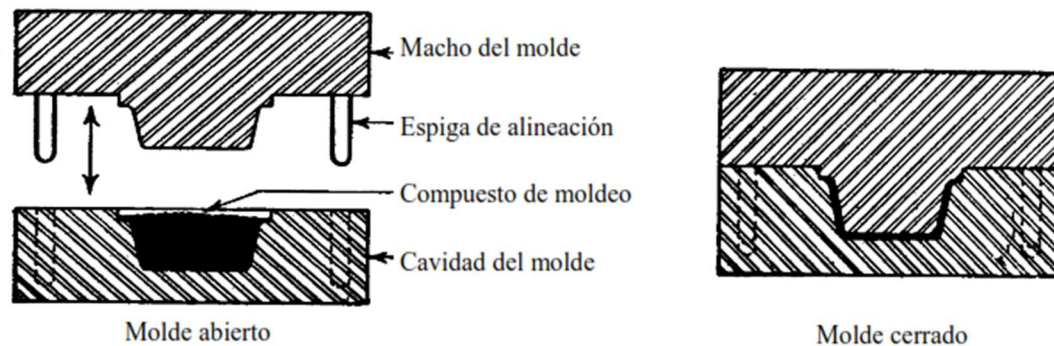


Nota. Adaptado de Dibujo conceptual del moldeo por extrusión

Moldeo por compresión

Como se observa en la **figura 3** en este proceso el encargado de dar forma al material es un molde de dos o más piezas, el cual tiene la forma guía a la cual se adaptará el plástico. Este molde es calentado a cierta temperatura y dentro de él se incorpora un porcentaje de material adecuado, el molde se cierra a presión por efecto de una prensa y mantiene al material bajo presión hasta que este adquiera la forma del molde. Al estar el material sometido a la presión y calor del molde este adoptará fácilmente la figura del molde. El tamaño y dimensiones del producto solamente viene determinado por la potencia de la prensa que se esté usando. Este proceso de moldeo no es apto para realizar productos con agujeros internos por la forma de los moldes.[14]

Figura 3
Proceso de Moldeo por Compresión

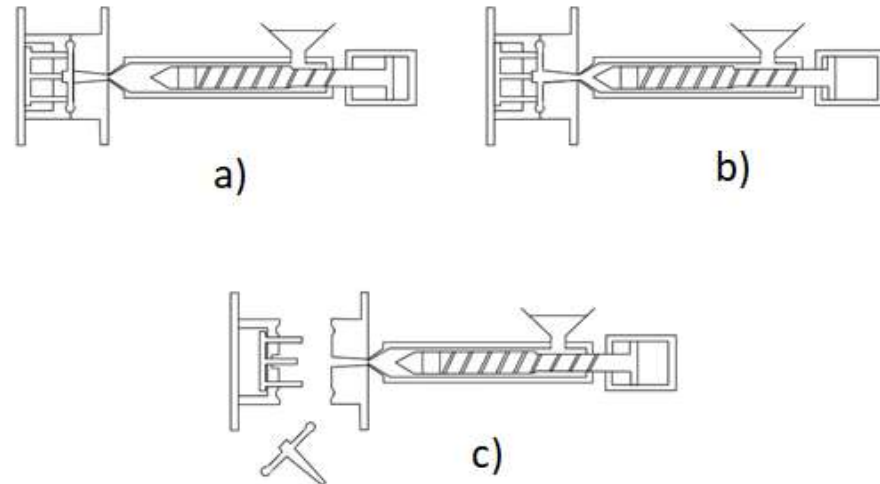


Nota. Procedimiento gráfico del moldeo por compresión. [5]

Moldeo por inyección

Este proceso es uno de los más utilizados actualmente debido a todas las ventajas que refleja dentro de la industria del plástico, su proceso de moldeo es algo parecido al proceso de extrusión, donde a través de una tolva se alimenta al cilindro de inyección, a su vez mediante de un tornillo o emboló el material va pasando a través de la cámara de calentamiento donde se funde y es inyectado a alta presión hacia un molde donde reposará hasta solidificarse, en la **figura 4** se aprecian los pasos de este método. También es necesario un sistema de enfriamiento o que el material permanezca un tiempo preciso dentro del molde para que no se deforme una vez sacado del molde y así obtener tolerancias precisas en el producto. Para este proceso se cuenta con variedad de maquinaria de inyección.[13]

Figura 4
Proceso de Moldeo por Inyección



Nota. a) Ingreso del material al husillo b) Ejecución del proceso de inyección c) Retiro de la pieza finalizada. Adaptado de Dibujo conceptual del moldeo por inyección.

El tipo de material que más se ha utilizado a lo largo de la historia para la inyección son los termoplásticos, sin embargo, en los últimos años se han desarrollado técnicas para la inyección de plásticos termoestables e incluso materiales de hule. Para que una pieza de inyección posea altas propiedades y llene completamente el molde, el proceso depende en gran parte de que el molde posea ángulos de salida y llenado, además de los bebederos de la máquina y el canal de inyección se llenen completamente. Por lo que, el diseño de los moldes juega un papel importante en el proceso de moldeo plástico.

1.2.5. Tipos de Máquinas de Moldeo Plástico por Inyección

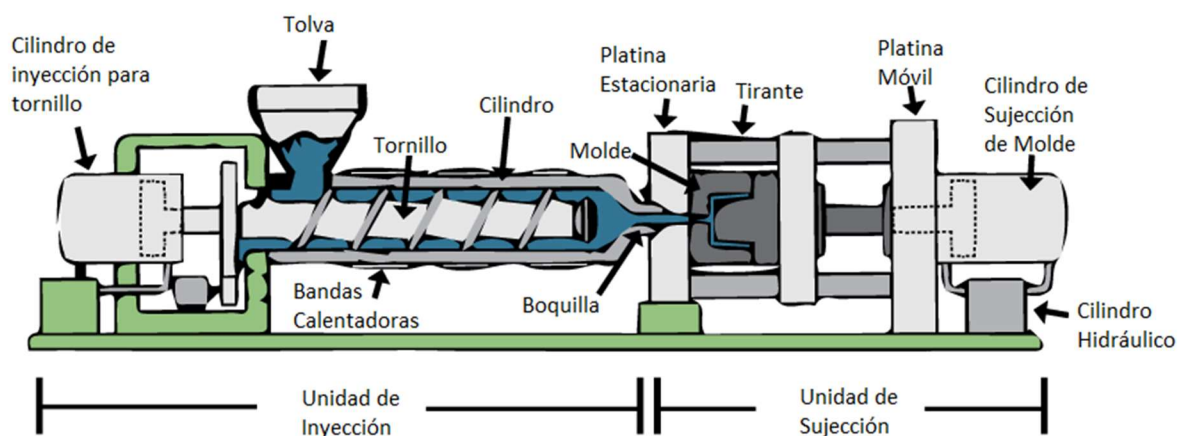
Dentro del campo del moldeo industrial mediante la inyección de plásticos, existen diferentes configuraciones de la máquina y sus principios de funcionamiento, las más conocidas y usadas son las máquinas de inyección vertical y las máquinas de inyección horizontal.

Inyección horizontal

Esta máquina es la más comúnmente utilizada dentro de la industria, es ventajosa en procesos de inyección de grandes cantidades de materiales y productos, posee fuerzas de cierre de molde y de inyección superiores ya que hace uso de actuadores hidráulicos. Entre sus variedades más conocidas están las máquinas motorizadas accionadas por servomotores, máquinas hidráulicas accionadas por motores hidráulicos, y máquinas híbridas accionadas por una combinación de servomotor y motor hidráulico, como se muestra en la **figura 5**.

Figura 5

Máquina de Inyección Horizontal



Nota. Inyección Horizontal. [15]

Inyección vertical

Tal como se muestra en la **figura 6** este formato de inyección nace de las necesidades que no puede cubrir una máquina horizontal de inyección, ya que permite la producción de piezas con insertos, ya sean metálicos o de diferentes materiales, a vista general esta máquina permite la fabricación de productos plásticos a los que posteriormente se les ha de añadir una pieza adicional o alguna clase de inserto.

Este tipo de inyección además cuenta con ventaja en los costes, ya que en una máquina de inyección horizontal los moldes pueden encarecerse hasta en un 100%, ya que se utilizan complejos sistemas de anclaje en estos insertos. Al tener la ventaja de la gravedad, hasta cierto

punto el tiempo de proceso de producción supone un ahorro dentro de la inyección y permite realizar la pieza final sin necesidad de pasos intermedios.

Figura 6
Máquina de Inyección Vertical



Nota. [16]

1.2.6. Proceso de Moldeo por Inyección de Termoplásticos

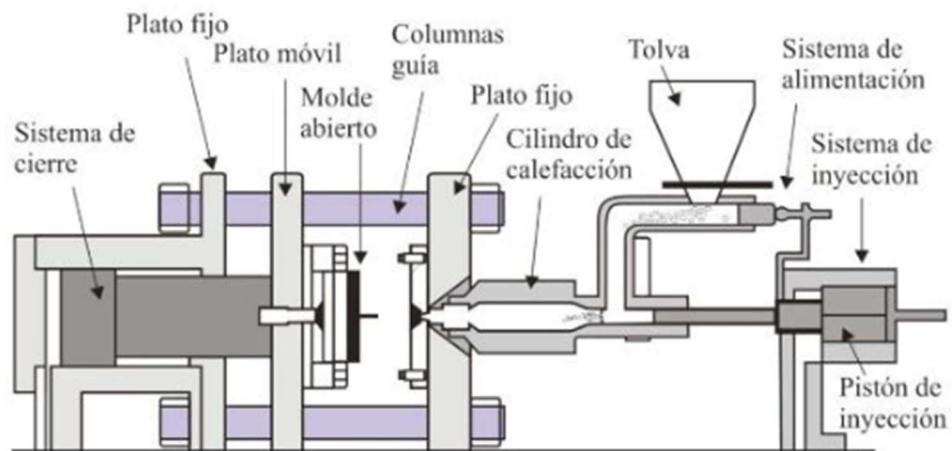
Principio de funcionamiento de una máquina de inyección de plástico

Una máquina de moldeo por inyección funciona bajo el principio de la fundición del material, en este caso termoplástico, para su posterior inyección en una matriz o molde, tal como en la **figura 7** se vierte una cantidad o gramaje estimado dentro de la tolva, este material puede ser granulado, pulverizado o troceado, una vez el material primario ha entrado en la tolva pasa a un cilindro denominado cilindro inyector o cilindro de plastificación, en donde dependiendo del tipo de cilindro inyector (embolo o husillo, **figura 8**), será presionado hasta el inicio de la boquilla inyectora.

En el caso de las máquinas inyectoras con husillo reciprocante, el cilindro se divide en tres secciones que vienen determinadas por el husillo o tornillo sin fin, en las cuales el diámetro del tornillo varia junto con la altura de filete del tornillo inyector. Esta configuración viene predeterminada para lograr una mayor homogeneización en la mezcla del material fundido y lograr soportar la presión que se aplicara en el material. Las secciones en las que se divide el husillo son

la zona de alimentación donde el diámetro del husillo es menor con una mayor altura de filete, adecuada para la canalización y arrastre del material conduciéndolo hacia la zona de compresión, donde a medida que se calienta el cilindro inyector, el material se verá expuesto a presión y calor que lo fundirán y mezclarán de forma homogénea en caso de ser mezclado con aditivos o pigmentos. Finalmente, el material fundido pasa a la sección de dosificación del husillo, el cual tiene menor altura de filete y mayor diámetro, configurado de esta manera para soportar la presión y fuerza con la que se inyecta el material. [17]

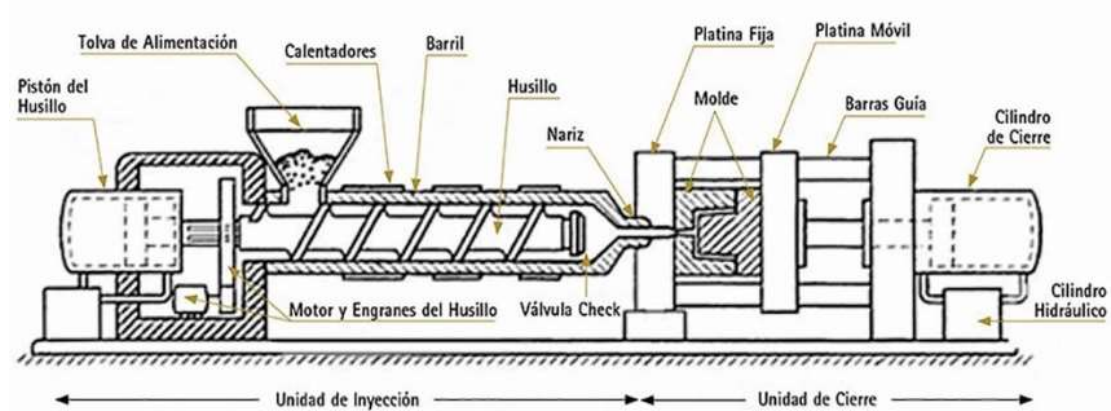
Figura 7
Máquina de Inyección por Pistón



Nota. [14]

Una vez el plástico ha sido inyectado dentro del molde y debido a que este cuenta con una temperatura menor a la del punto de fusión del material, este se solidifica con rapidez, de esta forma la pieza esta lista para ser extraída del molde o matriz y el ciclo de inyección concluye.[18]

Figura 8
Máquina Inyección con Husillo



Nota. [18]

La duración del proceso de inyección varía conforme se varía los moldes o el tipo de pieza, su duración depende el tipo de máquina a usar, tipo de fuerza motora, el tipo de polímero a utilizar y la configuración de la pieza a elaborar. A rasgos generales el proceso de inyección se conforma de 5 subprocesos de la máquina, los cuales son:

1. Asegurar molde mediante un sistema de cierre.
2. Alimentación del cilindro inyector y fundición del material.
3. Inyección del material al molde.
4. Pausa para el enfriamiento de la pieza dentro del molde.
5. Retroceso del pistón y desmoldado de la pieza.

Las máquinas de inyección pueden encontrarse en diversas configuraciones como máquinas de inyección horizontales o verticales, con sistema motriz hidráulico o manual, cilindro inyector de pistón o husillo, sin embargo, todas cuentan con los mismos subsistemas de funcionamiento para la inyección los cuáles son [18]:

Unidad de cierre del molde

Este sistema es el cuál ayuda a tener una fijación constante en el molde que soporte la presión de la inyección, generalmente consiste en dos placas una móvil y una fija, las cuales fijarán las partes del molde, generando la fuerza necesaria para mantener junto al molde. Existen diversos tipos de sistemas de cierre, pero los más eficientes y actuales son:

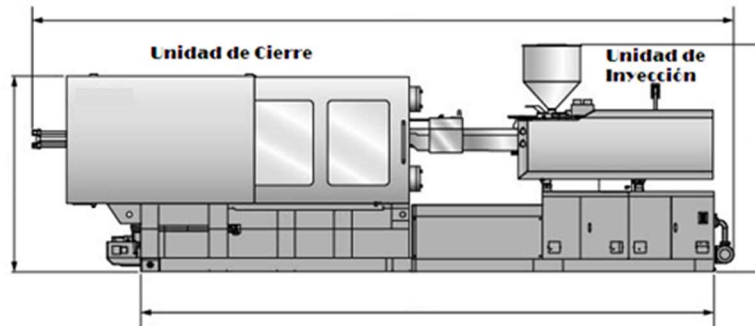
- Cierre con sistema hidráulico o pistón.
- Cierre por rodillera (simple o doble).
- Cierre por tornillo sin fin.

a) Cierre con sistema de pistón hidráulico.

Esta unidad de cierre consta de una prensa que está formada por dos placas sostenedoras, una fija y otra móvil, este sistema funciona a través de un cilindro hidráulico que ejerce una fuerza de empuje sobre las placas de cierre y un mecanismo de palanca que aumenta dicha fuerza. Este sistema de cierre fue mayormente utilizado en la década de los 60. En la **figura 9** se observa un sistema de cierre con pistón hidráulico.

Figura 9

Sistema de Cierre con Pistón Hidráulico

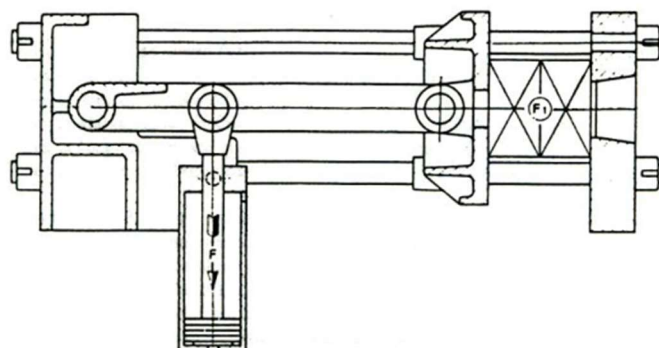


Nota. [19]

b) Cierre por rodillera simple.

Como se observa en la **figura 10** este sistema de cierre está conformado por elementos articulados de sistema biela que gracias al principio de varillaje y multiplicando la fuerza externa logra el cierre requerido para el molde. Este sistema es uno de los más eficientes ya que mediante la aplicación de una pequeña fuerza logra una elevada potencia de cierre y esto se debe a la relación multiplicadora del sistema.[5]

Figura 10
Sistema de Cierre por Rodillera Simple

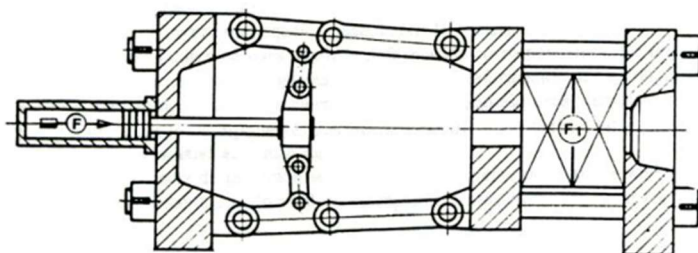


Nota. [5]

c) Cierre por rodillera doble.

Actualmente este sistema es de los más utilizados, principalmente en el sector industrial ya que ofrece una potencia de cierre de hasta 1000 toneladas, consiguiendo una relación de multiplicación de 25 a 50 veces, en comparación con la rodillera simple que tan solo logra una relación de 15 a 2 [5]. En la **figura 11** se puede ver el esquema de un cierre por rodillera doble.

Figura 11
Sistema de Cierre por Rodillera Doble



Nota. [5]

d) Cierre por tornillo sin fin.

Este sistema es accionado por un tornillo sin fin el cuál actúa como un complemento junto al sistema hidráulico y las rodilleras, tal como se observa en la **figura 12**.

Figura 12*Sistema de Cierre por Tornillo sinfin**Nota.* [19]

Unidad de inyección

La unidad de inyección es donde se ejecutan los procesos de alimentación con material, la fundición del polímero y su posterior inyección al molde o matriz. A su vez dentro del cilindro de plastificación se encuentra la boquilla de inyección y las resistencias alrededor del cilindro.

Cilindro de plastificación

Esta sección lo componen elementos como el husillo, la boquilla y las resistencias que calentaran el cilindro para la fundición del material. Además, aquí se encuentran los sensores encargados de la supervisión de la temperatura (termopares o termocuplas).

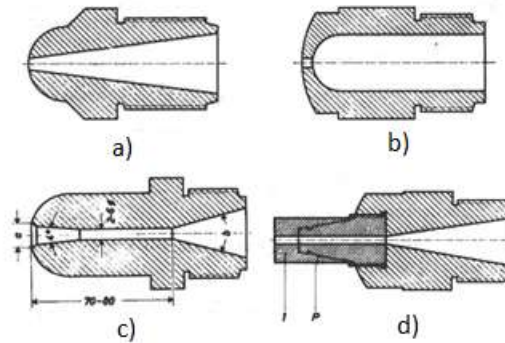
- Boquilla de inyección

Esta pieza se encuentra la parte interna del cilindro de plastificación, es la encargada de conectar este cilindro a la sección del molde. Existen diversos tipos de boquillas según el tipo de diseño del molde, tal como se detalla en la **figura 13**.

- Boquilla estándar.
- Boquilla de flujo libre.
- Boquilla cónica inversa.
- Boquilla de antecámara.

Figura 13

Boquillas de inyección



Nota. a) boquilla estándar con perfil convexo y orificio cónico b) boquilla de flujo libre c) boquilla para la elaboración de termoplásticos de baja viscosidad d) boquilla antecámara. [5]

1.2.7. Sistema de control de temperatura

El apartado donde se gestionará la temperatura que fundirá el material, estará dado por un sensor de temperatura y una salida conectada al cilindro de plastificación. Este sistema posee como función principal el regular con la mayor precisión posible la temperatura adecuada para que cada tipo de material pueda fundirse a su temperatura necesaria, sin necesidad de que se quemé o sea demasiado duro [20]. Un sistema de control de temperatura viene dado por un regulador que se encarga de leer las entradas captadas por el termopar o sensor de entrada. Comparando periódicamente la temperatura presente a la deseada y realizando un ajuste que proporcione una señal de salida al elemento de control. Dentro de los sistemas de control de temperatura se tiene tres tipos diferentes [21]:

Controlador de temperatura ON/OFF

Consta con una salida del regulador que se encuentra o bien encendida o apagada, no en un punto medio, provocando que la salida del controlador solo cambie cuando la temperatura de este pase por el punto de ajuste. Si el ciclo necesita de una repetición constante, el controlador añade una histéresis para prevenir daños a contactores, válvulas y demás elementos que este posea. El diferencial ON/OFF prohíbe la producción de cambios repentinos de conmutación en la salida de la señal, en caso de que estos cambios se produzcan de forma apresurada [22].

Controlador de temperatura proporcional

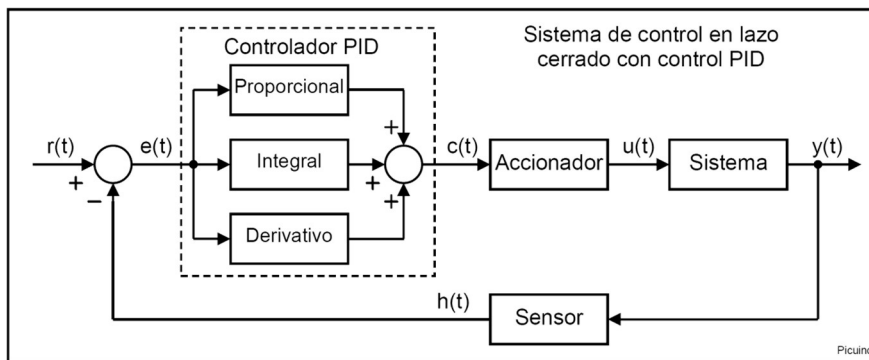
Este controlador acorta la potencia que se suministra al calentador al momento en que su temperatura se acerca al límite de ajuste. En el caso de que la temperatura se encuentre aún alejada del punto de ajuste, el cierre y el corte provocarían una variación en proporción a la diferencia de su temperatura. Por lo que si esta temperatura está debajo de la posición de ajuste, su señal de salida estará encendida por un tiempo más prolongado, mientras que, si la temperatura sobrepasa el punto de ajuste, su salida poseerá un estado de apagado predominantemente [23].

Controlador de temperatura PID

Por sus siglas Proporcional Integral Derivativo, este controlador combina el control proporcional con el control integral y derivativo, ayudando a la unidad automáticamente a compensar los cambios en el sistema. Estos ajustes son expresados mediante términos de unidades basadas en el tiempo este tipo de controladores posee gran precisión y es generalmente utilizado para sistemas que tienen una masa relativamente pequeña y reaccionan de forma drástica a cambios efectuados durante el proceso [24].

Figura 14

Diagrama de control PID de temperatura



Nota. [25]

CAPÍTULO II

2. MARCO METODOLÓGICO

Basados en las fases de la metodología Design Thinking y Design for Manufacturing and Assembly se caracterizan a detalle las etapas de las que consta la metodología a implementar.

2.1. Métodos de Investigación

Este método permite obtener un planteamiento más amplio y detallado sobre la información requerida, para establecer las limitaciones y consideraciones respectivas del proyecto en cada etapa de su diseño. [26]

2.1.1. Método descriptivo

El desarrollo preliminar del proyecto se centra primordialmente en la recolección de información que permita la comprensión más profunda de cada subsistema de la máquina y lograr dar respuesta a la interrogante de ¿cómo es? y ¿cómo funciona? una determinada parte del sistema de proyecto.

2.1.2. Método explicativo

Mediante este método se pretende dar explicación a los fenómenos térmicos y de esfuerzos a los que se someten las partes o piezas y por qué la aplicación de estos influye en el proceso de funcionamiento de la máquina.

2.1.3. Método experimental

A través de este método, y partiendo de la información y datos recolectados hasta el momento, se predecirá a través de cálculos y simulaciones en softwares CAD, si los parámetros establecidos durante el proceso de investigación satisfacen el cumplimiento de los requerimientos establecidos en los objetivos del proyecto. Además, con la implementación de este método se hace indispensable el planteamiento de un diseño experimental o propuesta de solución, que cumpla con todas las normas y requerimientos previos que se han planteado.

Para una mayor comprensión y complementación de lo que se ha descrito, se plantea un desarrollo en la ejecución del proyecto mediante etapas, las cuales se han dividido en cuatro etapas fundamentales, que a su vez desarrollaran internamente las subetapas a ejecutar.

CAPÍTULO III

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Diseño Conceptual

3.1.1. Primera Etapa. Recolección de información y definición de límites

Dentro de esta etapa inicial, es donde se relaciona con los requerimientos que se han pedido o se han propuesto, el entorno donde se desenvolverán las operaciones del dispositivo y las condiciones bajo las cuales estará funcionando.

Con la definición de los límites o alcance para el desarrollo del proyecto se logra poner un tope en lo que a requerimientos y funcionamiento del equipo se refiere. A través de un esquema organizacional se pretende que la información recolectada del usuario final y de fuentes externas converjan en una misma visión la cuál permita una clasificación cuantitativa de los requerimientos, permitiendo que el diseño a desarrollar sea el más óptimo y satisfaga los requerimientos principales. Esto se logra a través de la aplicación de la metodología QFD como medida para establecer las características requeridas que tengan mayor nivel cuantitativo, determinando la prioridad de estas y seleccionando las que sean más importantes para su aplicación en el desarrollo del dispositivo.

Tabla 6

Tabla de requerimientos principales de la máquina

Requerimientos principales	Características de calidad	Ponderación	PORCENTAJE (%)
Que sea de fácil operación	1	10	12,35
Que proporcione seguridad durante su funcionamiento	2	8	9,88
Que sea desmontable para su fácil mantenimiento	3	9	11,11
Que posea partes que puedan ser cambiadas	4	10	11,11
Que el material sea fácil de conseguir	5	7	8,64
Que sea compacta	6	7	8,64
Que cumpla con el principio de funcionamiento de la inyección	7	10	12,35

Que se puedan intercambiar los moldes	8	8	9,88
Que no genere contaminación para el medio ambiente	9	5	6,17
Que sea económica	10	8	9,88
	TOTAL	82	100,00

Nota. Dentro de las ponderaciones de importancia 10 equivale a lo más importante y 0 a lo menos.

A partir de la obtención de la siguiente tabla con los requerimientos principales, los cuáles se obtuvieron mediante, la investigación y comparación de maquinaria de inyección en la industria plástica, estos requerimientos son la diferencia que se encontró principalmente en comparación con máquinas de inyección industriales, que satisfarán las necesidades didácticas y comerciales de su aplicación, cumpliendo con el mismo funcionamiento de una máquina de inyección industrial.

3.1.2. Segunda Etapa. Determinación de parámetros requeridos

Dentro de la segunda etapa a desarrollar, se obtienen los requerimientos resultantes producto de la matriz QFD aplicada, con esta información se comienza a dar una forma de lo que la máquina de inyección debe poseer [27]. Una vez obtenidas las características cuantitativas que se definieron para el dispositivo, se establecen los criterios de diseño con los cuales se dará prioridad al desarrollo del proyecto.

A partir del desarrollo de la casa de la calidad, la cual se encuentra de forma completa y detallada en el **Anexo B**, apreciamos que, aplicando los requerimientos que se observaron en la **Tabla 6**, las características más importantes a tomar en cuenta para el diseño de la máquina de inyección manual de plástico son el Tamaño, la facilidad de uso de la máquina y la funcionalidad principal de inyección, como se observa en la **Figura 15**.

Figura 15

Tabla de ponderaciones vs requerimientos de la máquina

RELEVANCIA PORCENTUAL		17,92%	5,65%	7,14%	11,13%	11,13%	5,07%	12,13%	8,06%	13,21%	11,30%
CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA		TAMAÑO	ACABADO	PESO	MATERIAL ACEQUIBLE	BARATO	TRANSPORTABLE	FUNCIONAL	SEGURO	FÁCIL USO	FÁCIL FABRICACIÓN
REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA	POND.										
Que sea de fácil operación	5	1	0	1	0	1	0	3	1	9	1
Que proporcione seguridad durante su funcionamiento	4	0	0	0	0	0	1	1	9	1	0
Que sea desmontable para su fácil mantenimiento	4,5	1	1	3	1	0	3	0	0	3	9
Que posea partes que puedan ser cambiadas	5	3	3	1	3	1	0	1	0	1	3
Que el material sea fácil de conseguir	3,5	9	3	0	9	3	0	0	0	0	1
Que sea compacta	3,5	9	0	1	0	3	3	0	0	0	0
Que cumpla con el principio de funcionamiento de la inyección	5	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0
Que se puedan intercambiar los moldes	4	0	0	3	1	0	0	0	0	3	1
Que no genere contaminación para el medio ambiente	2,5	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0
Que sea económica	4	1	1	1	3	9	0	1	0	0	0
ABSOLUTA		91,5	34	43	67	67	30,5	73	48,5	79,5	68
RELATIVA (%)		16%	6%	7%	12%	12%	5%	13%	8%	14%	12%

Una vez que se estableció la importancia de los requerimientos de la máquina frente a las características de importancia con las que debe contar la misma, se presenta el techo de la casa de la calidad, donde se evalúan las relaciones que existen entre las diferentes características de importancia que se plantearon y obtenemos la **Tabla 7**[28].

Tabla 7

Evaluación de las relaciones entre las características de importancia

17,92%	5,65%	7,14%	11,13%	11,13%	5,07%	12,13%	8,06%	13,21%	11,30%	
TAMAÑO	ACABADO	PESO	MATERIAL ACEQUIBLE	BARATO	TRANSPORTABLE	FUNCIONAL	SEGURO	FÁCIL USO	FÁCIL FABRICACIÓN	

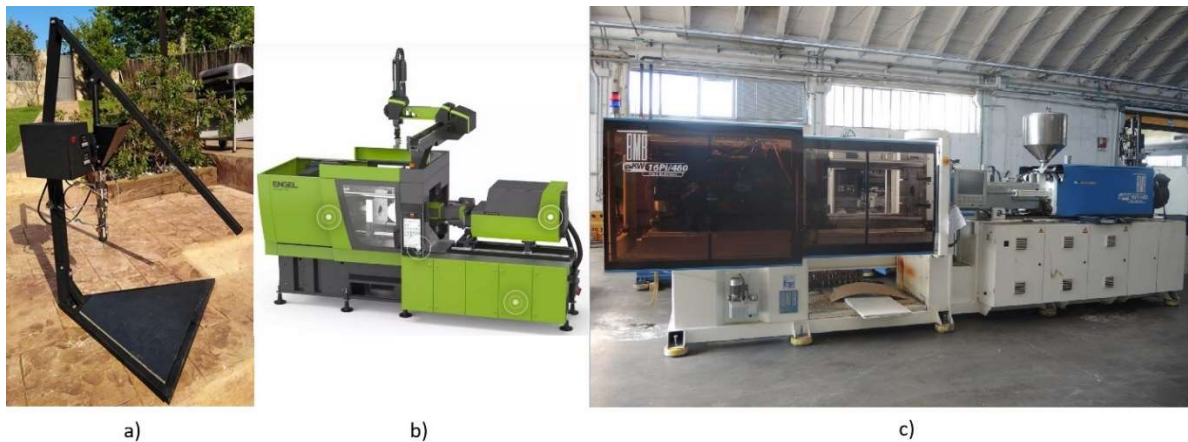
Nota. Las ponderaciones se definen como: (+) Si existe relación fuerte y (-) si no se relacionan.

Para el siguiente apartado de la casa de la calidad, donde se comparan los requerimientos de la máquina frente a otras máquinas que serían la competencia, se tomó en cuenta a tres máquinas del mercado, dos de ellas se utilizan en la industria, y una tercera que trata de una máquina de inyección con material accesible, pero que, sin embargo, cuenta con una configuración de inyección vertical, como se observa en la **figura 16**.

El cuadro, donde se comparan las características de estas máquinas, se evalúa bajo un criterio subjetivo, de las cualidades y características que debe poseer una máquina de inyección compacta, para uso a pequeña escala. Consecutivamente se realiza el gráfico comparativo, donde se representan las ponderaciones que se tomaron en cuenta frente a cada uno de los requerimientos de la máquina, de las tres opciones que se tomaron en cuenta y la máquina que se diseña, como se observa en la **Tabla 8**.

Figura 16

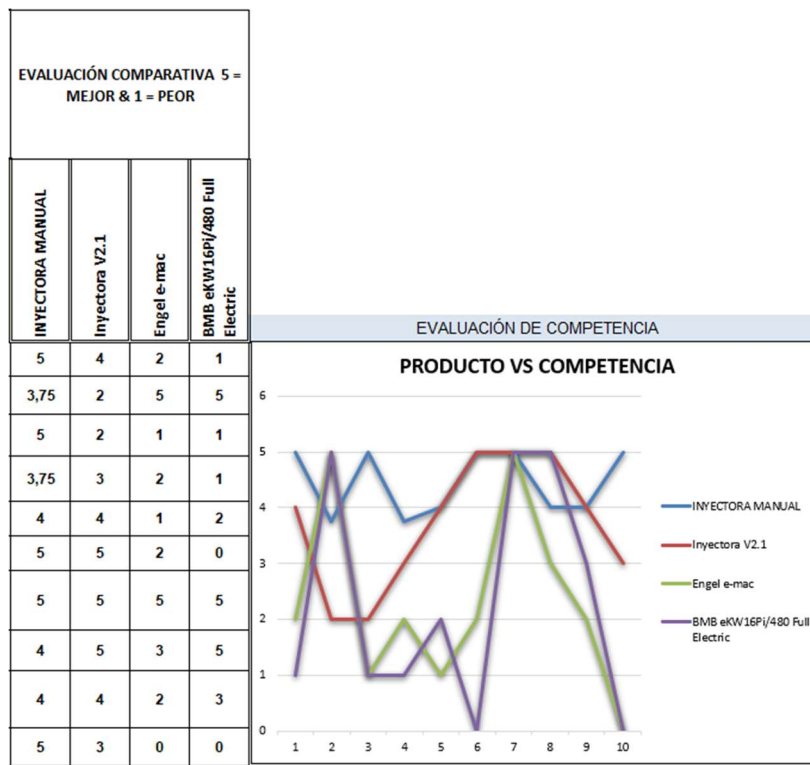
Máquinas de Inyección comparadas en características importantes.



Nota. a) Inyectora V2.1 b) Engel e-mac c) BMB eKW16Pi/480 Full Electric. [29] [30] [31]

Tabla 8

Cuadro comparativo y grafica de Producto vs Competencia



3.1.3. Tercera Etapa. Diseño de la máquina

Una vez obtenidos los requerimientos del diseño y la información complementaria para la ejecución del diseño, se plantea un boceto, dentro del cual consten los parámetros definidos y los complementos que estos requerirán para su correcta implementación.

Diseño de cilindro de inyección

Dentro de la estructura de la máquina, el cilindro de inyección es el conducto por el cual fluirá el material y permitirá el paso hacia el molde. En consideración con este cilindro hay que realizar el cálculo de sus características principales y las restricciones que este debe poseer. El caso de esta pieza se debe realizar el cálculo del grosor del cilindro y las diversas simulaciones de esfuerzos y tolerancias térmicas, para que, durante la selección del material, el que cumpla con los requisitos del diseño sea el que se defina para la pieza.

A partir de esta idea y usando la metodología DFMA (Diseño para fabricación y ensamblaje), el diseño del cilindro se representará en planos los cuales según norma permitirán un

adecuado proceso de fabricación y poseerán todos los valores de requerimiento que se han planteado.

Diseño de tornillo inyector

Para el proceso de diseño del tornillo inyector, es donde más valores de parámetros se usan, por lo que se debe tomar en cuenta distintos aspectos y tolerancias que afectan el desempeño de esta pieza en el momento de su funcionamiento. Los ángulos de elevación, altura de cresta, etc., son algunos de los parámetros a calcular, que influyen de manera directa en el diseño del tornillo inyector, además de la relación de longitud de este (la cuál generalmente es recomendable no exceda 20).

Con todos los parámetros calculados y los valores, se procede a realizar la selección del material que presente todas las características tanto físicas como térmicas para que soporte las condiciones de trabajo a las que será sometida la pieza.

Diseño sistema de cierre

Dentro del sistema general de inyección, el sistema de cierre cumple una función primordial, ya que deberá soportar una determinada presión y ejercer fuerza para que no existan excedentes de material salpicando por los alrededores, se debe realizar una preselección del tipo de sistema de cierre que se utilizará, como se ha observado en la sección anterior.

El sistema de cierre, se lo debe seleccionar de acuerdo con la cantidad de presión que deba ejercer y de fuerza que deba soportar, por el motivo de que se trata de una máquina compacta y en la cual no se ejercerá tanta presión, el sistema de cierre debe ser proporcional para no generar robustes excesiva en la máquina.

Diseño sistema de control de temperatura

Para el diseño de un controlador que regule la temperatura, se plantea el uso de un controlador PID que implemente un sistema de regulación, el cual conectado junto a los termopares será el encargado de recibir y dar la señal del cambio hasta llegar al nivel establecido en los parámetros específicos para cada material.

Este tipo de controlador otorga una variación continua en la señal de salida de la máquina retroalimentándola en un bucle que es controlado con precisión, eliminando las oscilaciones o ruidos y generando un aumento en la eficiencia del controlador. Aunado a este diseño, se debe

seleccionar los demás componentes periféricos que lo complementan, como los termopares, termómetros, etc.

3.1.4. Cuarta Etapa. Implementación de la máquina

La etapa de implementación se pone en marcha una vez que se ha terminado la fase del diseño de todos los componentes, piezas y ensambles de la máquina mediante cálculos y simulación, por lo que se procede con la implementación y prototipado físico de la máquina, mediante el uso de los planos generados y sus respectivos materiales y componentes.

Construcción cilindro de inyección

La construcción del cilindro de inyección es una de las fases más importantes dentro de la implementación, ya que en este es donde se apoyará el tornillo inyector y por donde fluirá el material a inyectar, por lo que debe tener un grosor idóneo que soporte la temperatura, aguante la presión y permita que se genere la eficiencia térmica necesaria para fundir al material dentro de la cámara de inyección. Considerando los parámetros y el diseño previamente obtenido para el mecanizado del cilindro se procede a comprar el material y mediante el uso de un torno convencional o un CNC, se le dará las medidas y acabados requeridos para que cumpla con la normativa DFMA.

Construcción tornillo de inyección

Para la construcción de esta pieza se debe tener la parametrización y cálculos realizados, debido a que, al ser una pieza de diámetros variables, es recomendable realizarla dentro de un torno CNC, ya que se automatizará el trayecto, por lo que se deben tener los parámetros de corte y operación, para ingresarlos dentro de la máquina y realizar el mecanizado. O por su contraparte, se realizará una preselección de un tornillo de inyección prediseñado, el cuál cumpla con un estándar y con los requerimientos de diseño de la máquina.

Programación sistema de control de temperatura

Dentro de la programación del sistema de control de temperatura y haciendo uso de los componentes como termopares, se realizará la programación e integración de todos los componentes electrónicos que este requiere, incluyendo el controlador PID, para la simulación de este circuito se hará uso de un software de entorno que permita su realización.

Un punto importante en el desarrollo de la programación es tener en cuenta la unidad de temperatura en la que se realizará la medición y estandarización.

3.1.5. Quinta Etapa. Validación del funcionamiento

Para cumplir la quinta etapa, se debe tener ensamblado la totalidad de la máquina, en la cual se deben haber realizado de manera satisfactoria las etapas anteriores y sus respectivas pruebas de funcionamiento. Al realizar la calibración de la máquina, ya sea de la boquilla de inyección y el sistema de control de temperatura, se debe tomar en cuenta que todas las piezas deben tener una alineación longitudinal para que, al momento de realizar la inyección dentro del molde, el material fluya en esa dirección y no tenga fugas en el caso de la existencia de holgura de las piezas.

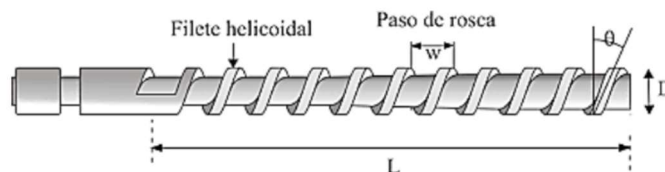
3.2. Diseño Mecánico

Dentro de este capítulo se empezó como prioridad con el diseño mecánico de la máquina de inyección, partiendo con el husillo de inyección, el cual se considera como elemento más importante dentro de la inyectora, ya que abarca parámetros importantes como dimensiones, constantes térmicas, material de construcción, etc.

3.2.1. Diseño del husillo de inyección

Se establece al husillo de inyección como el componente principal encargado de que el material, se caliente, se funda, se mezcle de manera homogénea y fluya a través del cilindro de inyección, para esto se tomaran en cuenta parámetros de los materiales polímeros que se vieron dentro del Marco Teórico.

Para el diseño de una máquina de moldeo plástico con principio de funcionamiento de husillo, uno de los parámetros en los que se debe tomar mayor importancia es la relación de longitud del tornillo, esta magnitud incidirá proporcionalmente en el dimensionamiento de otros elementos que conformen a la máquina.[32]

Figura 17*Parámetros de tornillo de inyección**Nota. [14]*

Para el diseño del husillo de inyección se tomarán como factores primordiales el diámetro del husillo (D_h), la longitud del husillo (L_h), el paso de la rosca (w) y el ángulo de filete (θ), tal como se observa en la **Figura 17**. A partir de estos parámetros, se calculará la relación de longitud del husillo de inyección, a continuación, se presentan las ventajas de los valores que puede tener un husillo de inyección.

Tabla 9*Ventajas de la Relación L/D corta y larga*

VENTAJAS DE RELACIÓN DE LONGITUD	
RELACIÓN L/D CORTA	RELACIÓN L/D LARGA
No implica un torque significativo y requiere menos potencia	Debido a su mayor torque proporciona una mayor eficiencia en la salida del material
No requiere de espacios grandes para su acondicionamiento	Proporciona una mezcla de los polímeros más homogénea debido al flujo constante y uniforme que genera
Su proceso de función y transporte es más rápido	Mejora el fundido del material y genera un menor esfuerzo cortante
Representa un valor de inversión inicial menor y su reemplazo sería más sencillo	Se puede trabajar a altas presiones

Nota. [33]

Los valores altos de L/D proporcionan al husillo una mayor capacidad para la homogeneización y fusión del material polimérico, mientras que la mayor virtud de una relación L/D es la capacidad de trabajar con un torque bajo y una potencia mínima [34]. Aprovechando estas cualidades de la relación L/D corta se definió un valor de relación de longitud de 13:1, que conjunto con los demás parámetros iniciales quedaría como:

$$LD = 14$$

$$L_h = 430\text{mm}$$

$$D_h = L_h/LD \approx 30\text{mm}$$

$$d_i = 23.901\text{mm}$$

Donde:

LD: Relación de longitud L/D

L_h: Longitud del husillo

D_h: Diámetro externo del husillo

d_i: Diámetro interno inicial del husillo

Profundidad del canal

Para el cálculo de la profundidad de canal del husillo, un valor que generalmente se suele usar como estándar está entre el rango de 0,12 a 0,18 por el diámetro externo del husillo de inyección [32]. Según la página especializada en parámetros de materiales MatWeb, un pellet de PLA consta con un volumen aproximado de 125mm³ y una longitud de 4mm, por lo que nuestra profundidad del canal debería ser lo suficientemente holgada, para que dichos pellets de referencia puedan ser transportados a través de éste. La profundidad del canal viene dada por la ecuación:

$$H = 0,18 * D_h \quad (1)$$

Donde:

H: Profundidad del canal

A partir de estas premisas, utilizando el mayor valor del rango como criterio conservador y tomando en cuenta las dimensiones de un pellet, establecemos con la **Ecuación 1** una profundidad de canal capaz de transportar dicho material, se define la profundidad del canal con un valor de:

$$H \approx 4.5\text{mm}$$

Paso de rosca

Para el diseño del paso de rosca, se pretende utilizar una constante de 1 veces el diámetro exterior del husillo de inyección [32]. Por lo que el valor del paso de rosca será el mismo que Dh.

$$W = 1 * Dh \quad (2)$$

Donde:

W: Paso de rosca

Mediante el uso de la **Ecuación 2** obtenemos que:

$$W = 30\text{mm}$$

Ángulo de hélice

El ángulo de hélice se calculó mediante la formula [32]:

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{W}{\pi * di}\right) \quad (3)$$

$$\theta \approx 24^\circ$$

Donde:

θ : Ángulo de hélice

Longitudes de las secciones del husillo

El husillo de inyección consta de tres secciones, sección de alimentación, sección de fusión y sección de bombeo. Se estableció que la longitud de alimentación del husillo estará dada por 4,5 veces el diámetro del husillo, para que el material tenga el suficiente recorrido de sección para acomodarse de manera que, al momento de fundirse, se logre una mejor homogeneización.

$$Lsa = 4.5 * Dh \quad (4)$$

$$Lsa = 135\text{mm}$$

Donde:

Lsa: Longitud de la sección de alimentación

Según la norma consultada, típicamente las secciones del husillo debe ser similares en longitud [34]. Por lo que al igual que la sección de alimentación se tomará la constante de 4,5 veces el diámetro del husillo inyector.

$$L_{sf} = 4,5 * Dh \quad (5)$$

$$L_{sf} = 135\text{mm}$$

Donde:

L_{sf} : Longitud de la sección de fusión

Al haberse definido una longitud total de 430mm del husillo, la longitud de la sección de bombeo se la determinará a través de la diferencia de la longitud total menos la suma de las longitudes de trabajo del husillo calculadas anteriormente.

$$L_{sb} = L_h - (L_{sa} + L_{sf}) \quad (6)$$

$$L_{sb} = 160\text{mm}$$

Donde:

L_{sb} : Longitud de la sección de bombeo

Cálculo de la holgura entre el cilindro y el husillo

Debido a la fricción que podría existir entre los materiales que se seleccionen para el mecanizado, debe existir cierta holgura que asegure una correcta rotación del husillo frente al cilindro de inyección. Es recomendable que para el cálculo de esta holgura se tome una constante de 0,002 a 0,003 veces el diámetro del husillo [32].

Para tener un cálculo conservador se seleccionó la constante mayor, para de la misma forma contar con la mayor holgura posible entre el husillo y el cilindro, para que no exista rozamiento.

$$\lambda = 0,003 * Dh \quad (7)$$

$$\lambda = 0.09\text{mm}$$

Donde:

λ : Holgura husillo-cilindro

Sin embargo, debido a que estos valores, no pueden tomarse con tanta precisión al momento de realizar el mecanizado de las piezas en un torno manual, debido al tamaño de la herramienta o inserto que se utilizará, se planteó un valor levemente mayor que cumple con los requerimientos eficientemente.

$$\lambda = 1.5\text{mm}$$

Longitud de trabajo

Según norma para el diseño del husillo, la longitud de trabajo del husillo se la calcula mediante la constante de 0,6 a 0,9 veces la longitud del husillo [32]. Al ser un husillo de diámetro relativamente pequeño (en comparación con otras máquinas de inyección industriales y de poca producción) se tomará un valor conservador de 0,9.

$$L_t = 0,9 * L_h \quad (8)$$

$$L_t = 387\text{mm}$$

Donde:

L_t : Longitud de trabajo

Cálculo de número de filetes y revoluciones del husillo

El número de filetes del husillo viene dado por la siguiente formula:

$$N_f = \frac{L_h}{D_h} \quad (9)$$

$$N_f \approx 14$$

Donde:

N_f : Número de filetes del husillo

Para el cálculo de las revoluciones del husillo, es necesario cambiar las unidades del Diámetro del husillo y la profundidad del canal a pulgadas.

$$N = \frac{R}{2,3 * Dh^2 * H * G} \quad (10)$$

Donde:

N: Número de revoluciones por minuto del husillo

R: Cantidad de material procesado (lb/h)

G: Gravedad o peso específicos del material (PET & PLA)

Al necesitar datos extras para el cálculo de este parámetro se procedió a obtener el valor de la cantidad de material procesado. El molde para utilizar cuenta con un volumen de llenado de: $V_m = 22.03\text{cm}^3$. Y por hora el número estimado de moldes que se harían son 5. Para obtener la masa de estos moldes se necesitarán las densidades de los materiales. Según el software MatWeb las densidades del PET y el PLA son:

$$P_{pla} = 1,24 \text{ gr/cm}^3 = 0,0447 \text{ lb/in}^3$$

$$P_{pet} = 1,38 \text{ gr/cm}^3 = 0,0498 \text{ lb/in}^3$$

Para tener un cálculo más conservador se utilizará el material que tenga mayor densidad, para conseguir la mayor masa. Por lo que se usaran los valores del material PET, así que su masa será:

$$m_m = V_m * P_{pet} \quad (11)$$

$$m_m = 30.4\text{gr}$$

Donde:

m_m : Masa de la pieza del molde

P_{pet} : Densidad del PET

Al ser 5 moldes por hora, este valor se establecerá como el producto de la masa por el número de moldes que se realizan en un tiempo determinado, dando un valor de cantidad de material procesado de (esta cantidad de material está determinada y calculada para este molde específico):

$$R = 152 \text{ gr/h}$$

Para ser conservadores, por el uso del material y tendiendo a que pueden existir fugas de material dentro del molde se multiplicara este valor por un factor de 1,2 y se lo transformara al sistema inglés para utilizarlo en la formula:

$$R \approx 0.335103 \text{ lb/h}$$

Volviendo al cálculo de las revoluciones tenemos que:

$$N \approx 12\text{rpm}$$

Al estar dado por la fuerza y velocidad del operador, este valor se encuentra sujeto a cambios, y se predetermino el rango de 12-30rpm para que el material está el suficiente tiempo dentro del cilindro y pueda fundirse de manera óptima.

Cálculo de flujos en la inyectora

Dentro del proceso de inyección de la máquina existen dos tipos de flujo que hay que tomar en cuenta, el flujo de arrastre (α) que es el que promueve el flujo del polímero a través del husillo, y el flujo de presión (β) que tiene sentido contrario y se debe a la diferencia de presión [32]. El flujo de arrastre se determina mediante:

$$\alpha = \frac{\pi * m * Dh * H * \left(\frac{W}{m} - e\right) * \cos^2 \theta}{2} \quad (12)$$

$$\alpha = 4,7783 * 10^{-6} m^3$$

Donde:

α : Flujo de arrastre

m: Número de canales del husillo

e: Ancho de la cresta del filete (3mm)

El flujo de presión está dado por:

$$\beta = \frac{m * H^3 * \left(\frac{W}{m} - e\right) * \sin(\theta) * \cos(\theta)}{12 * Lt} \quad (13)$$

$$\beta = 1,9686 * 10^{-10} m^3$$

Cálculo para obtención del caudal y tiempo de enfriamiento

Para la obtención de estos parámetros, se requiere conocer el volumen del molde que se pretende utilizar dentro de la máquina de inyección y su área superficial. Entonces tenemos que:

$$V_m = 22.03\text{cm}^3 = 2,203 \cdot 10^{-5}\text{m}^3$$

$$A_s = 123.98\text{cm}^2 = 0,012398\text{m}^2$$

Donde:

V_m : Volumen del molde

A_s : Área de la superficie del molde

Al ser un molde que se fabricó en aluminio procederemos a obtener su densidad y su valor de calor específico, en el software MatWeb se menciona que estos parámetros son:

$$\rho_{Al} = 2700 \text{ kg/m}^3$$

$$c_{pAl} = 910 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$$

Donde:

ρ_{Al} = Densidad del aluminio

c_{pAl} = Calor específico del aluminio

Aplicando la fórmula de longitud característica [35], obtenemos que:

$$L_c = \frac{V_m}{A_s} \quad (14)$$

$$L_c = 1,7769 \cdot 10^{-3}\text{m}$$

Donde:

L_c : Longitud característica

Para obtener el tiempo de enfriamiento se debe aplicar la fórmula que relaciona la temperatura a la que sale el material hacia el molde con los valores de difusividad térmica del material del molde, en este caso aluminio, para eso nos valemos de la siguiente relación.

$$\frac{T - T_a}{T_i - T_a} = \exp(-Bi * Fo) \quad (15)$$

Donde:

T: Temperatura de endurecimiento del material

Ta: Temperatura ambiente

Ti: Temperatura inicial

Bi: Número de Biot

Fo: Número de Fourier

Para la obtención del número de Biot, es necesario conocer el coeficiente de convección del medio donde se vea a ejecutar el proceso, en este caso al aire libre, y es necesario determinar el coeficiente de conductividad térmica del material del molde, en este caso del aluminio [35].

$$h = 5 \text{ W/m}^2\text{*K}$$

$$k = 205 \text{ W/m*K}$$

$$Bi = h * \frac{Lc}{k} \quad (16)$$

$$Bi = 4,3339010 * 10^{-5}$$

De la misma forma, para obtener el valor del número de Fourier, es necesario hallar la difusividad térmica del aluminio, tal que:

$$Fo = \frac{a * t}{Lc^2} \quad (17)$$

$$a = \frac{k}{\rho * C_p} \quad (18)$$

$$a = 8,344 * 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$$

Donde:

a: Difusividad térmica

t: Tiempo

Si sabemos que la temperatura de fusión del PET es de aproximadamente 260°C y su temperatura de endurecimiento es de aproximadamente 100°C, además se trabaja a una temperatura ambiente de 20°C, entonces:

$$T_a = 20^\circ\text{C}$$

$$T_i = 260^\circ\text{C}$$

$$T = 100^\circ\text{C}$$

$$\frac{T - T_a}{T_i - T_a} = 0,333 \quad (19)$$

Reemplazamos este valor dentro de la **ecuación 13**, agregamos logaritmo natural a ambos lados de la igualdad para simplificar el exponente y tenemos que:

$$\ln(0,333) = \ln\left(\exp\left(-Bi * \frac{a * t}{Lc^2}\right)\right) \quad (20)$$

Despejando el tiempo (t) y reemplazando todos los valores ya encontrados, tenemos que el tiempo de enfriamiento del material es:

$$t = 15,98 \text{ min.}$$

Una vez que se conoce el tiempo se aplica la fórmula del caudal (Q) y a su vez determinamos la velocidad del flujo (v), si sabemos que el diámetro de la boquilla de inyección es de 5mm [35]:

$$Q = \frac{Vm}{t} \quad (21)$$

$$Q = 1,378 \text{ cm}^3/\text{min}$$

$$v = \frac{Q}{Ab} \quad (22)$$

$$v = 1,17 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}$$

Donde:

v: Velocidad

Ab: Área de la boquilla del cabezal de inyección ($1,963 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$)

Fuerza de flujo y fuerza de empuje

La fuerza de flujo es la fuerza que se necesita para que el material, se bombee hacia el molde mediante acción del husillo, para determinar este valor se utiliza la fórmula:

$$F = \mu_c * Ab * \frac{v}{Db} \quad (23)$$

Donde:

μ_c : Viscosidad dinámica del polímero (10000 Pa*s)

F: Fuerza de flujo

Db: Diámetro de la boquilla

Tenemos que $F = 0,046 \text{ N}$

Para obtener el torque total que se debe ejercer, a la fórmula de torque se la multiplicara por el número de hélices del husillo, en este caso 12.

$$T = 14 * F * \frac{Dh}{2} \quad (24)$$

$$T = 9,66 \cdot 10^{-3} \text{ N*m}$$

Para determinar la fuerza que se debe aplicar sobre la manivela (tomando en cuenta que $D_{man} = 420 \text{ mm}$), para que el material avance de forma eficiente y proporcional, se debe aplicar la fórmula:

$$F_m = \frac{T}{0,5 * D_{man}} \quad (25)$$

$$F_m = 4,6 * 10^{-2} \text{ N}$$

Donde:

F_m: Fuerza requerida en la manivela

D_{man}: Diámetro de la manivela

T: Torque

Presión máxima de la inyectora

La presión se calculó a partir del valor de la viscosidad efectiva (μ) de un polímero fundido, el cual cuenta con un promedio de 1500 Pa*s [32]. Y también se obtendrá la variación de presión (ΔP) de la inyectora, el cual es el promedio de la presión máxima.

$$P_{max} = \frac{6 * \pi * Dh * Lt * N * \mu}{H^2 * \tan(\theta)} \quad (26)$$

$$P_{max} = 45,754 \text{ MPa}$$

Donde:

P_{max}: Presión máxima dentro de la inyectora

μ : Viscosidad efectiva

Flujo total de la inyectora

El valor del flujo total dentro de la inyectora se obtiene a partir de la ecuación:

$$Q_T = \alpha * N - \beta * \left(\frac{\Delta P}{\mu}\right) \quad (27)$$

$$Q_T = 3,009 * 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$$

Donde:

Q_T: Flujo total dentro de la inyectora

ΔP : Variación de la presión

Selección del material de husillo de inyección

Para la elaboración del husillo de inyección, se contemplaron cuatro distintos materiales, los cuales pueden otorgar de buenas propiedades al husillo de inyección. En la **Tabla 10** se pueden

observar las virtudes por las cuáles estos materiales fueron seleccionados como posible materia prima para el husillo de inyección.

Tabla 10
Ventajas y desventajas de los materiales

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AISI 1018	Fácil de mecanizar, formar y soldar	Baja resistencia a la corrosión
	Fácil de soldar	El límite elástico y su baja ductilidad pueden evitar la retención de bordes
AISI 4140	Adecuado para técnicas de conformado en frío	Requiere cuidado adicional durante la soldadura
	Buena resistencia a la fatiga	Maquinable en condiciones recocidas
AISI 304	Resistente a la corrosión	Susceptible a corrosión por soluciones de cloruro o ambientes salinos
	Excelentes propiedades mecánicas y alto rendimiento	Precio
AISI 316	Resistente a la corrosión	Requiere experiencia para maquinarlo
	Fácil desinfección	

Una vez que se tiene presente los pros y contras de cada material recomendado, se realizó un cuadro de análisis de las propiedades, dentro de las cuales se tomaron en cuenta las propiedades más importantes que interviene dentro del mecanizado, ensamble y proceso de inyección de la máquina. La **Tabla 11** analiza, mediante ponderaciones la comparación de propiedades de los materiales, donde el valor más alto es lo más conveniente para el diseño del husillo.

Tabla 11
Análisis de las propiedades de aceros comerciales

Propiedades	AISI 1018	AISI 4140	AISI 304	AISI 316
Asequibilidad	5	2	4	3
Precio	5	4	3	1
Resistencia al desgaste	3	4	3	3
Resistencia a la corrosión	2	3	4	5
Transmisión de torque	3	5	3	2
Dureza	3	3	3	3
Maquinabilidad	5	3	4	3
Fricción	2	3	5	5
TOTAL	28	27	29	25

Debido a que es un material que se suele encontrar con facilidad y aunque representa una inversión algo significativa, cumple con las expectativas de diseño, se seleccionó como materia prima para el husillo de inyección al Acero AISI 304, además de que al no emplear polímeros que sean difíciles de inyectar o que permanezcan dentro del cilindro de inyección por tiempos prolongados, el desgaste por abrasión que existe es lo mínimo posible, este acero inoxidable presenta un mejor equilibrio de las propiedades, sin embargo, al poseer una dureza y una resistencia a la corrosión medianamente bajas, sería recomendable realizar un acabado superficial de nitrurado o cincado a la pieza, para compensar esa deficiencia.

Análisis de fuerzas y reacciones

Para estos cálculos se requirió calcular inicialmente el volumen, masa y peso aproximados del husillo. Al ser la densidad del material a fundir mucho menor que la del acero a utilizar en el husillo, se despreciará su peso, sin embargo, se toma al husillo como un cilindro sólido.

$$V_h = \frac{\pi}{4} * (D_h)^2 * L_t \quad (28)$$

$$V_h = 273,55 \text{ cm}^3$$

Donde:

V_h : Volumen del husillo

A partir de este valor, se puede obtener la masa del husillo de inyección. Para esto se requiere la densidad de la materia prima, en este caso Acero AISI 304.

$$\delta = 8000 \text{ kg/m}^3$$

La masa del husillo se obtiene a partir de la formula:

$$m_h = \delta * V_h \quad (29)$$

$$m_h = 2,19 \text{ kg}$$

Donde:

m_h : Masa del husillo

δ : Densidad AISI 304

A partir de estos datos recolectados, se obtiene el peso del husillo de inyección mediante la ecuación:

$$W_h = m_h * g \quad (30)$$

$$W_h = 21,47 \text{ N}$$

Donde:

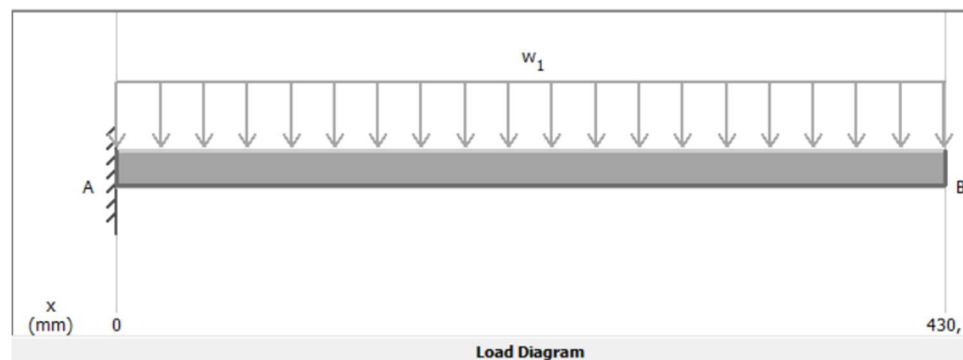
W_h : Peso del husillo

g : Gravedad ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Mediante la utilización del software especializado MDSolids, se realizaron los diagramas de fuerzas del husillo inyector.

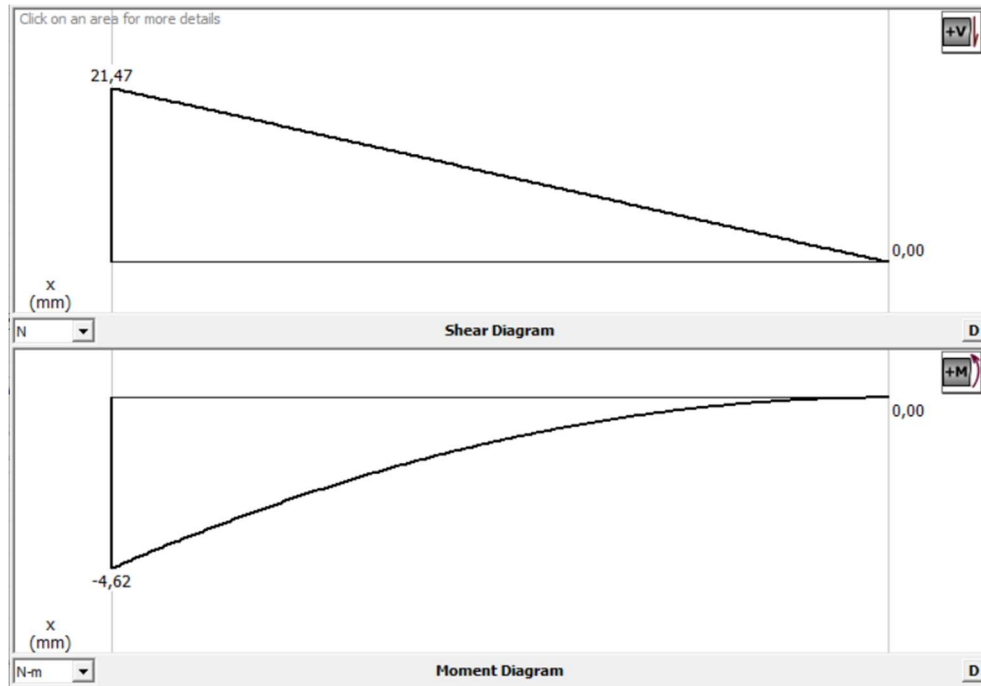
Figura 18

Diagrama de cargas que actúan en el husillo



Seguidamente se obtuvieron los diagramas de fuerza cortante y de momento flector máximo, haciendo uso del mismo software mencionado anteriormente:

Figura 19
Diagramas de fuerza cortante y momento flector



Para definir la fuerza de compresión a la que está siendo sometido el husillo de inyección, es necesario establecer varios parámetros, estos son el área transversal del husillo y la variación de presión.

$$A_h = \frac{1}{4} * \pi * D_h^2 \quad (31)$$

$$A_h = 7,06858 \text{ cm}^2$$

Donde:

A_h: Área transversal del husillo

Para determinar la fuerza de compresión que es ejercida en el husillo de inyección, es necesario utilizar la formula [32]:

$$F_x = \Delta P * A_h \quad (32)$$

$$F_x = 16170,79 \text{ N}$$

Donde:

F_x : Fuerza de compresión

ΔP : Variación de presión

A partir de estos cálculos es posible realizar el cálculo de reacciones en los ejes X, Y que se ejercen sobre el husillo inyector.

Eje X:

$$\Sigma F_x = 0$$

$$R_x - F_x$$

(33)

$$R_x = 16170,79 \text{ N}$$

Eje Y:

$$\Sigma F_y = 0$$

$$R_y - Wh = 0$$

(34)

$$R_y = 21,47 \text{ N}$$

Para la sumatoria de momentos tenemos que:

$$\Sigma M = 0$$

$$R_m - Wh(x_{f1} - x_b)$$

(35)

$$R_m = 4,616 \text{ Nm}$$

Cálculo de inercia

Para realizar los siguientes cálculos, es necesario definir primero la relación que existe entre los diámetros del husillo, los cuáles vienen dados por la ecuación:

$$u = \frac{d_i}{D_h}$$

(36)

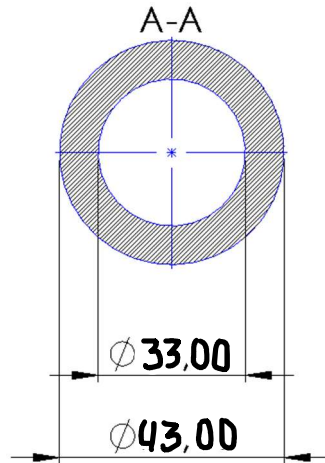
$$u = 0,7967$$

Donde:

u: Relación entre diámetros del husillo

Figura 20

Superficie transversal A-A del husillo inyector



Para determinar el área transversal del husillo inyector se requiere de la siguiente ecuación [32]:

$$S_T = \frac{\pi * Dh^2}{4} * (1 - u^2) \quad (37)$$

$$S_T = 258,19 \text{ mm}^2$$

Por ultimo para realizar el cálculo del momento de inercia de la sección mencionada A-A, se utilizará la formula [36]:

$$I = \frac{\pi * Dh^4}{64} * (1 - u^4) \quad (38)$$

$$I = 2,374 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Donde:

I: Momento de inercia

$$J = \frac{\pi * di^4}{32} * (1 - u^4) \quad (39)$$

$$J = 2,311 * 10^{-8} \text{ m}^4$$

Donde:

J: Momento polar de inercia del área

Cálculo del radio de inercia y esbeltez

Para el cálculo del radio de inercia de la sección A-A del husillo, es necesario utilizar la fórmula:

$$Rin = \sqrt{\frac{I}{S_T}} \quad (40)$$

$$Rin = 9,589 * 10^{-3} \text{ m}$$

Donde:

Rin: Radio de inercia de la sección A-A

El parámetro de la esbeltez, se obtiene mediante la fórmula [32]:

$$\lambda_h = \frac{\alpha_v * Lh}{Rin} \quad (41)$$

$$\lambda_h = 89,69$$

Donde:

λ_h : Esbeltez

α_v : Constante de vigas en voladizo (2)

Cálculo fuerza axial y tensión tangencial

Para determinar el valor de la fuerza axial, se utilizó la siguiente fórmula:

$$Fa = S_T * Pmax \quad (42)$$

$$Fa = 1,181 * 10^4 \text{ N}$$

Donde:

Fa: Fuerza axial

En cambio, la tensión tangencial viene dada por:

$$\tau = \frac{T * \frac{di}{2}}{J} \quad (43)$$

$$\tau = 4,995 * 10^3 \text{ Pa}$$

Donde:

τ : Tensión tangencial

T: Torque

Cálculo de la tensión normal

Esta variable se da como el resultado de la fuerza axial que se calculó y la carga compartida, como ya se posee el primer valor, la carga compartida se obtiene con la formula:

$$q = \frac{Wh}{Lh} \quad (44)$$

$$q = 49,92 \text{ N/m}$$

Donde:

q: Carga repartida

Wh: Peso del husillo

Conjuntamente para el cálculo del momento flector máximo (que ya se obtuvo en el análisis de reacciones previo), se confirmara este valor, mediante la formula:

$$Mf = \frac{q * Lh^2}{2} \quad (45)$$

$$Mf = 4,615 \text{ Nm}$$

Donde:

Mf: Momento flector máximo

Por último, se procedió a determinar la tensión normal:

$$\sigma = \frac{Fa}{St} + \frac{Mf * c}{I} \quad (46)$$

$$\sigma = 48,065 \text{ MPa}$$

Donde:

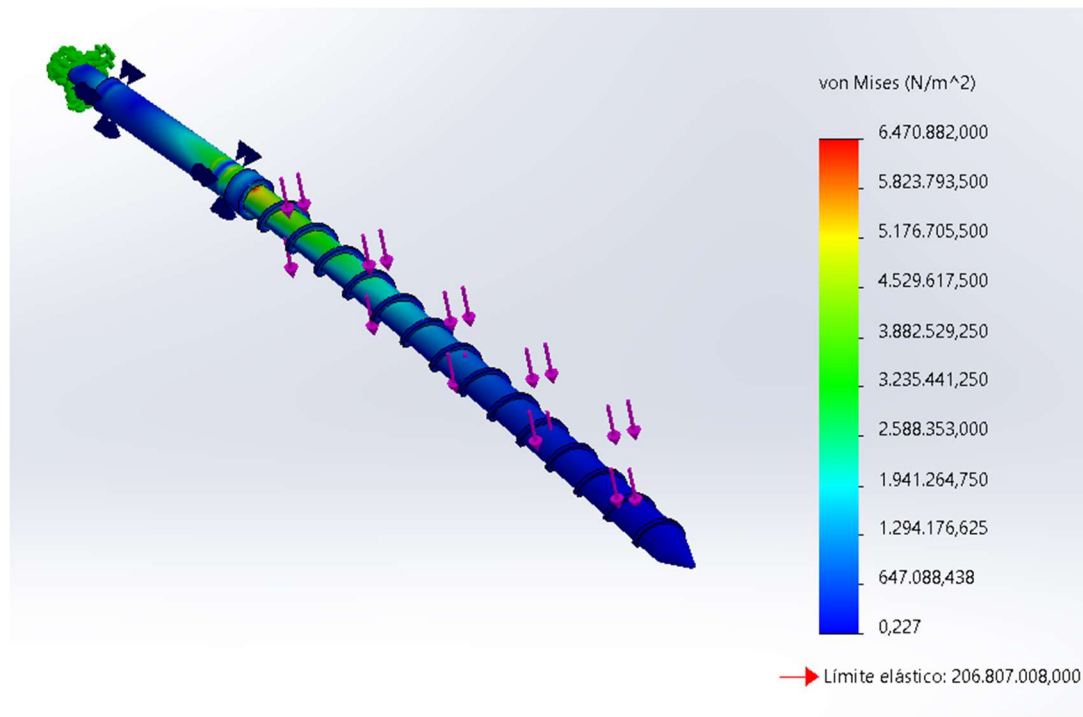
σ : Tensión normal

c: Radio interno del husillo ($d_i/2$)

Para verificar los resultados obtenidos, se utiliza el análisis de esfuerzo en el software SolidWorks, donde en la **figura 21** se observan los resultados.

Figura 21

Análisis de máximo esfuerzo del husillo



Cálculo de la flecha de flexión

Este valor se obtiene a partir de la formula:

$$Y_{max} = \frac{q * Lh^4}{8 * E * I} \quad (47)$$

$$Y_{max} = 4,656 * 10^{-5} \text{ m}$$

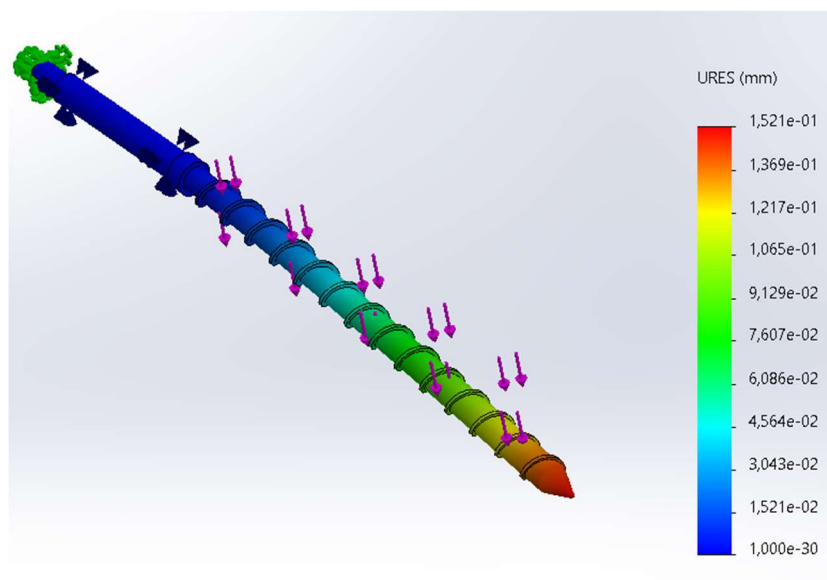
Donde:

E: Módulo de elasticidad AISI 304 (193 GPa)

I: Momento de Inercia

En la **figura 22** se observa la deflexión máxima obtenida mediante simulación con el software SolidWorks.

Figura 22
Deformación del husillo



Deflexión máxima admisible del husillo

En la **Tabla 12** se define cual es la deflexión o deformación admisible que tendrá el husillo inyector [37].

Tabla 12
Deformaciones admisibles en vigas

Tipos de vigas	Deformaciones máximas admisibles
Vigas que soportan cubiertas de techo flexibles	L/180
Vigas que soportan cubiertas de techo rígidas	L/240
Techos o pisos ligados a elementos no estructurales que pueden ser dañados por deflexiones excesivas	L/480
Construcción no general	L/360
Puentes carreteros	L/360
Elementos de máquina en general	L/800
Elementos de máquinas sometidos a choques o impactos	L/1000

Nota. Tabla tomada de [33]

Para el caso del husillo inyector, como se define como un elemento general de máquina, la deflexión que se admitiría sobre el sería de:

$$[Y] \leq \frac{Lh}{800} \quad (48)$$

$$[Y] \leq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Como ya se obtuvo anteriormente el valor de la deformación máxima que tendrá el husillo inyector, se realiza la sustitución de valores:

$$[Y] \leq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m} \quad (49)$$

$$4,656 \cdot 10^{-5} \text{ m} \leq 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$$

Una vez resuelta la desigualdad, podremos concluir que la deflexión máxima a la que es sometida la máquina, no supera la deflexión permisible para la máquina, por lo que este criterio se cumple.

Cálculo del esfuerzo equivalente

Para hallar el cálculo del esfuerzo equivalente, se utiliza la formula [36]:

$$\sigma_e = \sqrt{\sigma^2 + 3 * \tau^2} \quad (50)$$

$$\sigma_e = 38,883 \text{ MPa}$$

Donde:

σ_e : Esfuerzo equivalente (MPa)

Factor de diseño

En la **Figura 23** se establecen los rangos que existen para el factor de diseño para materiales dúctiles que están sometidos a diferentes condiciones de carga:

Figura 23*Rango de factores de diseño para materiales dúctiles*

Materiales dúctiles	
1.	$N = 1.25$ a 2.0 . El diseño de estructuras bajo cargas estáticas, para las que haya un alto grado de confianza en todos los datos del diseño.
2.	$N = 2.0$ a 2.5 . Diseño de elementos de máquina bajo cargas dinámicas con una confianza promedio en todos los datos de diseño. Es la que se suele emplear en la solución de los problemas de este libro.
3.	$N = 2.5$ a 4.0 . Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquina bajo cargas dinámicas con incertidumbre acerca de las cargas, propiedades de los materiales, análisis de esfuerzos o el ambiente.
4.	$N = 4.0$ o más. Diseño de estructuras estáticas o elementos de máquinas bajo cargas dinámicas, con incertidumbre en cuanto a alguna combinación de cargas, propiedades del material, análisis de esfuerzos o el ambiente. El deseo de dar una seguridad adicional a componentes críticos puede justificar también el empleo de estos valores.

Nota. [38]

Debido a que el husillo girara de manera constante y se encontrara sometido a una acción constante de giro, pero que sin embargo algunos parámetros cambian de acuerdo con el material que se estará utilizando dentro de la inyectora, se tomó como rango para el factor de diseño $N = 4$ 0 más. El factor de diseño, se calcula con la siguiente formula [36]:

$$\eta_s = \frac{S_y}{\sigma_e} \quad (51)$$

$$\eta_s = 12,192$$

Donde:

η_s : Factor de diseño

S_y : Esfuerzo de fluencia AISI 304 (586 MPa)

3.2.2. *Diseño del muñón*

Es la sección del husillo, donde se acopla la placa de sujeción y que además impide el escape de material desde el cilindro hacia afuera, esta sección del husillo no se encuentra contabilizada dentro de la longitud del husillo (L_h). Debido a que esta sección del husillo es la encargada de acoplarse a la parte fija que sostendrá el cilindro y que es la sección que impide que el material se escape, se estableció un largo y un diámetro que pertenecerán a esta sección (donde no se mecanizará hélice) [32].

$$Lih = 15\text{mm}$$

$$Dih = 32.901\text{mm}$$

$$Lm = 150\text{mm}$$

$$Dm = 25\text{mm}$$

$$LgM = 30\text{mm}$$

$$DM = 20\text{mm}$$

Donde:

Lih: Longitud inicial del husillo

Dih: Diámetro inicial del husillo

Lm: Longitud del muñón

Dm: Diámetro del muñón

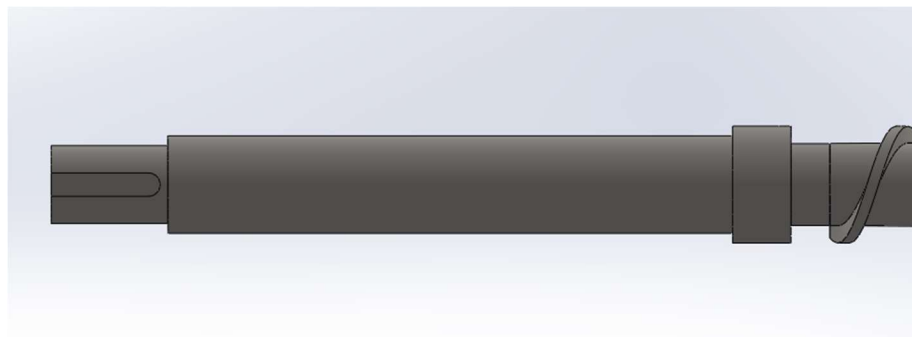
LgM: Longitud sección manivela

DM: Diámetro sección manivela

Además, debido a problemas en el mecanizado de la trayectoria helicoidal sobre el eje, se debe un segmento de 10mm denominado cuello de roscado en el cual no se realiza el roscado de la pieza como se observa en la **figura 24**.

Figura 24

Sección inicial y muñón del husillo

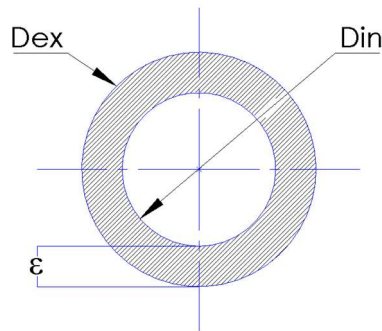


3.2.3. Diseño del cilindro de inyección

Para el diseño del barril se deben tomar en cuenta los parámetros que los conforman, los cuáles son el diámetro exterior (Dex), diámetro interior (Din) y espesor (ϵ_c).

Figura 25

Parámetros del cilindro inyector



El cálculo de parámetros del cilindro se inicia con el diámetro interior, el cual está establecido por el diámetro del husillo más la holgura, tal que:

$$Din = Dh + \lambda \quad (52)$$

$$Din = 33\text{mm}$$

Donde:

Din: Diámetro interno del cilindro

Cálculo espesor del cilindro inyector

Para el cálculo del espesor del cilindro es prioritario determinar la presión máxima que este soportará la fórmula para determinar este parámetro es:

$$\epsilon_c = r_i * \left(1 - \sqrt{\frac{2 * Pmax}{\sigma_t - 2 * Pmax}}\right) \quad (53)$$

$$\epsilon_c \approx 8 \text{ mm}$$

Donde:

ϵ_c : Espesor del cilindro

r_i : Radio interno del cilindro (Din/2)

P_{max} : Presión máxima

σ_t : Esfuerzo máximo de fluencia del material (440MPa)

Con estos parámetros se calculó diámetro exterior del cilindro de inyección:

$$D_{ex} = D_{in} + 2 * \varepsilon_c \quad (54)$$

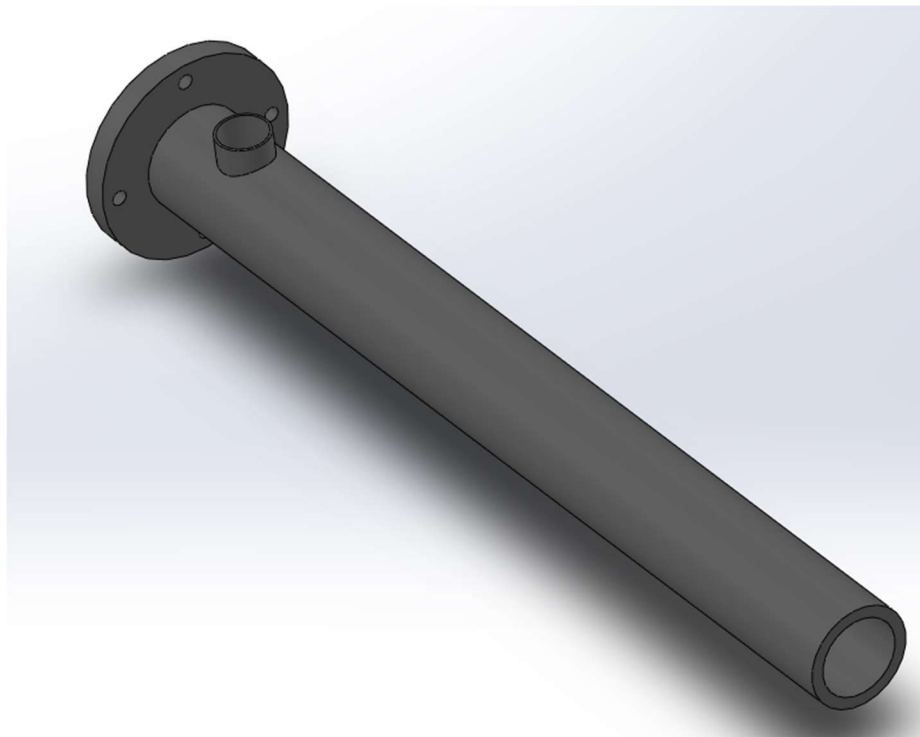
$D_{ex} \approx 49 \text{ mm}$

Donde:

D_{ex} : Diámetro exterior del cilindro inyector

Figura 26

Modelado del cilindro inyector



Sin embargo, debido a que la longitud del cilindro es considerable y los procesos de mecanizado tienen a tener un margen de error en su proceso, se optó por adecuarse a un tubo de cédula ya rectificado y torneado, independientemente de sus medidas, por lo que se optó un cilindro de 33mm de diámetro interno y 43mm de diámetro externo.

$D_{ex} = 43 \text{ mm}$

Selección del material del cilindro

Para la selección de la materia prima del cilindro de inyección se contemplaron cuatro distintos materiales, los cuáles son los más comunes para este tipo de piezas y que además poseen propiedades que tendrían buena aceptación en el elemento de máquina, en la **Tabla 13** se muestran las ventajas y desventajas que posee cada uno de ellos.

Tabla 13

Ventajas y desventajas de los materiales analizados

	VENTAJAS	DESVENTAJAS
AISI 1018	Fácil de mecanizar, formar y soldar	Baja resistencia a la corrosión
	Fácil de soldar	El límite elástico y su baja ductilidad pueden evitar la retención de bordes
	Adecuado para técnicas de conformado en frío	
ASTM A106 (cedula 40)	Alta resistencia	Baja resistencia a la corrosión y al daño contra fuego
	Buena durabilidad y ductilidad	Susceptibilidad al pandeo
AISI D2	Tenacidad y resistencia a la fatiga	
	Alta resistencia al desgaste y resistencia a la compresión	Difícil maquinabilidad
B P EN 102494-1	Alta templabilidad	
	Buena resistencia	Baja resistencia a la corrosión
	Fácil maquinado y soldabilidad	

Nota. [39]

Una vez que se tiene presente los pros y contras de cada material recomendado, se realizó un cuadro de análisis de las propiedades, dentro de las cuales se tomaron en cuenta las propiedades más importantes que intervienen en la máquina. La **Tabla 14** analiza, mediante ponderaciones la comparación de propiedades de los materiales, donde el valor más alto es lo más conveniente para el diseño del cilindro inyector.

Tabla 14

Análisis de las propiedades de aceros comerciales

Propiedades	AISI 1018	ASTM A36	AISI D2	B.P. EN 102494-1
Asequibilidad	5	4	2	5
Precio	5	4	3	4
Resistencia al desgaste	3	5	5	4
Resistencia a la corrosión	2	3	4	3
Dureza	2	4	3	3
Maquinabilidad	5	2	2	3
TOTAL	22	22	19	22

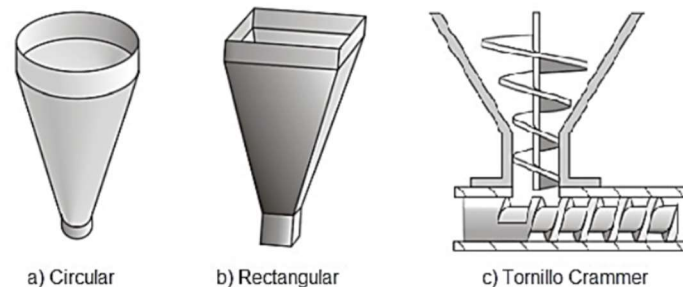
Basándose en los requerimientos de diseño para el cilindro inyector, el material que mejor equilibrio de propiedades tiene, es el acero ASTM A106 cédula 40, el cual a su vez es una alternativa de bajo costo, que cumple equilibradamente los requerimientos necesarios para el correcto funcionamiento del cilindro inyector, sin embargo, este acero tiene la deficiencia de la baja resistencia a la corrosión y al desgaste, lo cual sería recomendable solucionar mediante un acabado superficial como el nitrurado, aunque al no estar expuesto a movimiento continuo, este desgaste puede ser despreciable.

3.2.4. Selección y diseño de la tolva

Para que el material pueda descender de manera correcta desde la tolva hasta el cilindro de inyección y así fluir por este, las paredes de la tolva necesitan ser inclinadas y de manera preferente una pared lisa continua. A continuación, se presentan los tres tipos de tolvas más utilizados en la industria.

Figura 27

Tipos de tolvas para uso de inyectoras



Nota. [14]

Por el motivo de ser una máquina de inyección compacta que cuente con la mayor eficiencia y ahorro de espacios y costos innecesarios, se toma como selección una tolva circular, que permitirá un mayor flujo y transporte del material, ya que, al estar conectada la tolva con la sección de alimentación del cilindro de inyección, esta debe ser capaz de proveer de forma continua ininterrumpida el material, por lo que usualmente el diseño más común es el de cono circular [34].

En base a que la producción está planteada por la cantidad de moldes por unidad de tiempo, se plantea que en una hora se realizarán de cuatro a cinco moldes, considerando que los materiales a los que se enfoca este proyecto son el PET y PLA debido a que pueden ser materiales reciclables, se establecerá que la tolva posea el volumen suficiente para albergar material al menos para realizar

cinco moldes, para realizar el cálculo de este parámetro se debe dividir la masa del material a producir en la cantidad de tiempo establecida, sobre la densidad del material. Por efectos de conveniencia se desprecia los espacios existentes entre los pellets del material, considerando todo como una sola masa compacta. Para obtener la masa de los moldes, se utilizará la densidad del PET, para tener un valor con tendencia más conservadora.

$$V_t = \frac{m_{5M}}{\delta_{PET}} \quad (55)$$

$$V_t = 110,15 \text{ cm}^3$$

Debido a la existencia de pérdida de material o previniendo un cierto porcentaje de material excedente que pueda escaparse por las juntas del molde o por cuestiones de los componentes de la máquina el volumen de la tolva se lo duplicará, quedando como $V_t = 220,3 \text{ cm}^3$.

Donde:

V_t : Volumen de la tolva

m_{2M} : Masa necesaria para llenar dos moldes

δ_{PET} : Densidad del PET (1,48 g/cm³)

Entonces, el volumen que deberá albergar la tolva aproximadamente es de 220,3 cm³, para que el diseño cumpla con lo requerida se establece un radio mayor de 5cm y un radio menor de 1cm, para calcular la altura del cuello de la tolva se plantea la siguiente igualdad.

$$V_t = \frac{h_c * \pi}{3} * (r_1^2 + r_2^2 + r_1 * r_2) \quad (56)$$

Despejando h_c obtenemos que:

$$h_c = 11,31 \text{ cm} \quad (57)$$

Donde:

h_c : Altura del cono

r_1 : Radio mayor del cono

r_2 : Radio menor del cono

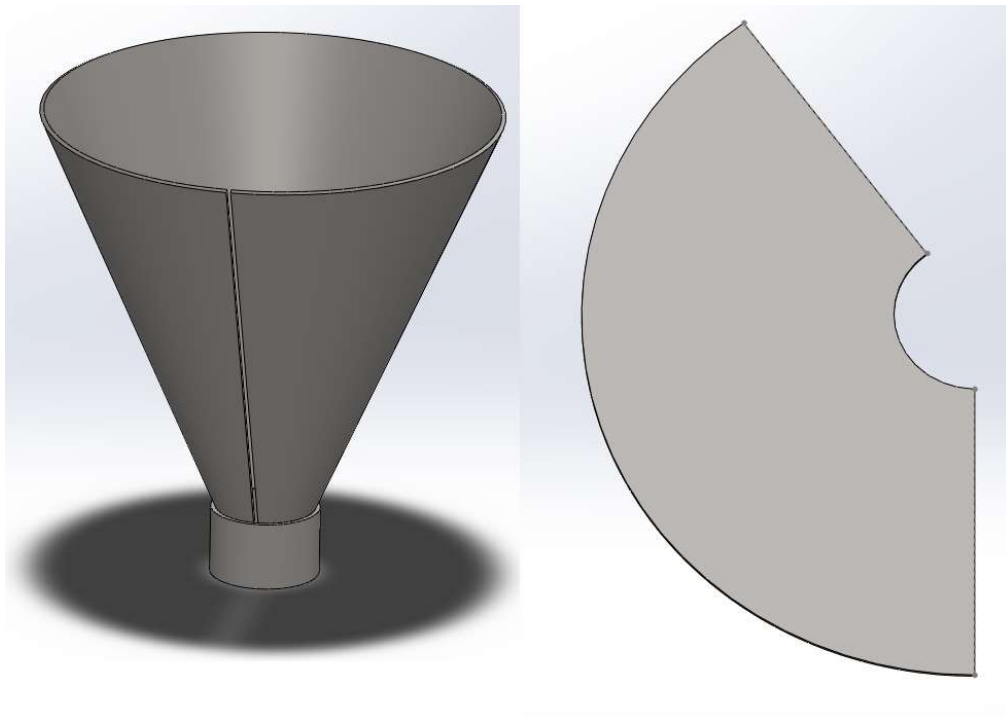
Para mejorar el diseño de la tolva, se establece que el grosor de esta sea de 1mm, para garantizar una construcción más eficiente.

Selección del material de la tolva

Al ser un componente de la máquina que no está sometido a ninguna clase de esfuerzo, desgaste o temperaturas altas, se preseleccionó el material acero inoxidable AISI 304, ya que como se vio en las anteriores tablas comparativas, ofrece una excelente maquinabilidad, alta resistencia y buena durabilidad.

Figura 28

Diseño de tolva y silueta desplegada

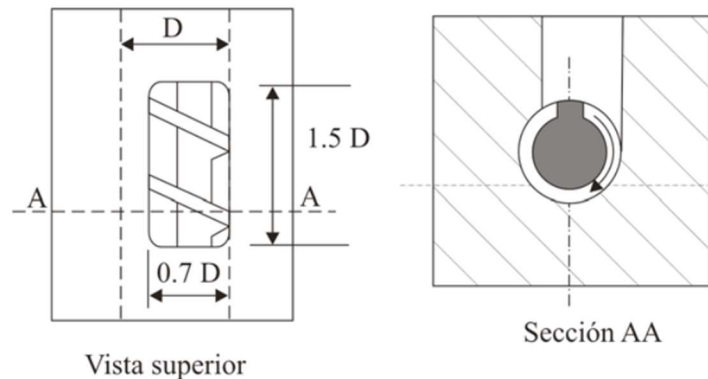


3.2.5. Posición de orificio de alimentación

Se refiere al orificio ubicado en el cilindro inyector, el cuál comunica el canal de inyección con la tolva, la parte por donde ingresa el material para posteriormente ser inyectado. Según normativa bibliográfica, la boquilla en cuestión debe tener una anchura de 0,7 veces el diámetro del cilindro [14] (al ser una tolva de razón circular se utiliza esta medida de anchura como diámetro de la boquilla de alimentación, por lo que este diámetro será de aproximadamente 20mm), y por

lo general esta boquilla se la desplaza del eje céntrico del husillo inyectora para que el material posea una caída de material más eficiente.

Figura 29
Orificio de alimentación



Nota. [14]

3.2.6. *Diseño del cabezal inyector*

Para proporcionar cierto grado de versatilidad a la inyectora, se definió que el cabezal inyector es un elemento removible y roscado de la máquina, el cuál puede ser intercambiado con facilidad, gracias a una muesca que presenta en la parte externa del mismo.

Para definir el espesor del cabeza, se plantea la premisa de que consta como una extensión del cilindro de inyección, por lo que se estableció un mismo espesor.

$$\varepsilon_c = 5mm$$

(58)

Además, se plantearon los demás parámetros de la siguiente manera:

$$L_{cb} = 50mm$$

$$L_{pc} = 20mm$$

$$D_{pc} = 15mm$$

Donde:

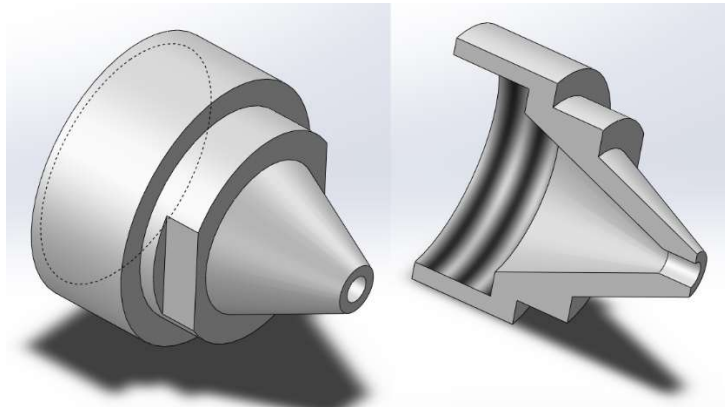
Lcb: Longitud del cabezal

Lpc: Longitud de punta del cabezal

Dpc: Diámetro de punta del cabezal

Figura 30

Modelado del cabezal y corte transversal



Selección del material del cabezal

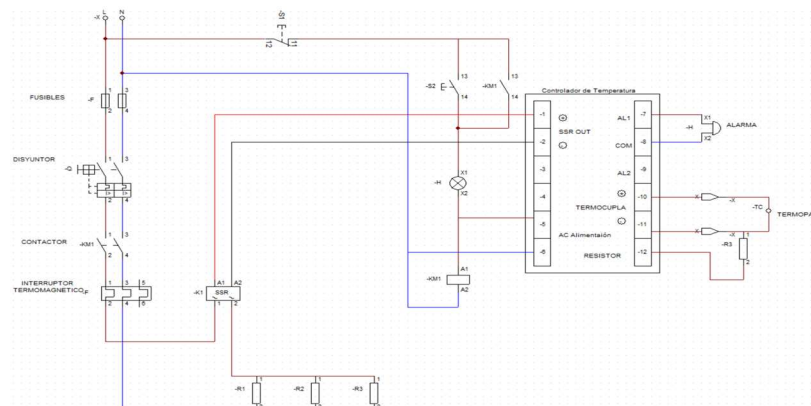
Para facilitar el mecanizado, y al considerarse como una extensión del mismo cilindro inyector, el material que se seleccionó para el cabezal inyector es el acero AISI 1018.

3.3. Diseño Eléctrico

Para el diseño conceptual que se pretende implementar dentro del diseño eléctrico de la máquina inyectora, se planteó el siguiente diagrama encargado del control de la temperatura y el encendido de este, para su creación se utilizó el software especializado Cadesimu.

Figura 31

Esquema del controlado eléctrico



Debido a que se trata de una máquina de funcionamiento manual, dentro del esquema no se ha referenciado ningún motor, ya que la inyectora funciona con una manivela.

3.3.1. Sistema de control de temperatura

Para el proceso de la regulación y controlar que el cilindro este siendo sometido a la temperatura adecuada para calentar al polímero que se funde, es necesario la implementación de un sistema que se encarga de controlar esta variable, a continuación, se presenta la selección de este sistema.

Selección del controlador de temperatura

Como se presentó dentro del marco teórico, los tipos de controladores de temperatura son tres, controlador On/Off, proporcional y PID, sin embargo, para ejemplificar su uso importancia de uso dentro de la máquina, en la **Tabla 15** se presenta las ventajas que conlleva cada controlador.

Tabla 15
Ventajas de los controladores de temperatura

VENTAJAS	ON/OFF	PROPORCIONAL	PID
Precisión y estabilidad	1	3	5
Controla potencia media suministrada al calentador	-	1	5
Evita cambios rápidos de conmutación	-	2	5
Diferencial de encendido o apagado (histéresis)	-	3	5
Compatible termopares J, K, T, R, S, E, B, C	5	5	5
Rango de voltajes 110-220 VAC	5	5	5
Salida con relé de estado sólido (SSR)	1	-	5
TOTAL	11	19	35

Nota. Tabla tomada de [33]

De acuerdo con las opciones mostradas, el controlador que ofrece mayores ventajas y con mayor ponderación es el controlador PID, además que admite compatibilidades con la mayor variedad de termopares sin necesidad de reacondicionar su circuito. Además de este elemento, para que el sistema de control funcione se requieren una termocupla que será la encargada de ir censando la temperatura hasta que esta llegue al valor adecuado y una resistencia calefactora, que será la encargada de elevar la temperatura hasta el rango requerido.

Selección del termopar

Tabla 16

Temperaturas de termopares comerciales

TERMOPAR	T. MÍNIMA °C	T. MÁXIMA °C	ALEACIÓN
Tipo J	-200	750	Hierro/Constantán
Tipo K	-200	1370	Chrome/Alumel
Tipo T	-250	400	Cobre/Constantán
Tipo R	0	1767	Platino/Rodio
Tipo S	0	1767	Platino/Rodio
Tipo B	0	1820	Platino/Rodio
Tipo E	-200	800	Chromel/Constantán

Nota. Tabla basada en [33]

Debido al hecho de que la máquina de inyección está enfocada para materiales poliméricos que no excedan los 300°C, se establece la selección del termopar Tipo J que como se muestra en la **Tabla 16**, consta con una temperatura máxima de 750°C, más que suficiente para los fines pertinentes de uso en lo que se lo va a aplicar, así mismo ya que el termopar tipo J es de los más comerciales y asequibles dentro del medio donde se desarrolla la máquina.

Figura 32

Termopar tipo J de uso común






Nota. [40]

Selección de la resistencia

Este elemento es el encargado de suministrar la potencia requerida al cilindro inyector y este a su vez calentará al material hasta lograr su fundición, para la selección de este elemento se debe tomar en cuenta que existen varios tipos de resistencias calefactoras.

Tabla 17

Tabla comparativa de los tipos de resistencias calefactoras

Resistencia tubular	Pensador para calentar superficies cilíndricas, mediante una transferencia de calor homogénea, tienen forma de espiral y generalmente utilizadas en extrusoras.	
Resistencia tipo banda o abrazadera	Forma una abrazadera para calentar secciones de un área cilíndrica, ofrecen altas temperaturas.	
Resistencias tipo cartucho	Son las más compactas, poseen una alta concentración de temperatura en espacios establecidos, para ser utilizadas en superficies cilíndricas necesitan acoples.	

Para una adecuada toma de decisión en la selección de la resistencia calefactora que se utilizará, la **Tabla 18** establece los requerimientos y especificaciones que ofrecen cada uno de los tipos de resistencia, donde se ponderará con el valor más alto al elemento que cumpla con las mejores características para la implementación en la máquina inyectora.

Tabla 18
Ponderaciones sobre ventajas de resistencias calefactoras

VENTAJAS	TUBULAR	ABRAZADERA	CARTUCHO
Asequibilidad	5	5	5
Precio	5	3	4
Transferencia de calor uniforme	4	5	2
Termopar incluido	5	5	0
Compacta	4	4	5
Alta temperatura	5	4	3
Eficiencia en superficies cilíndricas	4	5	2
No requiere accesorios	4	5	2
Durabilidad	4	4	5
TOTAL	40	40	28

Nota. [33]

Debido a la eficiencia que representa y que su mantenimiento o reemplazo representaría menos trabajo al momento de un desperfecto, se selecciona la resistencia calefactora de abrazadera, la cual también cuenta con un precio cómodo y un rango mayor de altas temperaturas.

Cálculo de potencia de la resistencia

Para lograr que el cilindro inyector se caliente lo suficiente como para lograr fundir al polímero en su interior, es necesario que la o las resistencias seleccionadas cumplan con una potencia necesaria que será la encargada de ejecutar este elevamiento de la temperatura, para realizar el cálculo de la potencia necesaria de las resistencias es necesario primero realizar los siguientes cálculos [41].

a) Volumen del cilindro

$$V_C = L * \pi * (R_e^2 - R_i^2) \quad (59)$$

$$V_C = 2,567 * 10^{-4} m^3$$

Donde:

L: Longitud del cilindro inyector

Re: Radio externo del cilindro

Ri: Radio interno del cilindro

b) Superficie externa del cilindro

$$Ae = 2 * \pi * Re * L \quad (60)$$

$$Ae = 0,05809 \text{ m}^2$$

Donde:

Ae: Área externa del cilindro

c) Tiempo de estancia de la mezcla

Este tiempo hace referencia a cuánto tiempo permanecerá el polímero dentro del cilindro hasta que sea completamente fundido y pase al molde.

$$\xi = \frac{\pi * Lt * Rh^2}{Q_T} \quad (61)$$

$$\xi = 91,117 \text{ s}$$

Donde:

ξ : Tiempo de estancia del material

Rh: Radio externo del husillo

d) Diferencial de temperaturas en el barril

Esta variable se calcula a través de la diferencia de las temperaturas presentes en el barril, las cuáles son la temperatura ambiente y la temperatura máxima del cilindro, las cuáles son 20°C y 260°C respectivamente, aunque para este cálculo se las transformará a Kelvin.

$$\Delta T_c = T_f - T_i \quad (62)$$

$$\Delta T_c = 240 \text{ K}$$

Donde:

ΔT_c : Diferencial de temperaturas

Tf: Temperatura final o máxima

Ti: Temperatura inicial o ambiente

e) Flujo de calor

Este parámetro es el valor que la resistencia entrega al cilindro, para que el termoplástico logre llegar a la temperatura idónea de transición vítrea, este valor se lo toma a través de la formula [42]:

$$Q_R = \delta * V_C * c_a * \Delta T_c * \left[1 - e^{\left(-\frac{\xi * U_B * A_e}{\delta * V_C * c_a} \right)} \right] \quad (63)$$

$$Q_R = 45226,0083 J$$

Donde:

Q_R : Flujo de calor del cilindro

δ : Densidad del acero AISI 304

V_C : Volumen del cilindro

c_a : Calor específico del acero (434 J/(kg*K))

U_B : Coeficiente de transferencia de calor del aire (40 W/(m²*K))

f) Potencia aparente

Se determina a partir de la ecuación:

$$P_A = \frac{Q_R}{\xi}$$

$$P_A = 496,354 W$$

(64)

Donde:

P_A : Potencia aparente

g) Potencia real

Debido a que todo este tipo de elementos y componentes están expuestos a un ambiente en general, están tienden a sufrir deterioro por corrosión, envejecimiento, etc. Es por esto que a la potencia aparente toca multiplicar por un factor de envejecimiento, a su vez, otro factor a tomar en cuenta es que las resistencias calefactoras se toman su tiempo para llegar hasta su temperatura máxima ya que no se comportan de forma ideal hay que tener un sobredimensionamiento para equilibrar estos parámetros [33].

$$P_r = P_A * f_{en} * f_{sd}$$

$$P_r = 967,89W \approx 1KW$$

(65)

Donde:

fen: Factor de envejecimiento (1,3)

fsd: Factor de sobredimensionamiento (1,5)

Esta potencia real es la encargada de proporcionarse entre el número total de resistencias, en este caso se repartirá para tres resistencias de abrazaderas lo que equivaldría a 0,34KW por resistencia aproximadamente.

3.4. Propuestas de solución

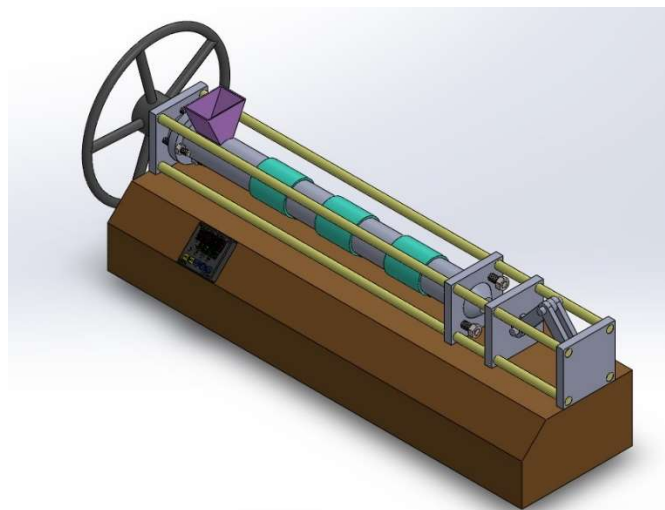
Dentro del presente capítulo se detalla las diversas propuestas que se contemplaron para el diseño de la máquina de inyección, estos prototipos presentados, tienen como principal objetivo el cumplimiento de la totalidad o parcialidad de los requerimientos que fueron planteados para que la máquina cumpla en su diseño y construcción.

3.4.1. Diseño de la máquina

Para que la máquina logre llenar las expectativas esperadas en el cumplimiento de sus requerimientos mínimos se realizaron diseños que presenten un cumplimiento de la mayoría de los requerimientos planteados en el inicio del proyecto. Los diversos prototipos presentados son detallados a continuación.

Figura 33

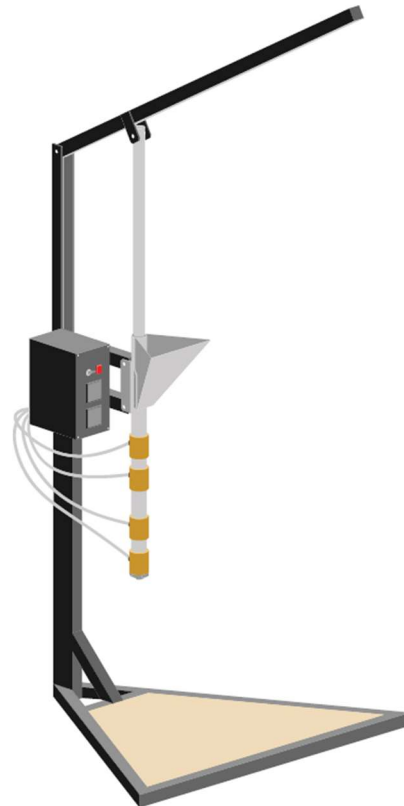
Propuesta 1 – Máquina de inyección horizontal



Como se presenta en la **figura 33**, la propuesta número uno de máquina de inyección cuenta con una configuración horizontal, la cual se contempló como primera opción debido a que cumple con los requerimientos principales de fácil operación y con el hecho de ser compacta ya que cuenta con una longitud máxima de 50cm, sin embargo, al tener varios e incluso la mayoría de sus componentes al descubierto incumple con los requerimientos de seguridad propuestos anteriormente, además de su sistema de cierre presenta inconsistencias para su funcionamiento ya que el sistema de cierre por rodillera simple necesita de una fuerza externa que ejecute y mantenga la presión entre el la boquilla inyectora y la placa de presión que mantiene al molde en su lugar preparado y seguro para la inyección del material. Esta propuesta cuenta aún con elementos que son en su mayoría de difícil mecanizado debido a que se necesita de máquinas de gran precisión para su construcción y esto en la construcción del prototipo presenta contrariedad en el cumplimiento del requerimiento de bajo costo.

Figura 34

Propuesta 2 – Máquina de inyección vertical



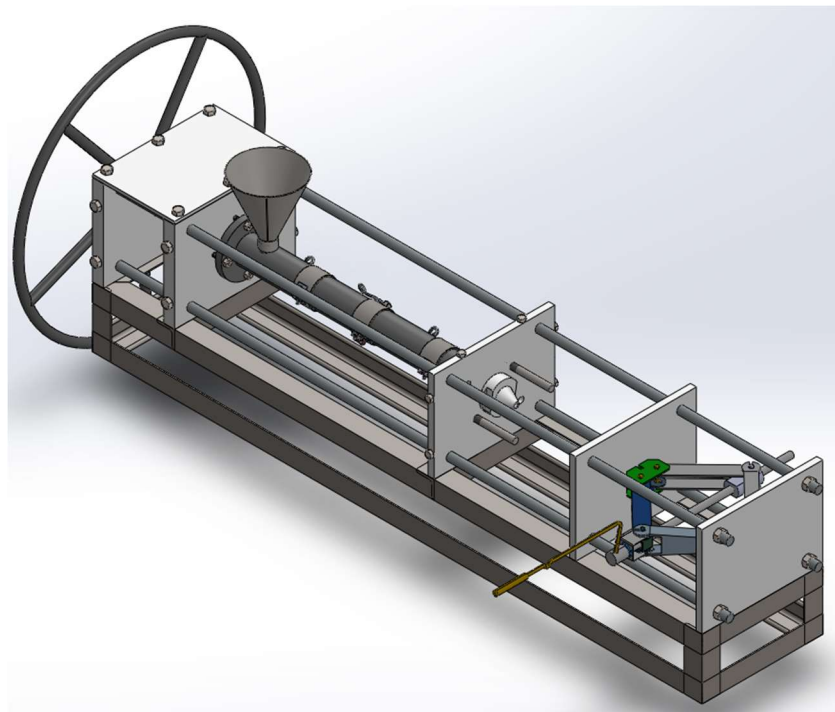
Nota. [43]

Para el diseño de la segunda propuesta de máquina de inyección (**figura 34**), se tomó como base un modelo de código abierto el cual cuenta con una modificación en la configuración en que está realizaba el trabajo de inyección, ya que, como prototipo de máquina de inyección vertical, tiene el beneficio de contar con la fuerza de gravedad para que logra proporcionar una mayor fluidez en el material y de este mismo modo se logre una inyección óptima dentro de las cavidades del cilindro de inyección y del molde.

Al contemplar los requerimientos con los que cubre sus necesidades este diseño se encontró que no contempla los requerimientos de ser desmontable para el intercambio de piezas, debido a que algunos de sus elementos están soldados dentro de la misma estructura de la máquina impidiendo realizar modificaciones al diseño original. Este diseño cuenta con la ventaja de que al ser de materiales sumamente asequibles y que son de bajo costo, se puede lograr una inversión baja en su construcción y ensamble, sin embargo, al ser materiales que son de fácil corrosión y de baja dureza, puede decirse que no cuenta con la característica del desensamble y ensamble bajo la metodología del DMFA.

Figura 35

Propuesta 3 – Máquina de inyección horizontal



Tomando como base la estructura externa de la propuesta uno y funcionando bajo el mismo principio y configuración de inyección, se desarrolló la tercera propuesta, como se observa en la **figura 35**, esta propuesta de prototipo cuenta con una configuración horizontal, lo cual le proporciona una mayor versatilidad y facilidad de uso para el usuario, sin embargo la fluidez del material dentro del cilindro inyector se ve reducido a comparación de la versión vertical, ya que no cuenta con una ayuda externa gravitacional. Se contemplo esta propuesta como favorita ya que a diferencia de las dos anteriores, logra cumplir con la totalidad de los requerimientos planteados, al contar con una manivela de funcionamiento manual permite al operador controlar la velocidad con la que se inyecta el material dentro del cilindro de inyección y a través del molde. Así mismo esta propuesta de máquina cuenta con una cubierta de acero inoxidable que proporciona mayor seguridad al momento de realizar el calentamiento de las resistencias alrededor del cilindro de inyección, impidiendo que existan riesgos de lesión debido a las altas temperaturas. Al ser una máquina completamente manual, proporciona una inversión considerablemente baja, en comparación a otras opciones que se encuentran en el mercado.

Esta propuesta está concebida bajo el principio de ser de fácil ensamble y desensamble permitiendo un reemplazo de materiales, piezas y elementos dentro de la máquina, así mismo para el mantenimiento de está. El sistema de cierre de esta propuesta está ejecutado por una gata mecánica tipo tijera, la cual proporciona el empuje y presión suficiente para sostener el molde presionado contra la boquilla, sin tener ningún tipo de retroceso durante el proceso de inyección. Sin embargo, el punto débil de esta propuesta es la característica de ser liviano, debido a que, al ser completamente construido en materiales metálicos y aceros, esto le proporciona una robustez y peso considerable, lo cual a largo plazo termina afectando a la operabilidad que tiene el usuario sobre la máquina.

3.4.2. Selección de la mejor propuesta

Para que sean cumplidos todos los requerimientos que se presentaron dentro del alcance y la máquina sea lo más eficiente posible, se deben tomar en cuenta los diseños que se propusieron. Para esta selección se utilizó la metodología de elección basada en la factibilidad de construcción, cumplimiento de requisitos y cantidad de inversión inicial que requiere cada diseño.

Dentro de los parámetros que se tomaron por su mayor relevancia, se comparó la facilidad de operación, que se logre intercambiar partes y piezas en caso de mantenimiento o falla de las

mismas y la facilidad de ensamble que estos diseños posean. Debido a que cumple la mayoría de estos puntos de importancia el diseño que mayor ponderación obtuvo es el tercer diseño, al contar con todas partes mecanizadas que son de fácil acceso y mecanizado, cumplen ampliamente con los requerimientos de ensamble y mantenimiento, además de contar con sistemas de cierre mecánico que permite una mayor maniobrabilidad y facilidad de uso para el operador.

3.4.3. Metodología DFMA

Una de las premisas bajo la cual se basa el desarrollo, diseño y construcción de este prototipo de proyecto de máquina de inyección, es el diseño bajo la metodología DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) por sus siglas Diseño para la manufactura y ensamble, en donde se pretende que el diseño de la máquina este realizado bajo un conjunto de procesos que verifiquen si el diseño presentado responde completamente a las necesidades reales de la construcción. Esta metodología consiste en el análisis del diseño conceptual para lograr una simplificación considerable dentro del proceso de construcción y ensamble, por lo que permita tener un producto final que pueda ser armado y desarmado con facilidad, siempre cumpliendo con los estándares planteados.

Para la construcción de la máquina se utilizó dicha metodología en el ámbito de que se logre una posibilidad de que las piezas puedan ser fácilmente reemplazadas, o el sistema completo pueda ser desensamblado con la misma facilidad del ensamble ya sea para dar mantenimiento a sus piezas o para reemplazarlas.

3.5. Construcción de piezas y partes

A continuación, se presentan detalladamente los elementos y piezas que fueron construidos y mecanizados correspondientes a la máquina de inyección, como son el husillo de inyección, el cilindro inyector, estructuras, tolva, etc. Para la construcción de estas piezas se implementó la metodología DFMA previamente detallada para el funcionamiento óptimo de estos elementos de máquina.

3.5.1. Mecanizado husillo de inyección

Para su construcción y mecanizado se utilizó un eje de acero inoxidable 304, el cual se realizó un proceso de mecanizado en el torno, para refrentar sus caras frontales y traseras (**figura 35**).

Figura 36
Husillo de inyección – AISI 304



Posterior al refrentado se realizó un cuello de mecanizado para realizar el tornillo sin fin que permitirá el arrastre del material, cabe recalcar que de todas las piezas construidas de la máquina la que represento una mayor dificultad y trabajo fue el husillo de inyección, ya que al tener un diámetro interno variable, fue necesaria una técnica especial de torneado para realizar la rosca en el tornillo sin que se vea afectado el diámetro externo o sin que se interrumpa la continuidad de la trayectoria helicoidal sobre la superficie cilíndrica del eje **ANEXO C**.

Figura 37
Mecanizado del tornillo sin fin

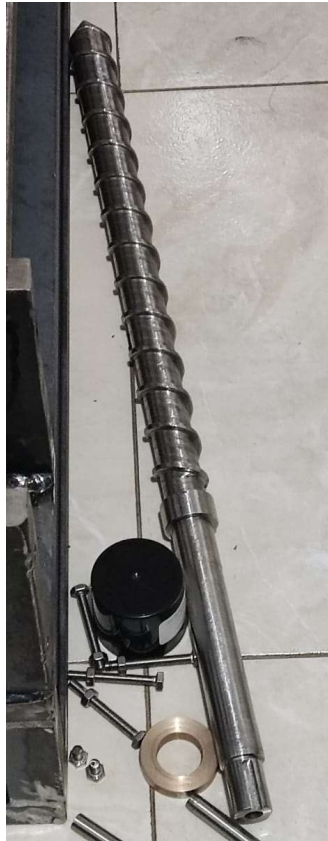


Tal como se muestra en la **figura 37**, el mecanizado del tornillo sin fin se lo realizo como proceso final de mecanizado, para que la herramienta del torno no chocara con el cuerpo o muñón del husillo se tuvo que mecanizar un cuello entre las secciones del muñón y el tornillo sin fin, permitiendo a la herramienta desfogar y tener un punto seguro de retorno. Al finalizar el

mecanizado el husillo se lo lijó para evitar cualquier excedente o agentes externos que perjudiquen el proceso de inyección.

Figura 38

Husillo mecanizado



3.5.2. Mecanizado cilindro inyector

En la construcción del cilindro se utilizó un tubo cedula 40 de 33mm de diámetro interno y 5mm de ancho. La elección de este material es debido a que la gran variedad de tubos debido a sus procesos de fabricación posee un cordón de material interno el cuál impediría al tornillo sin fin realizar la inyección adecuada del material sin tener un rozamiento que impida la ejecución del proceso, por lo cual, las dimensiones completas de la máquina tuvieron que adecuarse al tubo empelado en la realización del cilindro inyector. En su mecanizado, se realizaron procesos de refrentado y lijado, para que el tubo tuviera la menor cantidad de excedentes de material dentro y fuera del mismo que impidieran la inyección y calentamiento de la pieza, tal como se muestra en su hoja de procesos (ANEXO D).

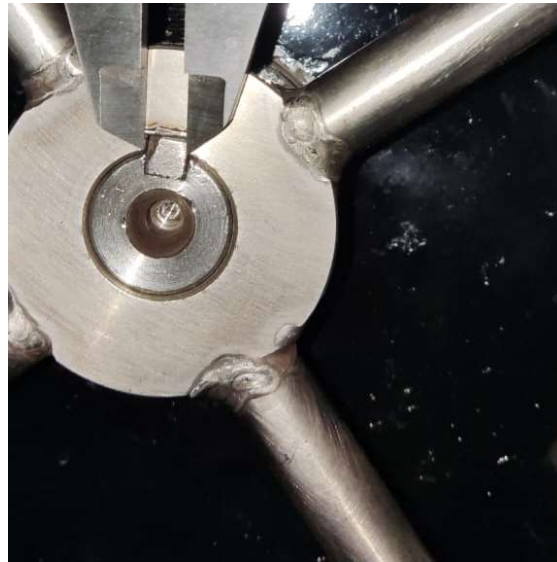
Figura 39*Mecanizado de cilindro inyector*

Posterior al proceso de refrentado de sus dos lados, se realizó una soldadura del cilindro a una placa de 10mm de grosor y se la torneó para dar la forma de una brida, con la cual el cilindro logrará sujetarse y asegurarse a la estructura base y así tener un punto de apoyo. Otro proceso realizado sobre el cilindro fue la perforación de una boquilla externa donde ingresará la tolva, esta perforación cuenta con un excedente de tubo saliente el cuál servirá de guía y asiento para la tolva, asegurando la pieza al cilindro.

3.5.3. Construcción de manivela

Para la construcción de la tolva el material principal que se utilizó fueron ejes de acero AISI 304 de $\frac{1}{2}$ pulgada, cuatro de similar longitud y uno de mayor longitud, a este último se lo sometió al proceso de rolado para obtener una trayectoria circular a la cual se soldarían los radios, conformados por los demás ejes, aunado a estas piezas se necesitó un segmento de eje de acero inoxidable de mayor que cumpliría la función de manzana de la manivela, a este elemento se le perforó un agujero pasante en su centro dentro del que ingresará el husillo (**ANEXO F**). Para que esta pieza cuente con el torque y fuerza necesario para girar al husillo se le realizó una chaveta de 6mm (**figura 40**), entre la manzana y el husillo, el que se aseguró con un prisionero de 6mm, logrando un ajuste exacto y ajustado entre el husillo y la manivela. La chaveta realizada entre el husillo de inyección y la manzana de la manivela fue seleccionada bajo norma DIN 6885 AB, como chaveta paralela de forma AB con un extremo redondeado y un extremo recto.

Figura 40
Chaveta 6mm de la manivela



3.5.4. Mecanizado de boquilla de inyección

Para el proceso de mecanizado de la boquilla, se utilizó un segmento de un eje de acero AISI 1018, este material se lo sometió a un proceso de torneado y refrentado, para dejarlo de las dimensiones especificadas dentro de los planos que se encuentran en los anexos. Una vez mecanizada la forma determinada se realizó la perforación pasante por donde fluiría el material, la cual en su punto más angosto tiene un diámetro de 5mm, suficiente para que el material fluya de forma uniforme hacia el molde (ANEXO E).

Figura 41
Mecanizado cabezal inyector



Una particularidad de esta pieza es que para lograr una mayor sujeción y al mismo tiempo cumplir con la metodología DFMA, posee un segmento de rosca, que junto con el mecanizado de rosca que también se realizó en el cilindro de inyección permite que embonen de manera simétrica, permitiendo también remplazarlo por otra boquilla o retirarlo para el mantenimiento de la máquina.

3.5.5. Construcción de placas de sujeción

Para el mecanizado de estas piezas, se utilizaron seis planchas de acero naval de diferentes grosores según el requerimiento de las especificaciones. En términos generales todas las placas se cortaron mediante oxicorte, para después lijarlas y dejarlas lo suficientemente simétricas para que cumplan con las dimensiones especificadas. Las dos placas de mayor grosor poseen perforaciones pasantes en su centro de forma transversal, por el cual se asentarán los rodamientos utilizados y pasara el husillo de inyección. Para el mecanizado de estos agujeros se optó por el proceso de torneado ya que resultaba más sencillo ir desbastando la pieza de manera circular que de otra forma. Los planos y hojas de procesos de las placas mencionadas se encuentran en los anexos (ANEXO G, H, I, J, K)

Figura 42

Perforación de agujeros en placa de sujeción



Una característica general que presentan todas las placas son agujeros que servirán para diferentes objetivos, como el de asegurar el cilindro de inyección, calibrar el cilindro dependiendo del husillo inyector o simplemente empernar la cubierta de la máquina a la estructura base, por lo que estos últimos agujeros tienen que ser roscados con la utilización de un machuelo de 5/16 in (figura 43).

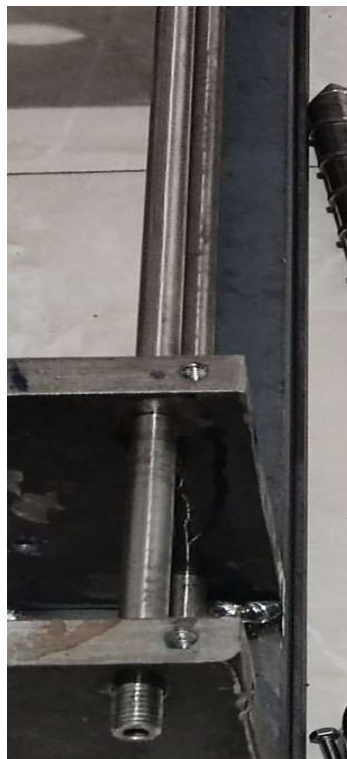
Figura 43
Roscado de perforaciones



3.5.6. Mecanizado de barras guía

Las piezas que menos trabajo representaron en su mecanizado por su sencillas de procesado fueron las barras guías, las cuales se las tomo de ejes de acero inoxidable de diámetro $\frac{1}{2}$ pulgada, a las cuales simplemente se refrento sus caras longitudinales y se rosco sus extremos una longitud de 15mm con rosca M12 para que puedan ser sujetadas dentro de la estructura base (**figura 44**) (ANEXO L).

Figura 44
Ensamble de barras guía



3.5.7. Construcción de estructura de la máquina

Para la construcción de la estructura base de la máquina se utilizó una viga tipo ángulo, la cual se segmentó de diferentes longitudes y se procedió a su soldadura para que quede de las mismas dimensiones que se especificó la máquina (**figura 45**).

Figura 45

Estructura base de la máquina



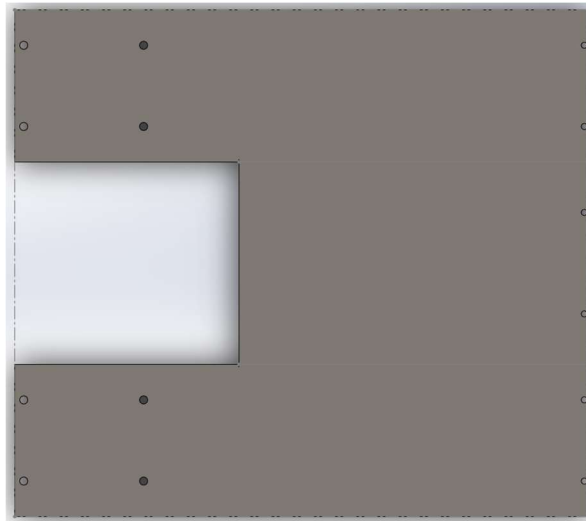
Las medidas del ángulo con las que se realizó la estructura son de un ángulo cuadrado de 40x40x4mm. Estas medidas permiten darle robustez a la máquina y además soportan todo el peso que se asienta sobre ella.

3.5.8. Construcción de la cubierta

Para la construcción de la cubierta, se utilizó una plancha de acero inoxidable, la cual se trazó con un rayador sobre el material y se realizó el corte con oxicorte, una vez obtenida la silueta con la ayuda de una dobladora se procedió a realizar sus dobleces según las medidas de la máquina. Posterior a eso se realizaron las perforaciones que permitirán que la cubierta quede ajustada entre las placas de sujeción y la estructura base (**ANEXO N**).

Figura 46

Archivo CAD cubierta de acero inoxidable

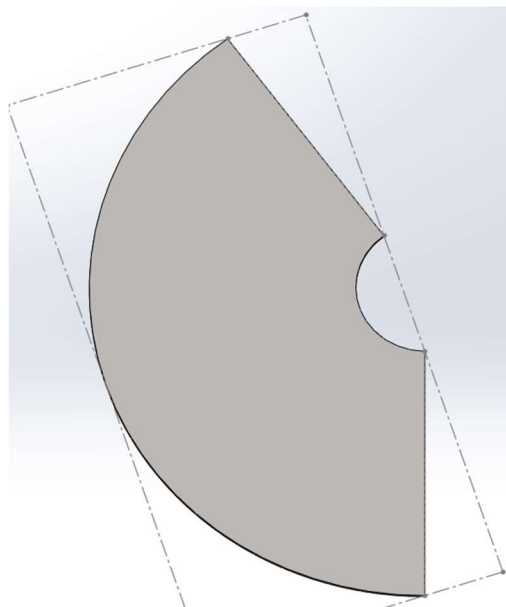


3.5.9. Construcción de la tolva

Para la construcción de la tolva, se utilizó el mismo material que para la cubierta, la plancha de acero inoxidable de 1mm de grosor, se trazó la silueta en la plancha con un rayador y se procedió a realizar su corte, debido a las dimensiones pequeñas y al grosor del material para realizar su doblez cónico se utilizó de una roladora para ayudarse en ese proceso (**ANEXO M**).

Figura 47

Archivo CAD tolva de acero inoxidable



3.5.10. Construcción de elementos suplementarios

Dentro de lo que es los elementos de máquina existen algunas piezas más que se realizaron, pero no representan una importancia significativa ya que son piezas de guía o apoyo, sin embargo, son detalladas a continuación. Se realizaron dos ejes guías para colocar un molde, los cuales están contruidos en acero inoxidable y poseen un diámetro de 3/8 de pulgada, cuentan con una longitud útil de 100mm y una sección rosca de 45mm con la cual pueden anclarse a la placa de fijación de la boquilla inyectora.

Para que el material siga el flujo del cilindro inyector y el husillo lo arrastre sin que este tenga fugas por la parte posterior de la máquina se mecanizo un anillo del diámetro interno del muñón del husillo, el cual cuenta con la suficiente sujeción para que el material no tenga holguras o vías de fuga entre el cilindro y el husillo en su parte posterior, además este tapón fue mecanizado en bronce para que cuente con las propiedades térmicas y resistencia de este material que le permita servir como aislante entre la manivela y el husillo inyector.

Figura 48

Guías para molde y tapón trasero



3.5.11. Resistencias calefactoras

Debido a que son elementos que requieren de conocimiento para su fabricación, las resistencias fueron construidas por un equipo aparte al que se le presento los cálculos y dimensiones de diseño que estas debían tener, los cuáles se presentaron anteriormente. Para que la máquina cuente con un mejor diseño y alimentación, ésta se alimenta mediante 220V, por lo que las resistencias están diseñadas para soportar ese voltaje y así mismo un amperaje máximo de 15A,

por lo que a vista general se sobredimensiono su capacidad para que no existan riesgos o inconvenientes a la hora de realizar el calentado del cilindro inyector.

Figura 49

Resistencias tipo abrazadera – 220V



3.6. Ensamblaje

A continuación, se proporcionan los detalles del ensamblaje de los diferentes subconjuntos de piezas, junto a un ensamblaje final que presente todos los sistemas de la máquina junto a su funcionamiento.

3.6.1. Ensamble de sistema de inyección

Para la implementación de este sistema, simplemente se requirió del cilindro inyector y el husillo, los cuales ingresan uno dentro de otro, debido al diseño que presentan estos elementos y la holgura que existe entre ellos, su implementación concluye en que exista el espacio mínimo para que el material fluya, ya que, de lo contrario, si existiera mayor holgura entre el cilindro y el husillo el material se mantendría nadando en esta cavidad. Una vez insertados estos elementos se colocan las resistencias en el cilindro, estas deben estar a lo largo de este, sin embargo, para una mejor disposición y calentamiento del material, se determinó que deben estar colocadas en el final del cilindro inyector, donde estaría la zona de inyección para que cumplan con un mejor rendimiento.

Una vez insertadas las resistencias se coloca el cabezal inyector, el cuál debido a su rosca, se debe girar haciendo uso de una llave inglesa o normal.

3.6.2. Ensamble de piezas de sujeción

Este subensamble es lo que se considera la estructura y el sistema de cierre, de las seis placas de sujeción que se mecanizaron cuatro de estas van soldadas a lo largo de la estructura base, ya que en estas se apoyara y calibrará el sistema de inyección, una placa se atornilla encima de las dos iniciales (**figura 50**) para mantener las dimensiones originales y que no se deformen las otras placas por la presión ejercida y una última placa es corrediza ya que en ella se apoya el molde frente a la boquilla inyectora. En la placa que se coloca al final de la estructura, se debe empernar la gata mecánica ya que esta funciona como el sistema de cierre de la máquina de inyección (**figura 51**).

Figura 50

Montaje de las placas en la estructura



Figura 51

Montaje de la gata mecánica en la placa de sujeción



3.6.3. Ensamble de sistema eléctrico

Para el control de las temperaturas que se generan en las resistencias tipo abrazadera se tomó en cuenta el controlador PID REX-C100 (**figura 52**), el cuál viene implementado con su propio relé de estado sólido que ayuda en el control de los datos recibidos y una termocupla la cual se encarga de censar las diferentes lecturas de calor para calibrar la máquina hasta le temperatura deseada.

Figura 52

Control PID de temperatura Rex-C100



Todos estos elementos se incluyeron dentro de un cajetín, donde se realizaron las conexiones eléctricas, para que el dispositivo no corra riesgos de una sobrecarga o desperfecto en

este apartado que le impida realizar el calentamiento de las resistencias. En este apartado además se realizó las conexiones para que este sistema sea con alimentación a 220V, por lo que para su funcionamiento se requiere un ambiente que cuente con estas especificaciones.

Figura 53

Cajetín de conexiones eléctricas del sistema calentador



3.6.4. Ensamblaje final y funcionamiento

Una vez realizado el montaje de los diferentes subsistemas, se prosiguió a realizar el ensamble de conjuntos de todos estos, el sistema de inyección de monto sobre las perforaciones de las placas soldadas en la estructura base y se sujetó con pernos M6 que se ajustaron a la estructura para que el sistema inyector tenga el menor juego posible, se insertaron los rodamientos en su sitio y se incorporó la manivela junto a su chaveta, para asegurarlos se aseguró un prisionero que sujetara la manivela al husillo (**figura 54**) y finalmente se emperno la cubierta. Una vez montado el sistema de inyección se ensambló todo el cableado eléctrico, para realizar las conexiones del cajetín eléctrico hacia las resistencias se utilizó cables de temperatura que resistan las altas temperaturas presentadas en el cilindro y sus alrededores, debido a que es un sistema de uso simple se utilizaron tres resistencias conectadas a un mismo controlador y censadas por una termocupla que se situó en el extremo de la boquilla de inyección (**figura 49**).

Figura 54

Ensamble del sistema de inyección en la estructura

**Figura 55**

Ensamble final de la máquina



Una vez concluido todo el ensamblaje de la máquina se procedió con las pruebas y la calibración del controlador de temperatura, donde se realizaron diversas modificaciones en la configuración de la disposición de las resistencias hasta lograr conseguir la más eficiente y óptima (**figura 56**). Finalmente, en la **figura 57** se puede observar los resultados de la viscosidad del material y como queda su resultado al salir de la máquina de inyección.

Figura 56
Pruebas de funcionamiento



Figura 57
Resultados del funcionamiento con PLA



CONCLUSIONES

- Los cálculos fundamentales que se desarrollaron para el diseño de la máquina fueron los cálculos correspondientes al husillo de inyección y su trayectoria helicoidal, además de la potencia y temperatura necesarias de las resistencias calefactoras.
- Se diseñó, construyó e implementó una máquina de inyección manual de plástico, capaz de funcionar bajo el principio de la mayoría de las máquinas de inyección, logrando un seteo de temperatura simple y de fácil operación.
- Se diseñó el prototipo capaz de funcionar con diversos materiales, únicamente limitada por una temperatura máxima de 450°C, donde se observó que la variación que obtiene la temperatura comienza a ser inestable.
- La máquina fue construida bajo metodología DFMA, consta con piezas que fácilmente pueden ser intercambiables o desmontables para realizar un mantenimiento a la máquina.
- La implementación del sistema de temperatura se realizó mediante el uso de un solo controlador PID de temperatura debido a que su funcionalidad viene dada por tres únicas resistencias que al estar colocadas en un mismo rango de distancia no generan variaciones considerables de temperatura en el interior del cilindro inyector
- Con las pruebas realizadas se evidencia una variación de $\pm 15^{\circ}\text{C}$ entre las tablas teóricas de inyección de plástico con el proceso práctico ejecutado, por lo que es necesario dependiendo del material ejecutar una recalibración de las temperaturas de fundición para obtener un producto adecuado
- La máquina fue capaz de inyectar plástico a una velocidad determinada por el movimiento del usuario, con el material PLA cortado en pellets de 5mm² aproximadamente. La inyección con material PET se llevó a cabo, pero solo cuando fue mezclado con otros materiales, ya que, si se lo realizaba solo, la temperatura de fundición y el tiempo de flujo por el cilindro degradaban al material antes que fuera inyectado.
- Se validó el funcionamiento de la máquina de inyección manual de plástico para PLA y PET mezclado, utilizando pellets de no mas de 5mm² de superficie de los materiales mencionados, ya que por la configuración que presenta la tolva, si los pellets sobrepasan

una dimensión específica empezarán a atorarse en la máquina sin antes llegar a la sección de fundición.

- El sistema de control de temperatura se probó en dos configuraciones en ON-OFF y en PID, la configuración ON-OFF resultó ser la menos adecuada para este uso específico ya que debido a la histéresis, presentaba mayor variación de temperatura, aunque mientras más se reducía la histéresis más aumentaba su exactitud, sin embargo, la configuración PID complementada con el autotuning, presentaba valores mucho más exactos al momento de controlar la temperatura seteadas en las resistencias.

RECOMENDACIONES

- Al momento en que se realiza el ensamble o desensamble de las piezas para mantenimiento o reemplazo de estas, se debe tomar en cuenta que algunos elementos al estar insertados a presión son susceptibles a generar un leve juego entre las demás piezas.
- Para ingresar el material para realizar la inyección, primero se debe llegar a la temperatura seteada, ya que, si se lo hace antes, esto generará que se forme una masa que se atore entre el husillo y el cilindro, para evitar esto también es recomendable que los pellets sean diminutos (menos de 2mm de largo) y que el material esté libre de residuos y humedad.
- Cuando el material está siendo inyectado, la manivela tiende a endurecerse debido a la presión que se genera en la entrada al molde a usar, por esto el molde que se emplea debe tener agujeros de desfogue para que el material no sea sometido a presiones que provoquen que transición a su estado vítreo.
- Debido a la diferencia de temperaturas que se genera al enfriarse o calentarse el sistema de inyección, es recomendable esperar un lapso de 10 a 15 minutos desde que se setea la temperatura hasta que se ingresa el material, ya que incluso el material excedente de alguna inyección anterior suele quedar endurecido al interior del cilindro y esto puede provocar más atascamientos.
- Debido a que las altas temperaturas que alcanza la máquina representan un peligro para el operador, esta viene con una cubierta de protección, sin embargo, es recomendable utilizar EPP para la operación de esta.
- Se intentó aislar el cilindro térmicamente haciendo uso de lana de vidrio, sin embargo, al estar concentrado el calor en puntos específicos superficialmente en las resistencias, no dio el resultado esperado, por lo que simplemente es recomendable mantenerse fuera del alcance de estos puntos mientras la máquina este encendida.
- No se debe desconectar de la energía eléctrica al equipo eléctrico sin antes apagar el controlador de temperatura, ya que esto puede provocar que este se quemé o se cause un daño irreparable.
- Como proyecto complementario al desarrollo de esta máquina de inyección manual, se recomienda el diseño e implementación de un motor en el husillo y un control automatizado para el sistema de cierre.

REFERENCIAS

- [1] R. Quito, “La industria del plástico se mueve al ritmo de unas 600 empresas,” *Rev. Lideres*, Sep. 2018, Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.revistalideres.ec/lideres/industria-plastico-inversion-innovacion-ritmo.html>.
- [2] J. Bozzelli, “Estrategias avanzadas en moldeo de plásticos: el arte de la segunda etapa | Plastics Technology México,” *Plast. Technol. Mex.*, 2011, Accessed: Aug. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.pt-mexico.com/columnas/moldeo-por-inyeccion-cmo-configurar-la-presin-en-la-segunda-etapa-empaque-y-mantenimiento>.
- [3] E. Baño, “La importancia de la etapa de extrusión,” May 12, 2017. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/187570-La-importancia-de-la-etapa-de-extrusion.html> (accessed Nov. 08, 2022).
- [4] P. E. Garay Cárdenas, “Diseño de una máquina inyectora de poliuretano semiautomática para la línea de producción de la empresa Seteg Pigs Ec,” Universidad Internacional del Ecuador, 2020.
- [5] P. A. Martínez, D. L. Molina, and A. L. Rivera, ““ Diseño Y Construcción De Una Máquina De Inyección De Termoplásticos Para Fines Didácticos ,”” Universidad de El Salvador, 2002.
- [6] A. Meza Martínez and C. Cadena Rueda, “Diseño De Una Máquina Inyectora De Plástico,” Universidad Industrial de Santander, 2006.
- [7] G. Martínez, “Polímeros,” 1983, México.
- [8] Zschimmer. and Schwarz., “¿Qué son los polímeros y cómo se clasifican? ,” 2019. <https://www.zschimmer-schwarz.es/noticias/que-son-los-polimeros-y-como-se-clasifican/> (accessed Aug. 01, 2023).
- [9] D. Müller, “Termoestables vs. Termoplásticos ,” Sep. . <https://www.mueller-ahlhorn.com/es/termoestables-vs-termoplásticos/> (accessed Aug. 01, 2023).
- [10] F. Johannaber, *Máquinas de moldeo por inyección: una guía de usuario*, 3rd ed. Hanser Publishers, 1994.
- [11] O. Martin and L. Avérous, “Poly(lactic acid): plasticization and properties of biodegradable multiphase systems,” *Polymer (Guildf).*, vol. 42, no. 14, pp. 6209–6219, Jun. 2001, doi:

10.1016/S0032-3861(01)00086-6.

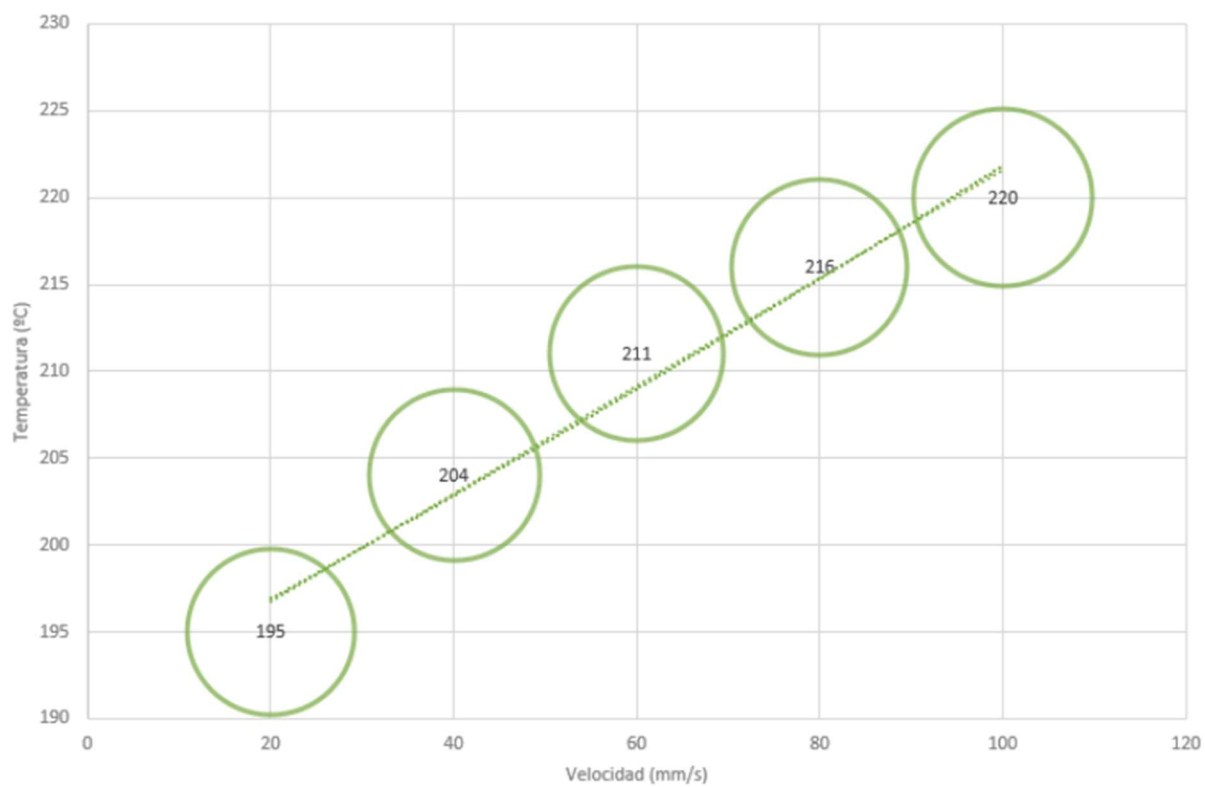
- [12] S. Baltazar, "Procesos de manufactura. Inyeccion-soplado. ," May 04, 2020. https://www.youtube.com/watch?v=fqiSCpmjMS8&ab_channel=SamuelBaltazar (accessed Nov. 08, 2022).
- [13] J. C. Nin, "Procesos de fabricación de productos plásticos," *Ind. Data*, vol. 3, no. 1, pp. 06–08, Jul. 2000, doi: 10.15381/idata.v3i1.6568.
- [14] M. Beltrán and A. Marcilla, *Tecnología de polímeros. Procesado y propiedades*. Alicante: UNE, 2012.
- [15] Freepng, "Máquina, Moldeo Por Inyección, Moldeo ." <https://www.freepng.es/png-cz5bji/> (accessed Nov. 17, 2022).
- [16] A&G Plastic Machinery, "Máquinas de Moldeo por Inyección de Plástico / Inyección vertical / Serie VM-S / YV-S700 ." <https://agplastic.com.mx/maquinas/maquinas-de-moldeo-por-inyeccion-de-plastico/inyeccion-vertical/serie-vm-s/maquinas-de-moldeo-por-inyeccion-de-plastico-inyeccion-vertical-serie-vm-s-yv-s700/> (accessed Nov. 17, 2022).
- [17] Alejandro Lopez Serrano, "MOLDE DE INYECCIÓN," Escuela de Ingeniería de Bilbao, Bilbao, 2018.
- [18] Eduardo Baño Martí, "Beneficios y problemáticas del proceso de la inyección de plástico - Plástico," 2020. <https://www.interempresas.net/Plastico/Articulos/308676-Beneficios-y-problematicas-del-proceso-de-la-inyeccion-de-plastico.html> (accessed Nov. 08, 2022).
- [19] J. Pérez Nepta, "Unidad de cierre sistema hidráulico | Inyectoras de plástico," 2019. http://www.portalelectromecanico.org/CURSOS/inyectoras/unidad_de_cierre_sistema_hidraulico.html (accessed Nov. 17, 2022).
- [20] E. Copacondori, "Sistemas de Control de Temperatura," Universidad Nacional de Educación, Lima, 2018.
- [21] Omega Engineering, "Control de temperatura ," Feb. 06, 2017. <https://es.omega.com/prodinfo/controladores-de-temperatura.html> (accessed Nov. 09, 2022).
- [22] Electricfor., "Control (On / Off) ." https://www.electricfor.es/es/18172/diccionario/Control-Todo/-Nada_-On_-Off_.htm (accessed Aug. 01, 2023).
- [23] Misael, "Control de Temperatura Usando PID: Controlador Proporcional-Integral. - YouTube,"

2021. <https://www.youtube.com/watch?v=mLUbR9ebnMM> (accessed Aug. 01, 2023).
- [24] J. Canduela, "Sistema de control PID de temperatura para la docencia de asignaturas de regulación automática," Universidad de Cantabria, España, 2022.
- [25] Carlos Pardo Martín, "Controlador PID - Control Automático," Dec. 2018. Accessed: Feb. 28, 2023. [Online]. Available: <https://www.picuino.com/es/control-pid.html>.
- [26] F. Arias G., *El Proyecto de Investigación*, 6th ed. Caracas: Ediciones El Pasillo, 2012.
- [27] Adriana Gómez Villoldo, "QFD LA CASA DE LA CALIDAD: herramienta de planificación del diseño," Jul. 20, 2018. http://asesordecalidad.blogspot.com/2017/03/qfd-la-casa-de-la-calidad-herramienta.html#.Y_9tJR_MLb0 (accessed Mar. 01, 2023).
- [28] J. Hauser, "How Puritan-Bennet used the house of quality," Accessed: Mar. 01, 2023. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/40960148>.
- [29] "Kit Inyectora Precious Plastic - Menor Plastic." <https://menorplastic.com/kit-inyectora-precious-plastic/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [30] Christoph Schützeneder, "Máquina de moldeo por inyección compacta - ENGEL." <https://www.engelglobal.com/es/productos/maquinas-de-moldeo-por-inyeccion/maquina-de-moldeo-por-inyeccion-compacta> (accessed Mar. 01, 2023).
- [31] "eKW Hybrid - BMB." <https://www.bmb-spa.com/machines/ekw-hybrid/> (accessed Mar. 01, 2023).
- [32] V. K. Savgorodny, *Transformación de plásticos*. Editorial Gustavo Gili, 1973.
- [33] Cristian Fabián Ortiz Abata, "Diseño y construcción de una máquina extrusora de filamento de 1.75mm y 3mm para impresoras 3D, a partir de material reciclado," Universidad de las Fuerzas Armadas, 2018.
- [34] J. R. W. Jr., E. M. M. III, and H. F. Giles, *Extrusion: The definitive processing guide and handbook*. Oxford, 2005.
- [35] Frank P. Incropera and David P. DeWitt, *Fundamentos de transferencia de calor Frank Incropera*, 4th ed. Pearson, 1999.
- [36] J. E. Shigley, *Diseño en ingeniería mecánica*, Novena Edi. Mc Graw Hill, 1963.

- [37] J. C. McCormac and S. F. Csernak, *Diseño de estructuras de acero*, Quinta Edi. México, 2013.
- [38] R. L. Mott, *Diseño de elementos de máquinas*, Cuarta Edi. Dayton: Pretience Hall, 2006.
- [39] D. O. A. Pazmiño and V. P. D. Amay, “Estudio de aceros estructurales para la construcción de carrocerías para buses,” Escuela Politécnica Nacional, 2009.
- [40] CEIV, “Termopar tipo J - Hierro + Constantán, hasta 760°C, Tablas Termocupla J.” <https://ceiv.com.mx/termopar-tipo-j/> (accessed Mar. 06, 2023).
- [41] K. Gieck and R. Gieck, *Manual de fórmulas técnicas*, 30 Edición. 2003.
- [42] J. F. C. Toro, *Colección de tablas, gráficas y ecuaciones de transmisión de calor*, Tercera Ed. Sevilla, 2014.
- [43] P. Plastic, “Vertical Injection Machine,” 2016, [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=qtZv96ciFIU&t=415s>.

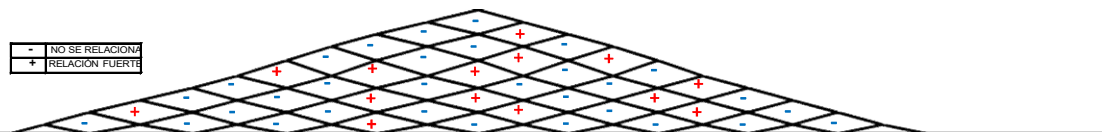
ANEXOS

ANEXO A

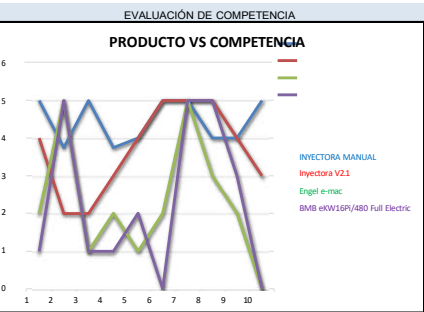
Curva temperatura vs velocidad inyección PLA

Anexo B

Casa de la calidad



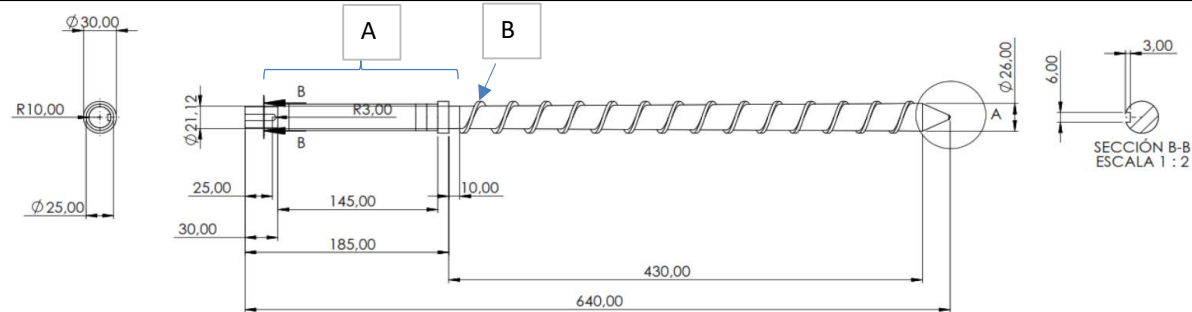
RELEVANCIA PORCENTUAL		17,92%	5,65%	7,14%	11,13%	11,13%	5,07%	12,13%	8,06%	13,21%	11,30%	EVALUACIÓN COMPARATIVA 5 = MEJOR & 1 = PEOR				
CARACTERÍSTICAS DE IMPORTANCIA		TAMAÑO	ACABADO	PESO	MATERIAL ACEQUIBLE	BARATO	TRANSPORTABLE	FUNCIONAL	SEGURO	FÁCIL USO	Inyectora	INYECTORA MANUAL	Inyectora V2.1	Engel e-mac	BMB eKW16R/480 Full Electric	
REQUERIMIENTOS DE LA MÁQUINA	POND.															
1	Que sea de facil operación	5	1	0	1	0	1	0	3	1	9	1	9	4	2	1
2	Que proporcione seguridad durante su funcionamiento	4	0	0	0	0	0	1	1	9	1	0	3,75	2	5	5
3	Que sea desmontable para su facil mantenimiento	4,5	1	1	3	1	0	3	0	0	3	9	5	2	1	1
4	Que posea partes que puedan ser cambiadas	5	3	3	1	3	1	0	1	0	1	3	3,75	3	2	1
5	Que el material sea facil de conseguir	3,5	9	3	0	9	3	0	0	0	0	1	4	4	1	2
6	Que sea compacta	3,5	9	0	1	0	3	0	0	0	0	0	5	5	2	0
7	Que cumpla con el principio de funcionamiento de la inyección	5	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	5	5	5	5
8	Que se puedan intercambiar los moldes	4	0	0	3	1	0	0	0	0	3	1	4	5	3	5
9	Que no genere contaminación para el medio ambiente	2,5	0	0	0	0	0	1	0	3	0	0	4	4	2	3
10	Que sea económica	4	1	1	1	3	9	0	1	0	0	0	5	3	0	0
EVALUACIÓN DE IMPORTANCIA	ABSOLUTA	91,5	34	43	67	67	30,5	73	48,5	79,5	68					
	RELATIVA (%)	16%	6%	7%	12%	12%	5%	13%	8%	14%	12%					
EVALUACIÓN DE INGENIERÍA																



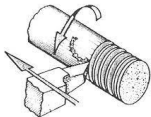
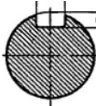
ANEXO C

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 29/7/2023
PIEZA:	HUSILLO INYECTOR	PLANO N°: 2	HOJA: 1	
MATERIAL:	AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: $\varnothing 35\text{mm} \times 650\text{mm}$		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



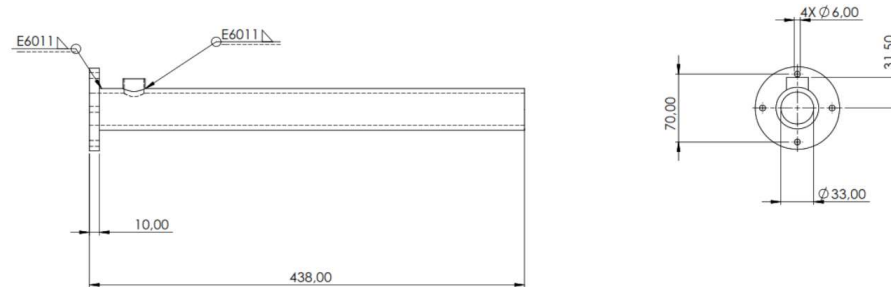
FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO TORNO	REFRENTADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Buril de HSS							
		2	Refrentar el tubo transversamente 10mm			4	1,125	680	1,27	2,03	Flexometro	
		3	Realizar una pasada de acabado			1	0,5	800	0,87	0,4	Flexometro	
	CILINDRADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Buril de HSS							
		2	Cilindrar la pieza todo su largo hasta $\varnothing 30\text{mm}$			2	1,125	600	1,25	2	Vernier	
		3	Cilindrar la sección A hasta $\varnothing 25\text{mm}$			2	1,125	600	1,2	2,14	Vernier	
	TRONZADO	1	Cambiar le herramienta de mecanizado		Buril de HSS							
		2	Tronzar la sección inicial de 145mm de largo			4	1,5	680	1,17	3,12	Vernier	
		3	Realizar un desahogo para el roscado en B de 5mm			2	1,125	680	0,54	0,26	Vernier	
	TORNEADO CÓNICO	1	Cambiar le herramienta de mecanizado		Buril de HSS							
		2	Tornear una sección inicial de 25mm con un angulo de 25°			7		700		4,97	Angulo	
		3	Dar una pasada de acabado			1		850			Visual	

TORNOS CNC	ROSCADO	1	Ingresar la programación a la consola		Buril de HSS						
		2	Configurar el paso, profundidad de filete y revoluciones del roscado			4	30			Vernier	
		3	Ejecutar el mecanizado							Llaves de rosca	
FRESADO	CHAVETEAR	1	sujetar la pieza en la entena		Fresa de disco						
		2	Desbastar en el lado opuesto a la rosca una chaveta de 3x25mm				3			Vernier	
		3	Realizar dos pasadas de acabado para que la pieza entre justa							Visual	


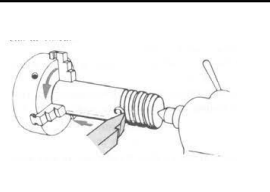
ANEXO D

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 30/7/2023
PIEZA:	CILINDRO INYECTOR	PLANO N°: 3	HOJA: 2	
MATERIAL:	ACERO CEDULA 40	DIMENSIONES EN BRUTO: Ø43mm x 443mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



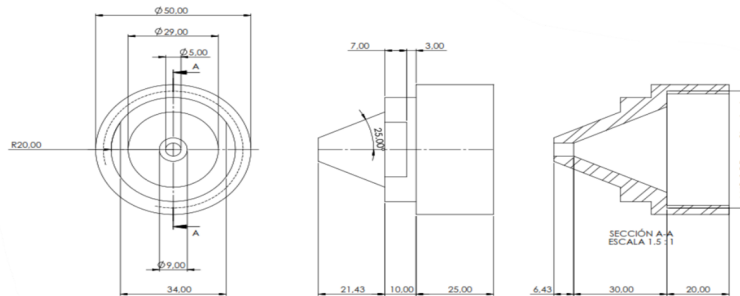
FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL
MECANIZADO TORNO	REFRENTADO	1	Sujetar el tubo en el torno		Butil de HSS						
		2	Refrentar el tubo transversamente 5mm			2	1	680	1,67	0,98	Flexometro
		3	Realizar una pasada de acabado			1	0,5	850	1,17	0,55	Flexometro
TALADRADO	PERFORADO	1	sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros, broca de 6mm						
		2	Perforar Ø6x4 en forma de cruz en la placa que actúa de brida			1		680	1,28	0,25	Vernier
		3	En el exterior del tubo realizar una perforación de 20mm a 35mm del extremo			1		500	1,5	0,12	Vernier
		4	En el centro de la placa realizar un perforado de guía para un posteior desbaste			1		680	1,19	0,22	Vernier
SOLDADURA	SUELDA	1	Sujetar la pieza a tierra y preparar el electrodo E6011		Electrodo E6011						
		2	Soldar mediante cordon la placa al cilindro inyector								Visual
		3	Soldar un tubo de 10mm de alto y 20 de diámetro en la perforación del tubo								Visual
	DO	1	Sujetar el tubo en el torno								

MECANIZADO TORNO	CILINDRAC			Butil de HSS						
		2	Desbastar la placa hasta que se si figura sea circular con diámetro 85mm			15	300-560		Vernier	
		3	Dar pasada de acabado			2	850		Vernier	
	ROSCADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Butil de HSS					
		2	Realizar un roscado M43x1.5 en su extremo liso					750		Llave de roscas
		3	Realizar pasadas de acabado					900		Visual

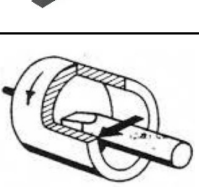
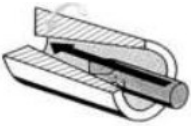

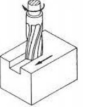
ANEXO E

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA
PIEZA:	CABEZAL INYECTOR	PLANO N°: 4	HOJA: 3	29/7/2023
MATERIAL:	AISI 1018	DIMENSIONES EN BRUTO: Ø50mm x 60,43mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



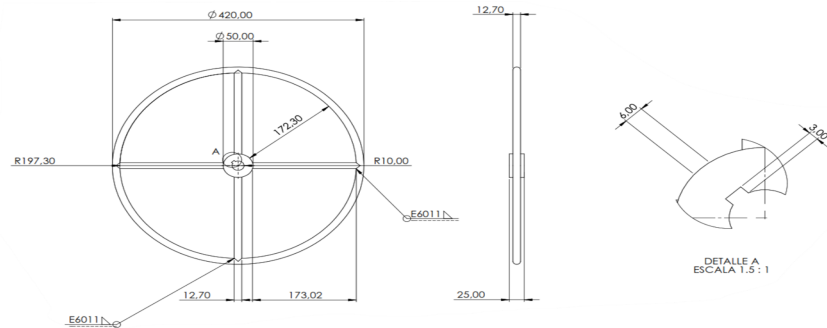
FASE	SUBFASE	OPERC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO MANUAL	TALADRADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros, broca de 5mm							
		2	Realizar un punteado con una rosca de centros en el perfil transversal de la pieza					540		0,1	Vernier	
		3	Perforar pasante con broca de 5mm					750		1	Vernier, visual	
TORNEADO CÓNICO	REFRENTADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Butil de HSS							
		2	Refrentar la pieza 4mm hasta la longitud especificada			2	0,75	600	1,27	2	Vernier	
		3	Dar una pasada de acabado			1	0,5	900	1,01	2,14	Vernier	
	TORNEADO CÓNICO		1	Cambiar le herramienta de mecanizado		Butil de HSS						
			2	Tornear una sección de 21,43mm con un ángulo de 25°, dejando un excedente de Ø9mm			10					Vernier
			3	Dar una pasada de acabado			1					Vernier
TORNEADO CILÍNDRICO	ILINDRADO	1	Cambiar le herramienta de mecanizado		Butil de HSS							
		2	Cilindrar la pieza hasta llegar a Ø40mm			4	4	680	1,25	2	Vernier	

MECANIZADO TC	CILINDRADO INTERNO	C	3	Dar una pasada de acabado		Butil de HSS	1	1	900	0,9	0,99	Visual	
		1	Cambiar la pieza para realizar un mecanizado interno										
		2	Cilindrar la pieza hasta llegar a $\varnothing 40 \times 20 \text{mm}$	33			1	600	1,19	8,02	Vernier		
		3	Dar una pasada de acabado	2	0,5	900	0,9	1	Vernier				
	TORNEADO CÓNICO INT.	1	Cambiar le herramienta de mecanizado		Butil de HSS								
		2	Tornear una sección de 30mm con un ángulo de 25°			8					Vernier		
		3	Dar una pasada de acabado			2					Vernier		
	ROSCADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Butil de HSS								
		2	Realizar el roscado interno en la sección plana de 20mm con una configuración de M43x1.5			5	1,75	380	1,67	2,61	Vernier		
		3	Realizar dos pasadas de acabado para que la pieza entre justa			2	0,25	600	1,07	1,27	Llave de roscas		
	MECANIZADO O FRESA	PLANEADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Fresa helicoidal 6mm							
			2	Fresar con una profundidad de 1,5mm en los dos extremos opuestos de la cara de $\varnothing 40 \text{mm}$			4	1,5	500	1,49	2,14	Vernier	
3			Realizar una pasada de acabado	1			1	880	0,8	0,81	Visual		

ANEXO F

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	MANIVELA	PLANO N°: 5	HOJA: 4	
MATERIAL:	AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: Ø1/2in x 4000mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN

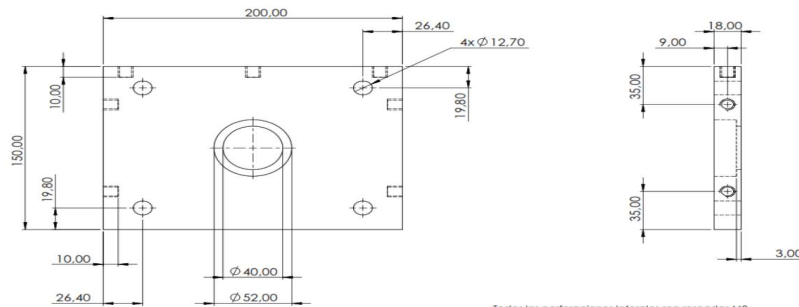


FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL
MECANIZADO TORNO	REFRENTADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Burril de HSS						
		2	Refrentar el tubo transversalmente hasta obtener las medidas finales de cada pieza			2	1	700	2,45	Flexometro	
		3	Refrentar los radios que intersecaran la manzana de la manivela			2	1	700	4,12	Vernier	
		4	Refrentar la manzana de la manivela hasta que quede completamente sin imperfecciones			2	1	700	2,45	Flexometro	
TALADRADO	PERFORADO	1	Sujetar la pieza en el torno		Broca de centros, 3/16, 3/8 y 1/2						
		2	Puntear con la rosca de centros			1		300		Vernier	
		3	Realizar una perforacion pasante de 3/16in, luego 3/8in y finalmente 1/2in			3	25	680		Vernier	
MECANIZADO FRESA	CHAVETEADO	1	Cambiar le herramienta de mecanizado		Fresa de ranurado 2mm						
		2	Fresar una chaveta interna en la manzana de la manivela con profundidad 6x3mm y pasante			2	1,5	500	1,36	1,93	Vernier

ANEXO G

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	PLACA DE SUJECIÓN INICIAL	PLANO N°: 6	HOJA: 5	
MATERIAL:	ASTM A131	DIMENSIONES EN BRUTO: 201X151X18mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



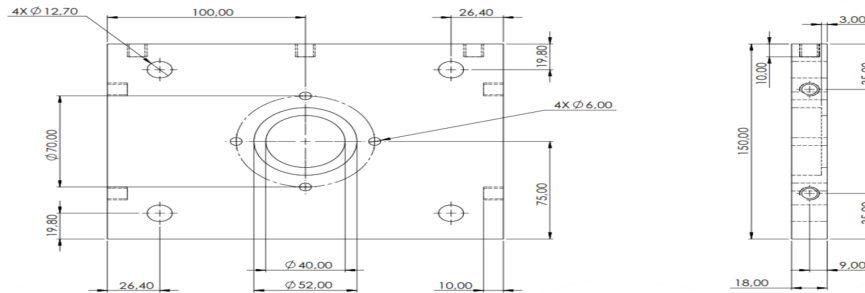
FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO MANUAL	LIMADO	1	Sujetar la pieza en la prensa de banco		Lima, lija							
		2	Limar sus excedentes a lo largo del perfil de la placa							Visual		
		3	Lijar con lija fina para el acabado							Visual		
	PERFORADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros, broca de 5, 8, 10 y 15mm. Broca de 3/16, 3/8 y 1/2in							
		2	Puntear las posiciones de todos los agujeros pasantes en la placa									
		3	Con broca de centros perforar el inicio de los agujeros punteados previamente			1	600					
		4	Perforar pasante con broca de 5, 10 y 15mm el agujero del medio			3	18	780	1,22	1,3	Vernier	
		5	Realizar las perforaciones pasantes de la superficie de la placa con broca de 3/16 y 3/8			8	18	650	1,69	1,36	Vernier	
		6	Realizar las perforaciones pasantes superficiales con broca 1/2in			4	18	800	0,97	0,35	Vernier	

		Realizar las perforaciones laterales de la placa con profundidad de 10mm con broca de 8mm													
	ROSCADO	1 Sujetar la pieza en la prensa de banco		Machuelo M8											
		2 Realizar el roscado interno de las perforaciones laterales con el machuelo													
MECANIZADO TORNO	CILINDRADO	1 Para la perforación del medio se soldo un tubo temporal que sirva de agarre en el torno y se sujeto la pieza al torno		Buril de HSS											
		2 Se cilindro internamente la placa a lo largo de su eje transversal completamente Ø40mm				8	1,563	700	1,1	5,02	Vernier				
		3 Se cilindro internamente la placa hasta una profundidad de 15mm con Ø52mm				5	1,2	700	1,05	3,16	Vernier				




ANEXO H

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	PLACA SISTEMA INYECTOR	PLANO N°: 9	HOJA: 6	
MATERIAL:	ASTM A131	DIMENSIONES EN BRUTO: 201X151X18mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



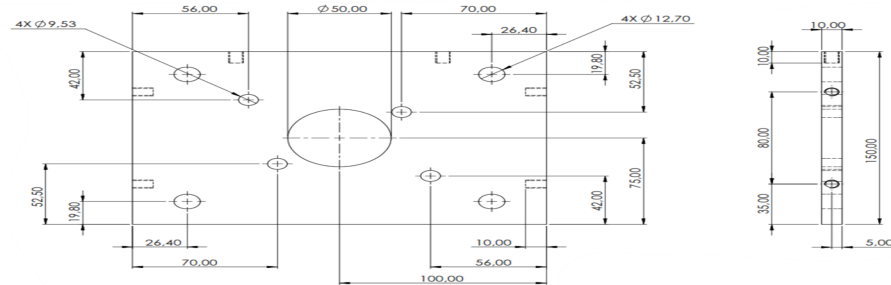
FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO MANUAL	LIMADO	1	Sujetar la pieza en la prensa de banco		Lima, lija							
		2	Limar sus excedentes a lo largo del perfil de la placa							Visual		
		3	Lijar con lija fina para el acabado							Visual		
	PERFORADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros, broca de 5, 6, 8, 10 y 15mm. Broca de 3/16, 3/8 y 1/2in							
		2	Puntear las posiciones de todos los agujeros pasantes en la placa									
		3	Con broca de centros perforar el inicio de los agujeros punteados previamente			1	600					
		4	Perforar pasante con broca de 6mm las perforaciones alrededor del punto central			4	18	650	1	0,65	Vernier	
		5	Perforar pasante con broca de 5, 10 y 15mm el agujero del medio			3	18	780	1,22	1,3	Vernier	
		6	Realizar las perforaciones pasantes de la superficie de la placa con broca de 3/16 y 3/8			8	18	650	1,69	1,36	Vernier	

N		7 Realizar las perforaciones pasantes superficiales con broca 1/2in			4	18	800	0,97	0,35	Vernier	
		8 Realizar las perforaciones laterales de la placa con profundidad de 10mm con broca de 8mm			2	1,125	680			Vernier	
ROSCADO	1	Sujetar la placa en la prensa de banca		Machuelo M8							
	2	Realizar el roscado interno de los agujeros laterales de la placa con machuelo M8									Visual
MECANIZADO TORNO	CILINDRADO	1	Para la perforación del medio se soldo un tubo temporal que sirva de agarre en el torno y se sujeto la pieza al torno		Butil de HSS						
		2	Se cilindro internamente la placa a lo largo de su eje transversal completamente Ø40mm			8	1,563	700	1,1	5,02	Vernier
		3	Se cilindro internamente la placa hasta una profundidad de 15mm con Ø52mm			5	1,2	700	1,05	3,16	Vernier



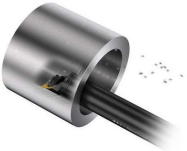
ANEXO I

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	PLACA SUJECCIÓN CILINDRO	PLANO N°: 10	HOJA: 7	
MATERIAL:	ASTM A131	DIMENSIONES EN BRUTO: 201X151X10mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



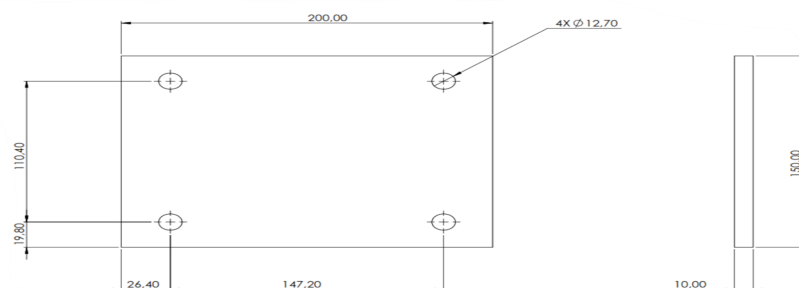
FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
												MECANIZADO MANUAL
MECANIZADO MANUAL	LIMADO	1	Sujetar la pieza en la prensa de banco		Lima, lija							
		2	Limar sus excedentes a lo largo del perfil de la placa							Visual		
		3	Lijar con lija fina para el acabado							Visual		
	PERFORADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros, broca de 5, 6, 8, 10 y 15mm. Broca de 3/16, 3/8 y 1/2in							
		2	Puntear las posiciones de todos los agujeros pasantes en la placa									
		3	Con broca de centros perforar el inicio de los agujeros punteados previamente			1		600				
		4	Perforar pasante con broca de 3/8in las 4 perforaciones alrededor del punto central			4	18	700	1,11	0,78	Vernier	
		5	Perforar pasante con broca de 5, 10 y 15mm el agujero del medio			3	18	780	1,22	1,3	Vernier	
		6	Realizar las perforaciones pasantes de la superficie de la placa con broca de 3/16 y 3/8			8	18	650	1,69	1,36	Vernier	



MECANIZADO		N									
TORNIO	ROSCADO	7	Realizar las perforaciones pasantes superficiales con broca 1/2in		Machuelo M6	4	18	800	0,97	0,35	Vernier
		8	Realizar las perforaciones laterales de la placa con profundidad de 10mm con broca de 6mm			2	1,125	800	0,74	3,02	Vernier
	CILINDRADO	1	Sujetar la placa en la prensa de banca		Machuelo M6						
		2	Realizar el roscado interno de los agujeros laterales de la placa con machuelo M6								Visual
		1	Para la perforación del medio se soldo un tubo temporal que sirva de agarre en el torno y se sujeto la pieza al torno		Butil de HSS						
		2	Cilindrar internamente la placa a lo largo de su eje transversal completamente hasta $\varnothing 50\text{mm}$			8	1,563	700	1,1	5,02	Vernier

ANEXO J

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	PLACA SIST. CIERRE MOVIL/FIJA	PLANO N°: 11	HOJA: 8	
MATERIAL:	ASTM A131	DIMENSIONES EN BRUTO: 201X151X10mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN

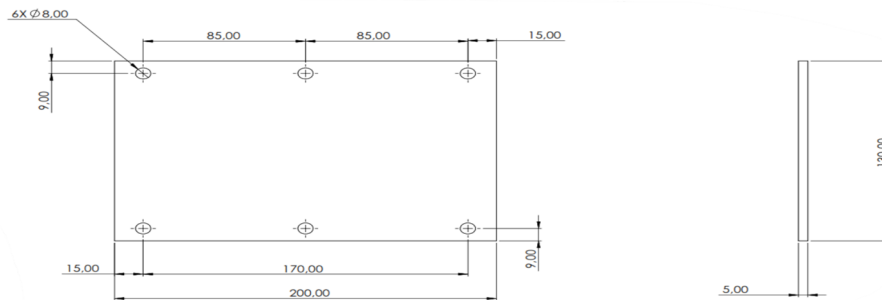


FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO MANUAL	LIMADO	1	Sujetar la pieza en la prensa de banco		Lima, lija							
		2	Limar sus excedentes a lo largo del perfil de la placa							Visual		
		3	Lijar con lija fina para el acabado							Visual		
	PERFORADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros. Broca de 3/16, 3/8 y 1/2in							
		2	Puntear las posiciones de todos los agujeros pasantes en la placa									
		3	Con broca de centros perforar el inicio de los agujeros punteados previamente									
		5	Realizar las perforaciones pasantes de la superficie de la placa con broca de 3/16 y 3/8				1	600				
		5	Realizar las perforaciones pasantes de la superficie de la placa con broca de 3/16 y 3/8				8	18	650	1,69	1,36	Vernier
		6	Realizar las perforaciones pasantes superficiales con broca 1/2in				4	18	800	0,97	0,35	Vernier

ANEXO K

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	PLACA DE UNIÓN Y SUJECIÓN	PLANO N°: 8	HOJA: 9	
MATERIAL:	ASTM A131	DIMENSIONES EN BRUTO: 201X131X5mm		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN

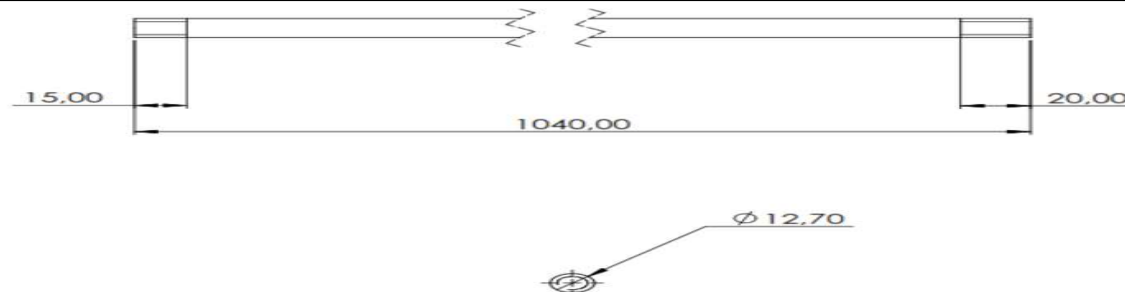


FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO MANUAL	LIMADO	1	Sujetar la pieza en la prensa de banco		Lima, lija							
		2	Limar sus excedentes a lo largo del perfil de la placa							Visual		
		3	Lijar con lija fina para el acabado							Visual		
	PERFORADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Broca de centros. Broca de 3/16, 3/8 y 1/2in							
		2	Puntear las posiciones de los 6 agujeros pasantes en la placa									
		3	Con broca de centros perforar el inicio de los 3 agujeros punteados previamente			1		600				
5	Realizar las perforaciones pasantes de la superficie de la placa con broca de 5mm	8	18	700	1,54	1,31	Vernier					
6	Realizar las perforaciones pasantes superficiales con broca 8mm	4	18	800	1,23	0,78	Vernier					

ANEXO L

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	BARRA GUÍA	PLANO N°: 12	HOJA: 10	
MATERIAL:	AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: $\varnothing 1/2 \times 40,97$ in		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN

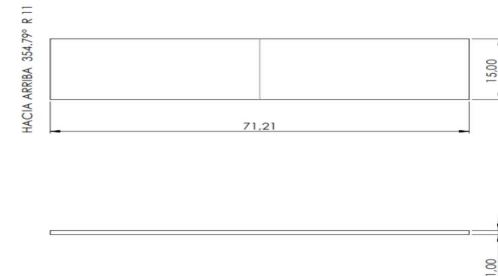
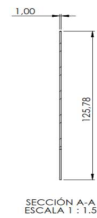
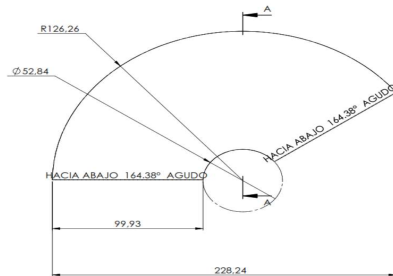


FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO TORNO	REFRENTADO	1	Sujetar la pieza en las muelas del torno		Butil de HSS							
		2	Refrentar los extremos del tubo 0,02in			1	0,015i	680	1,3	0,9	Vernier	
		3	Dar una pasada de acabado			1	0,005i	900	0,98	0,34	Vernier	
	ROSCADO	1	Cambiar la herramienta del torno		Butil de HSS							
		2	Posicionar la herramienta en el extremo de la barra y realizar un roscado de 1/2inx20mm de longitud			4	0,25	680			Vernier	
		3	Dar la vuelta la barra y realizar un roscado de 1/2inx15mm de longitud en su extremo			4	0,25	680			Vernier	

ANEXO M

PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	TOLVA	PLANO N°: 14-16	HOJA: 11	
MATERIAL:	AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: 500X300x1mm(plancha)		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN

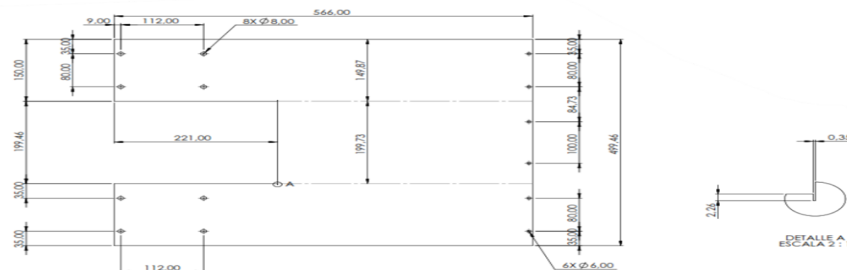


FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
MECANIZADO MANUAL	CORTE PLASMA	1	Sujetar la plancha sobre la mesa de trabajo		Cortadora plasma							
		2	Realizar corte de la silueta circular para la cabeza de la tolva							Visual		
		3	Realizar el corte rectangular del cuerpo de la tolva							Visual		
	CORTE MANUAL	1	Sujetar el material en la prensa de mesa		Moladora							
		2	Con una moladora recortar la silueta por el borde con cuidado de no cortar la forma de la pieza							Visual		
		3	Con la moladora recortar los materiales excedentes por los filos del material							Visual		
LIMADO	1	Sujetar la pieza en la entenalla		Lima								
	2	Con una lima, desbastar los bordes cortantes que pueda poseer el material hasta que quede completamente liso							Visual			

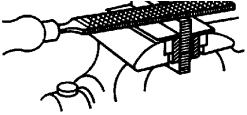

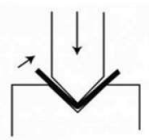
ANEXO N

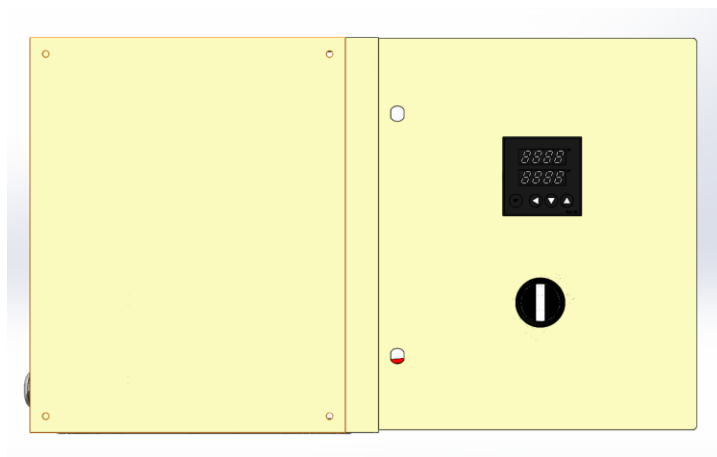
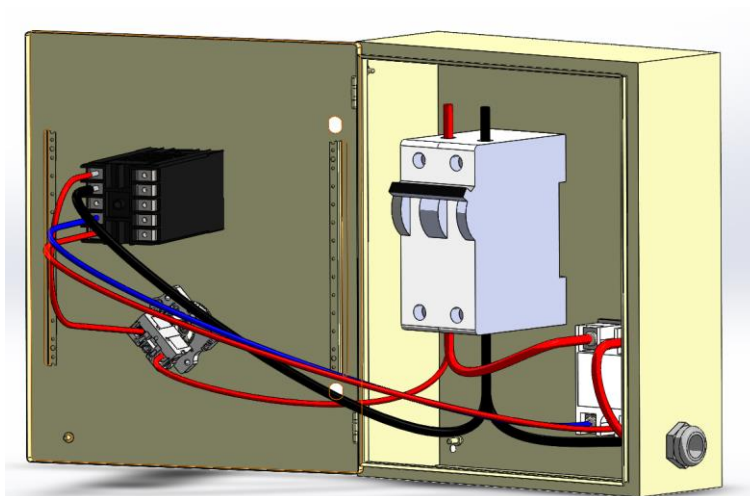
PROYECTO:	MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	CONJUNTO N°: 1	TRABAJO N°: 1	FECHA 31/7/2023
PIEZA:	CUBIERTA	PLANO N°: 19	HOJA: 12	
MATERIAL:	AISI 304	DIMENSIONES EN BRUTO: 510X575x1mm(plancha)		

REALIZADO POR: BRYAN GERARDO INTRIAGO RAMÓN



FASE	SUBFASE	OPERAC.	DENOMINACIÓN	CROQUIS	HERRAMIENTA	psd	p (mm)	N (rpm)	Va (mm/s)	tc min	CONTROL	
JUAL	CORTE PLASMA	1	Sujetar la plancha sobre la mesa de trabajo		Cortadora plasma							
		2	Realizar corte de la silueta rectangular de la cubierta							Visual		
		3	Realizar el corte rectangular de entrada que tiene la cubierta							Visual		
	CORTE MANUAL	1	Sujetar el material en la prensa de mesa		Moladora							
		2	Con una moladora recortar la silueta por el borde con cuidado de no cortar la forma de la pieza							Visual		
		3	Con la moladora recortar el material excedente por el borde de la pieza									
		4	Realizar cuellos de desahogo en las entradas de la plancha para facilitar el doblado							Visual		
		1	Sujetar la pieza en la entenalla									

MECANIZADO MAN	LIMADO	2	Con una lima, desbastar los bordes cortantes que pueda poseer el material hasta que quede completamente liso		Lima							Visual
		PERFORADO	1	Sujetar la plancha sobre la entenalla del taladro de columna		Roladora						
	2		Puntear las posiciones donde se ubicaran las 14 perforaciones									
	3		Realizar 8 perforaciones pasantes de $\varnothing 8\text{mm}$ en las posiciones indicadas	Visual								
	4		Realizar 6 perforaciones pasantes de $\varnothing 6\text{mm}$ en las posiciones indicadas	Visual, vernier								
	DOBLADO	1	Posicionar la plancha en la dobladora a la altura del primer doble		Electrodo 308L							
		2	Realizar el doblado de las dos posiciones opuestas especificadas, siempre alineando con el cuello de desahogo para facilitar el doblado de la plancha			Visual						

ANEXO O*Modelo 3D del tablero de control*

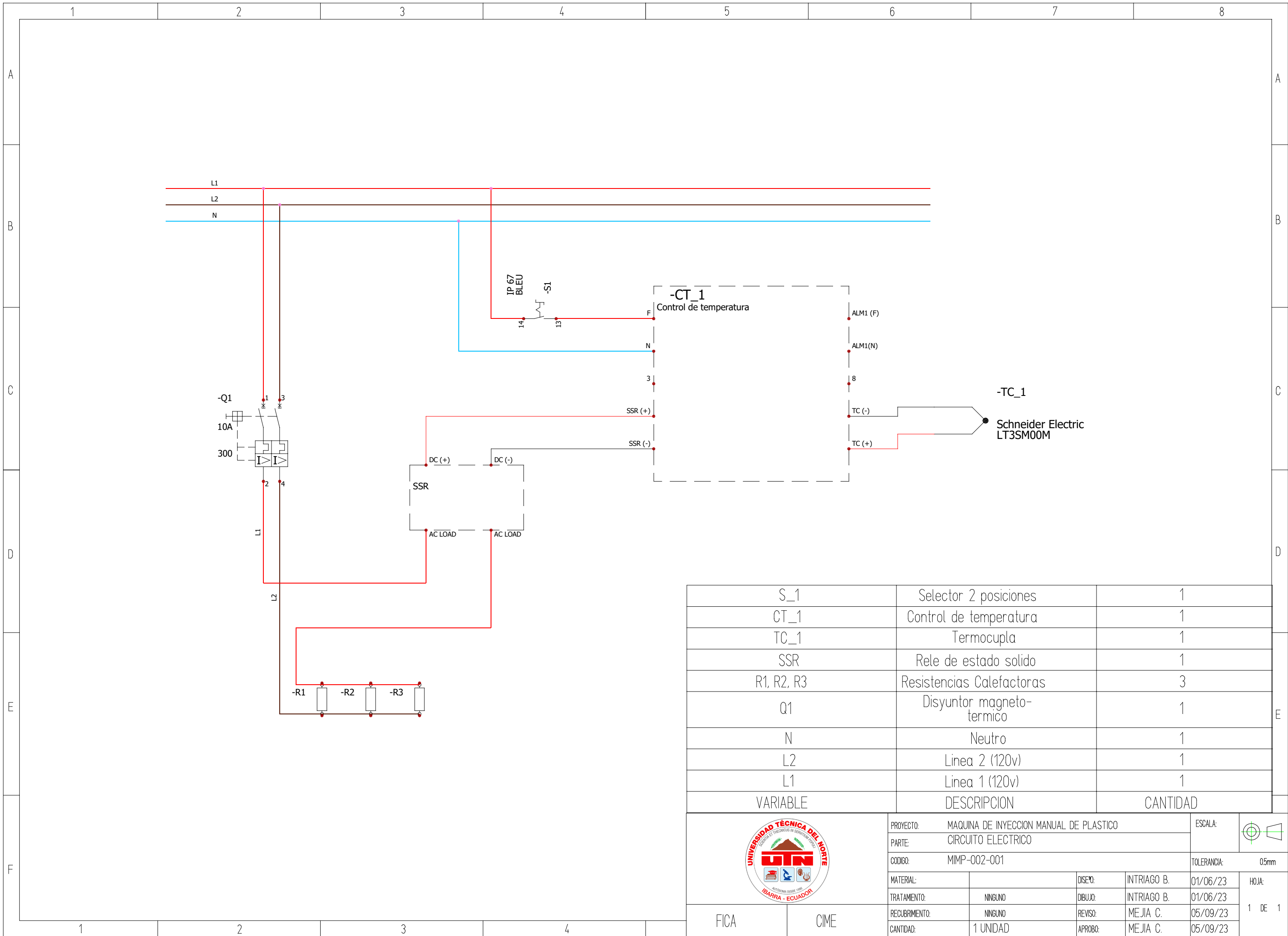
ANEXO P*Costos totales*

MATERIA PRIMA			
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
Eje AISI 304	Ø1/2in	6m	\$ 60,00
Acero ASTM A131	201x151x18mm	2	\$ 12,00
Acero ASTM A132	201x151x10mm	4	\$ 24,00
Acero ASTM A133	201x131x5mm	1	\$ 6,00
Angulo	30x30x6000mm	1	\$ 12,00
Rodamiento	6205-2RS	2	\$ 8,00
Eje AISI 304	Ø1,5in	0,5m	\$ 35,00
Tubo Cédula 40	Øext. 43mm x Øint. 33mm	0,45m	\$ 25,55
Tubo Cédula 40	Øext. 22mm x Øint. 20mm	0,05m	\$ 1,25
Eje AISI 1018	Ø50mmx600mm	1	\$ 5,00
Eje Bronce	Ø1,75in x 1/2in	1	\$ 17,00
Plancha AISI 304	6mx4m	1	\$ 29,00
Electrodos	E6011-308L	8	\$ 9,00
Tornillería	--	--	\$ 10,00
TOTAL			\$ 253,80



COMPONENTES ELÉCTRICOS			
MATERIAL	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	PRECIO
Controlador de temperatura	PID	1	\$ 59,00
Cajetín Eléctrico	--	1	\$ 16,00
Cable termomagnético	3m	1	\$ 6,50
Cable flexible N12	6m	1	\$ 5,00
Selector dos posiciones	--	1	\$ 3,50
Termocupla	Tipo J	1	\$ 8,00
Relé estado solido	--	1	\$ 20,00
Cable trifásico	--	3m	\$ 13,00
Disyuntor magnetotérmico	--	1	\$ 39,00
Espiral para cables	N5	3m	\$ 5,00
Terminales para cable	Ø4mm	10	\$ 1,75
Cable termoreductor	Ø4mm	1m	\$ 0,50
Borneras	--	3	\$ 2,00
Roundup		1	\$ 1,50
Enchufe 220	--	1	\$ 6,50
Varios	--	--	\$ 30,00
TOTAL			\$ 217,25

MANO DE OBRA	
Mecanizado	\$ 583,02
Eléctrico	\$ 60,00
TOTAL	\$ 643,02

TOTAL	\$ 1114,07
--------------	------------

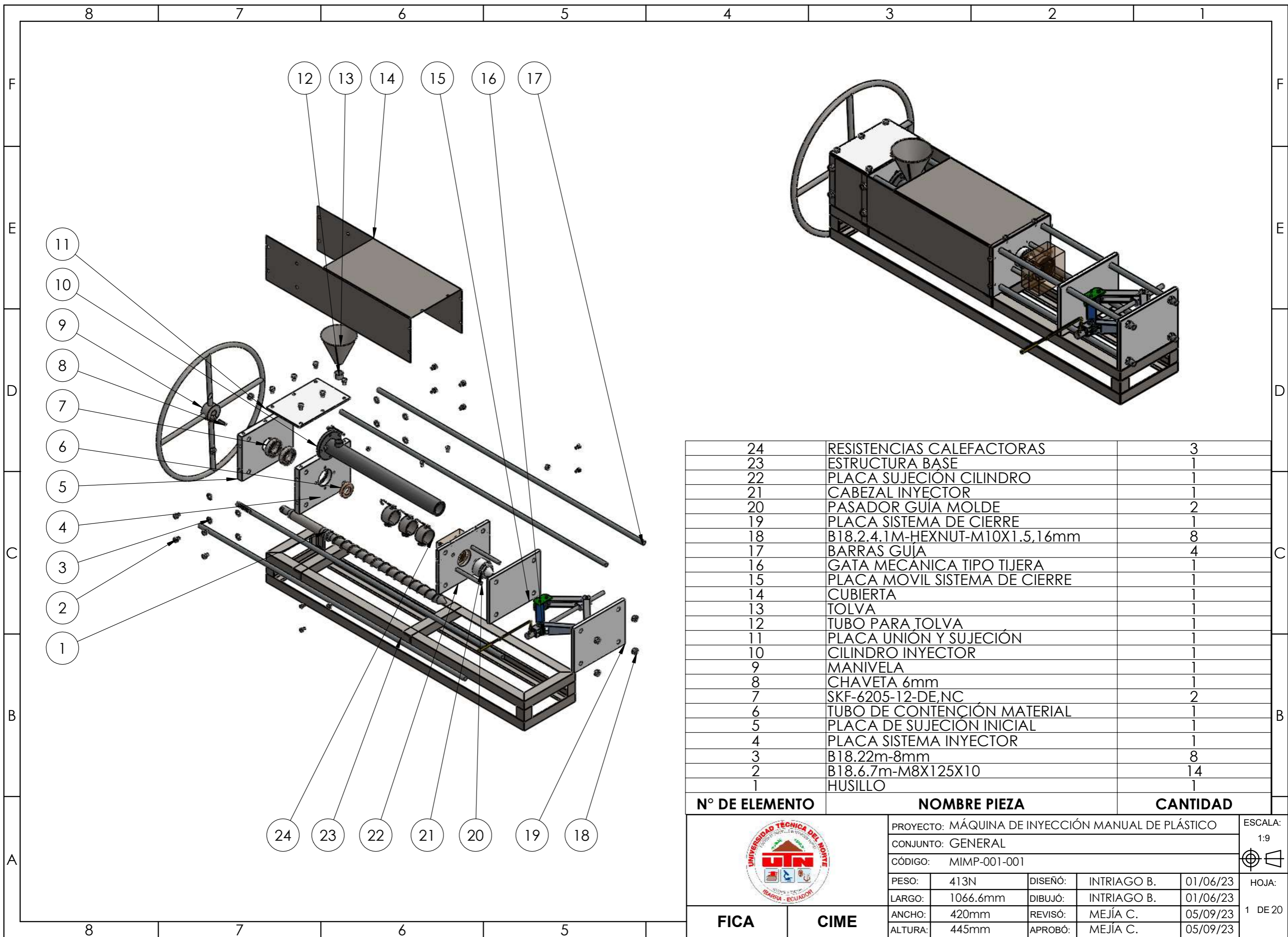


S_1	Selector 2 posiciones	1
CT_1	Control de temperatura	1
TC_1	Termocupla	1
SSR	Rele de estado solido	1
R1, R2, R3	Resistencias Calefactoras	3
Q1	Disyuntor magneto-termico	1
N	Neutro	1
L2	Linea 2 (120v)	1
L1	Linea 1 (120v)	1
VARIABLE	DESCRIPCION	CANTIDAD

	PROYECTO: MAQUINA DE INYECCION MANUAL DE PLASTICO			ESCALA:	
	PARTE: CIRCUITO ELECTRICO				
	CODIGO: MIMP-002-001			TOLERANCIA:	05mm
	MATERIAL:		DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJO:	INTRIAGO B.	01/06/23	1 DE 1
RECURRIMIENTO:	NINGUNO	REVISO:	MEJIA C.	05/09/23	
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBO:	MEJIA C.	05/09/23	

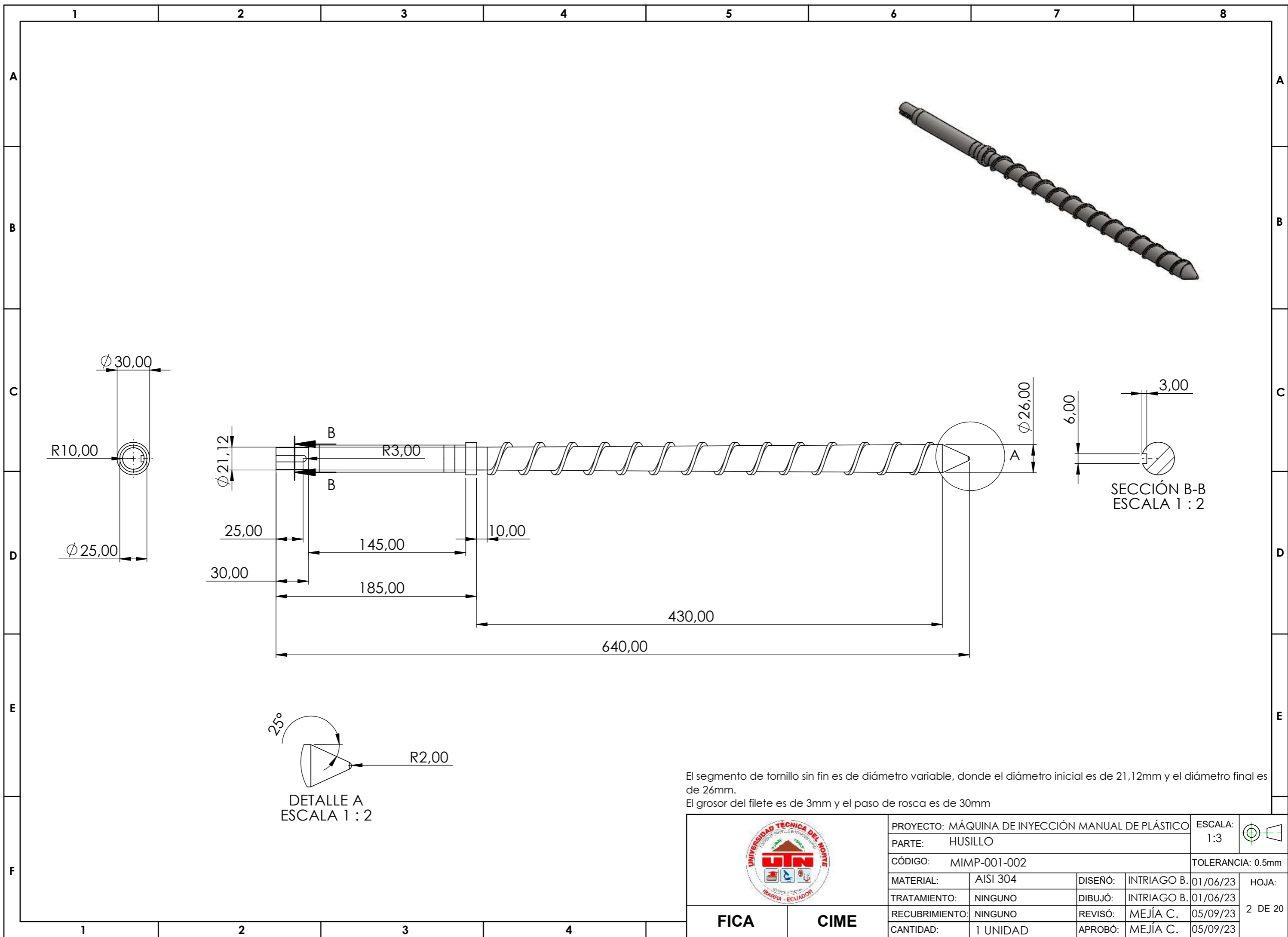
FICA

CIME



24	RESISTENCIAS CALEFACTORAS	3
23	ESTRUCTURA BASE	1
22	PLACA SUJECIÓN CILINDRO	1
21	CABEZAL INYECTOR	1
20	PASADOR GUÍA MOLDE	2
19	PLACA SISTEMA DE CIERRE	1
18	B18.2.4.1M-HEXNUT-M10X1.5,16mm	8
17	BARRAS GUÍA	4
16	GATA MECÁNICA TIPO TIJERA	1
15	PLACA MOVIL SISTEMA DE CIERRE	1
14	CUBIERTA	1
13	TOLVA	1
12	TUBO PARA TOLVA	1
11	PLACA UNIÓN Y SUJECIÓN	1
10	CILINDRO INYECTOR	1
9	MANIVELA	1
8	CHAVETA 6mm	1
7	SKF-6205-12-DE,NC	2
6	TUBO DE CONTENCIÓN MATERIAL	1
5	PLACA DE SUJECIÓN INICIAL	1
4	PLACA SISTEMA INYECTOR	1
3	B18.22m-8mm	8
2	B18.6.7m-M8X125X10	14
1	HUSILLO	1

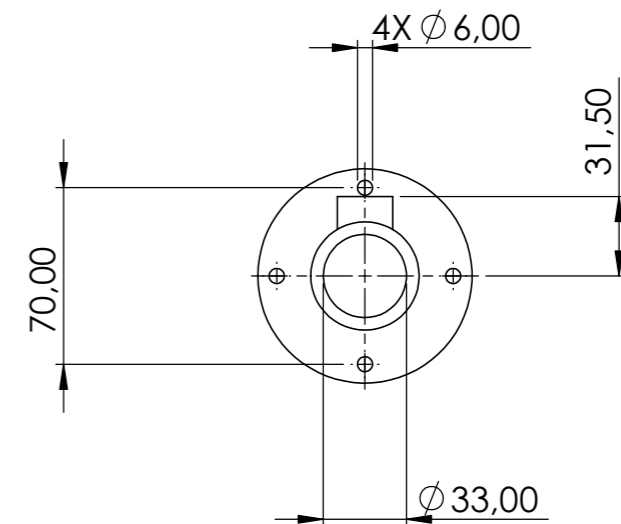
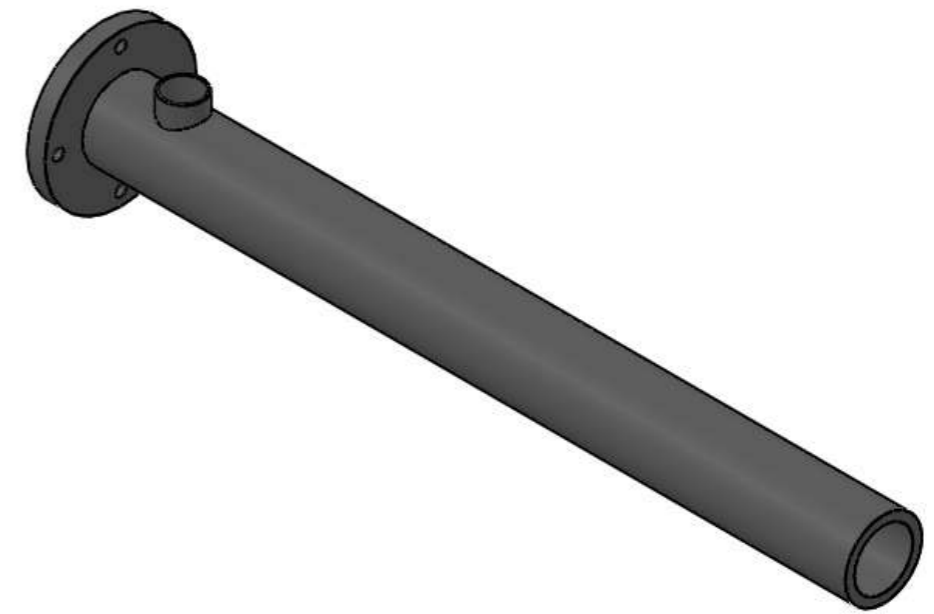
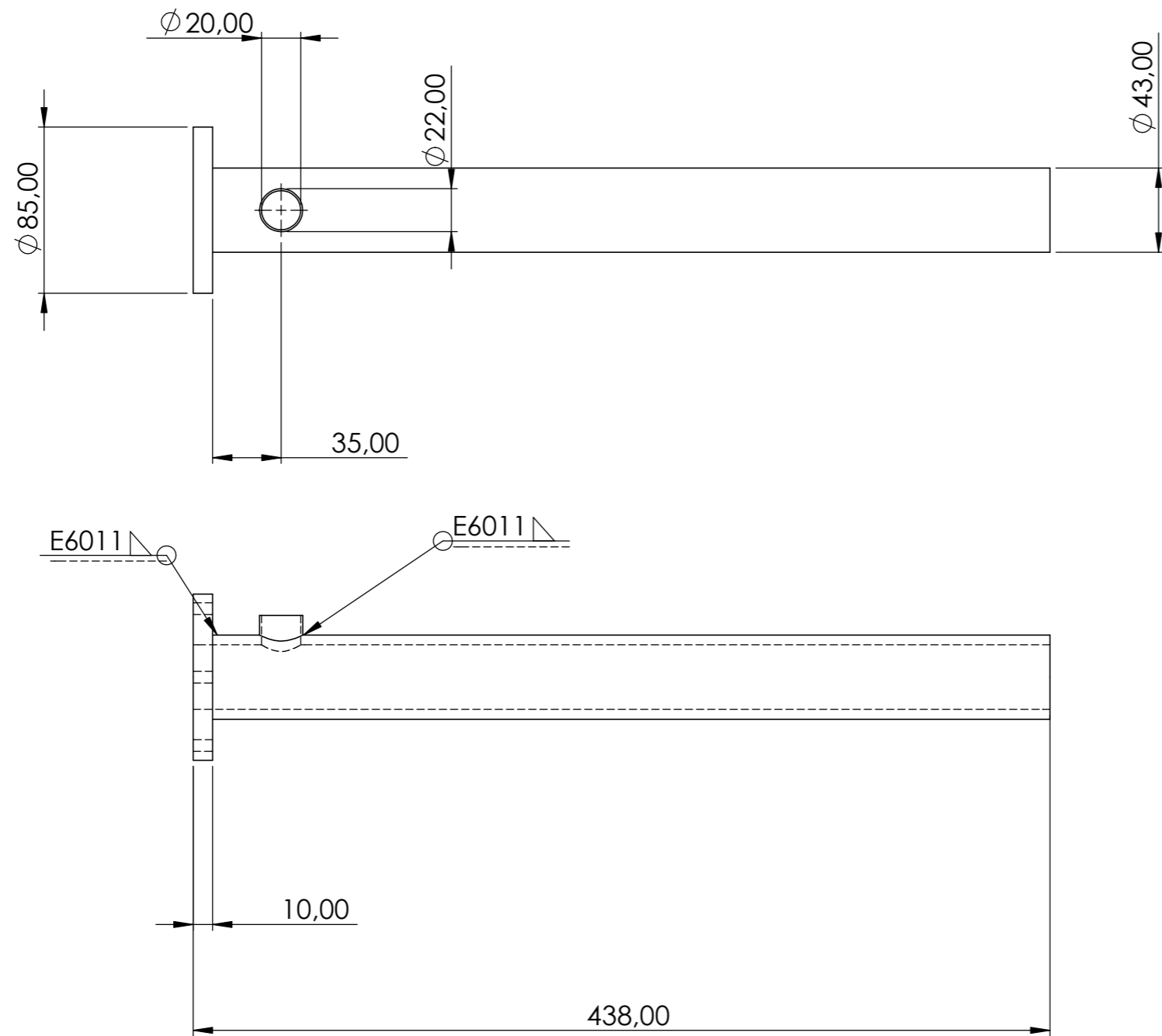
N° DE ELEMENTO	NOMBRE PIEZA	CANTIDAD
PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO		ESCALA: 1:9
CONJUNTO: GENERAL		
CÓDIGO: MIMP-001-001		
PESO:	413N	DISEÑO: INTRIAGO B. 01/06/23
LARGO:	1066.6mm	DIBUJÓ: INTRIAGO B. 01/06/23
ANCHO:	420mm	REVISÓ: MEJÍA C. 05/09/23
ALTURA:	445mm	APROBÓ: MEJÍA C. 05/09/23
FICA	CIME	HOJA: 1 DE 20



El segmento de tornillo sin fin es de diámetro variable, donde el diámetro inicial es de 21,12mm y el diámetro final es de 26mm.
 El grosor del filete es de 3mm y el paso de rosca es de 30mm

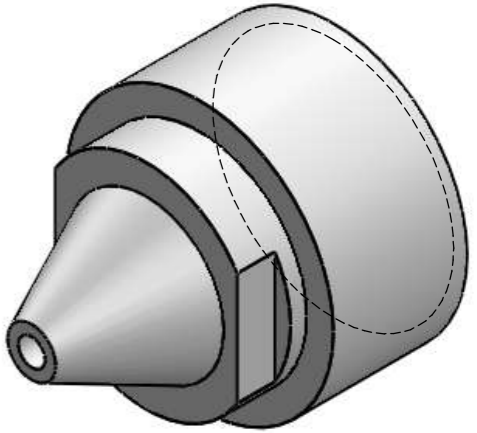
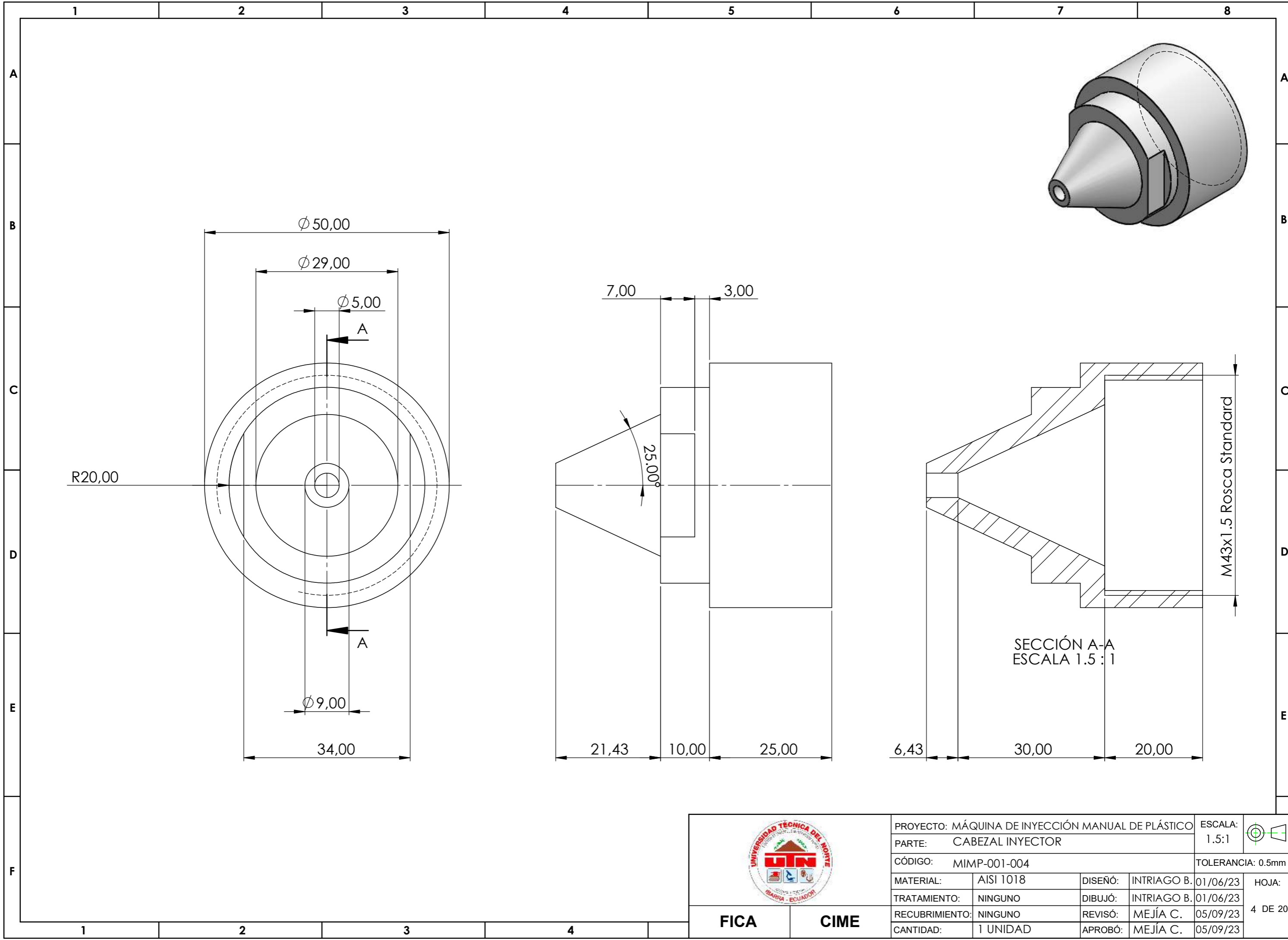
	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA: 1:3	
	PARTE: HUSILLO				TOLERANCIA: 0.5mm	
	CÓDIGO: MIMP-001-002				HOJA: 2 DE 20	
	MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		

FICA **CIME**

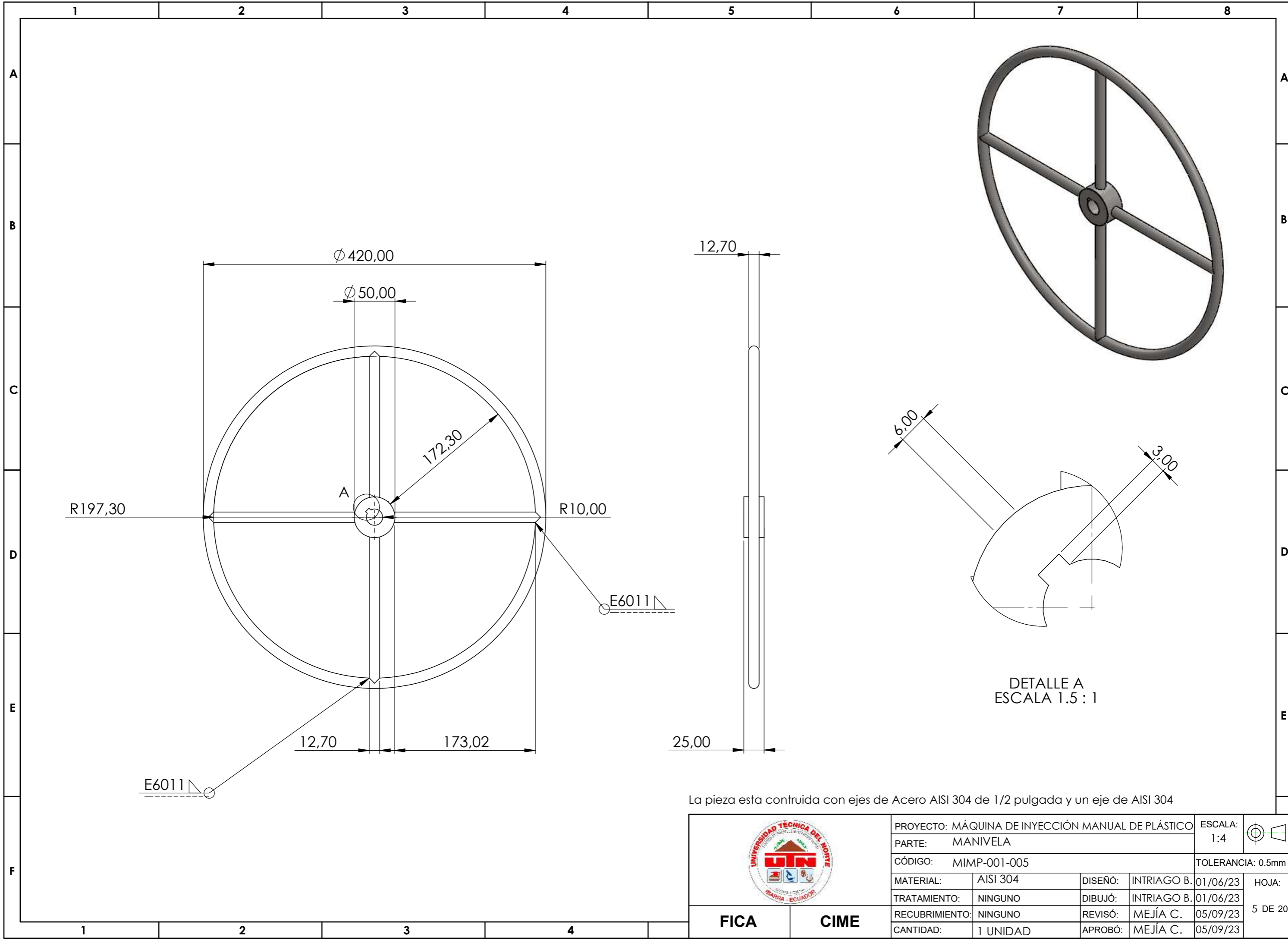


El cilindro tiene mecanizada una rosca M43 en sus últimos 30mm de longitud

	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: CILINDRO DE INYECCIÓN				1:3	
CÓDIGO: MIMP-001-003				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	ACERO CÉDULA 40	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	3 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					

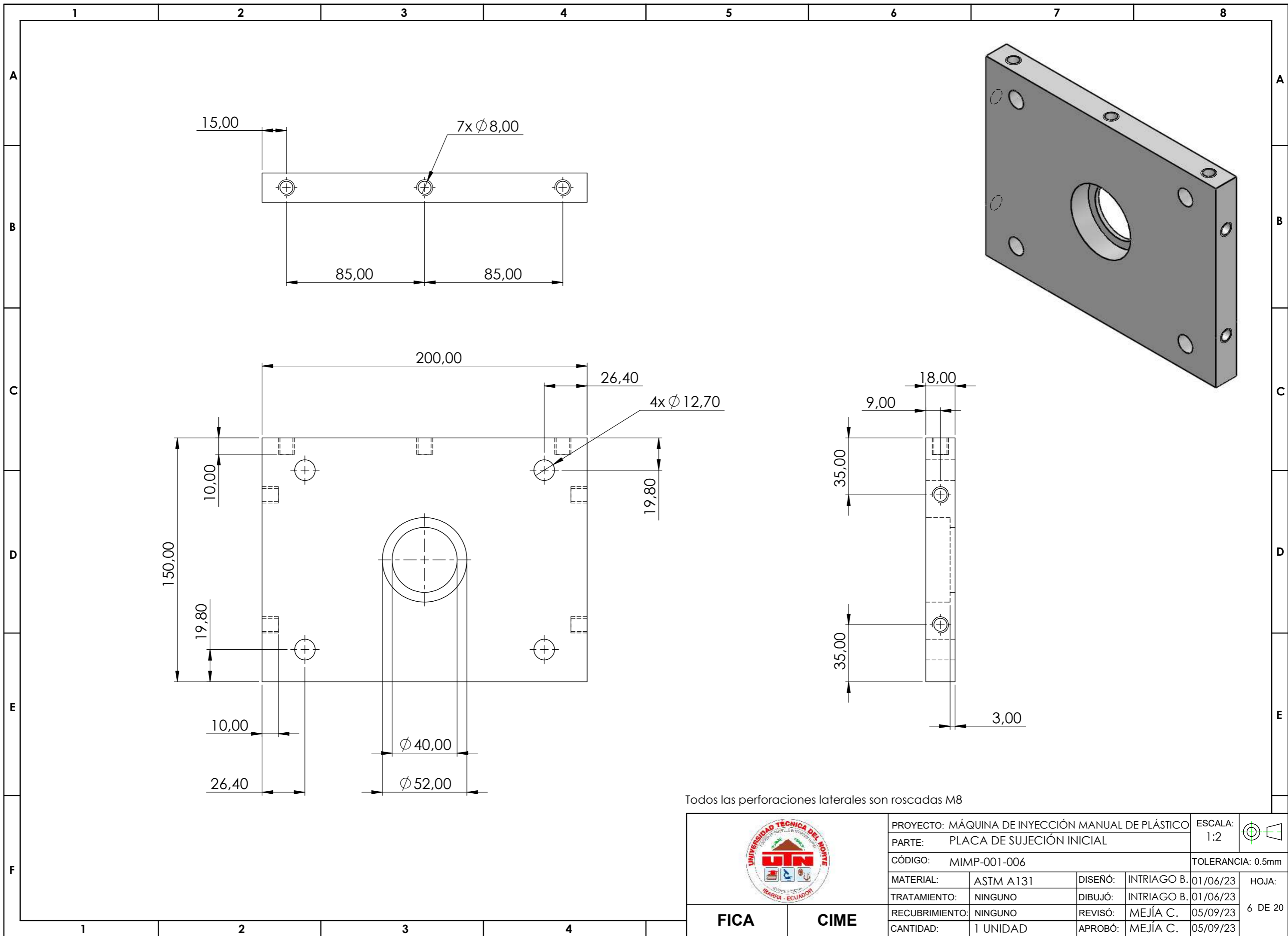


	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: CABEZAL INYECTOR				1.5:1	
CÓDIGO: MIMP-001-004				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	AISI 1018	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	4 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					



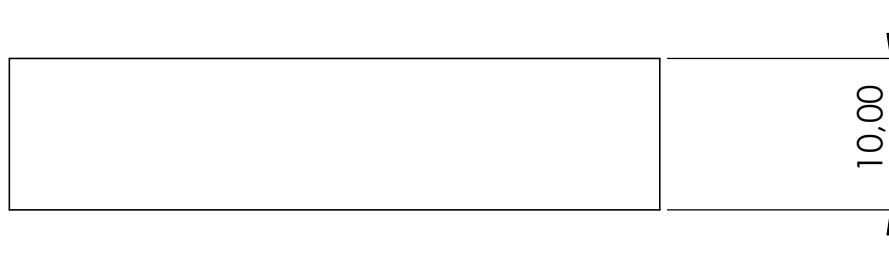
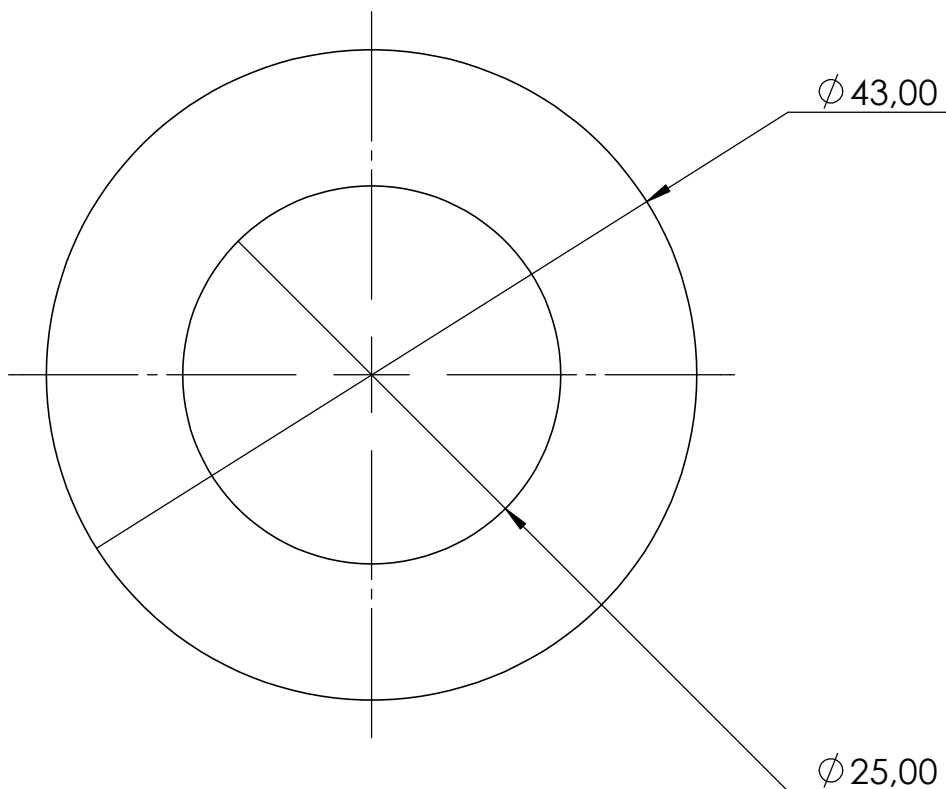
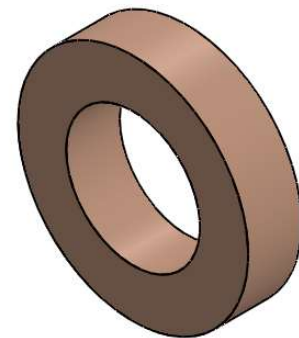
La pieza esta contruida con ejes de Acero AISI 304 de 1/2 pulgada y un eje de AISI 304

	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA: 1:4	
	PARTE: MANIVELA					
CÓDIGO: MIMP-001-005				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	5 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					



Todos las perforaciones laterales son roscadas M8

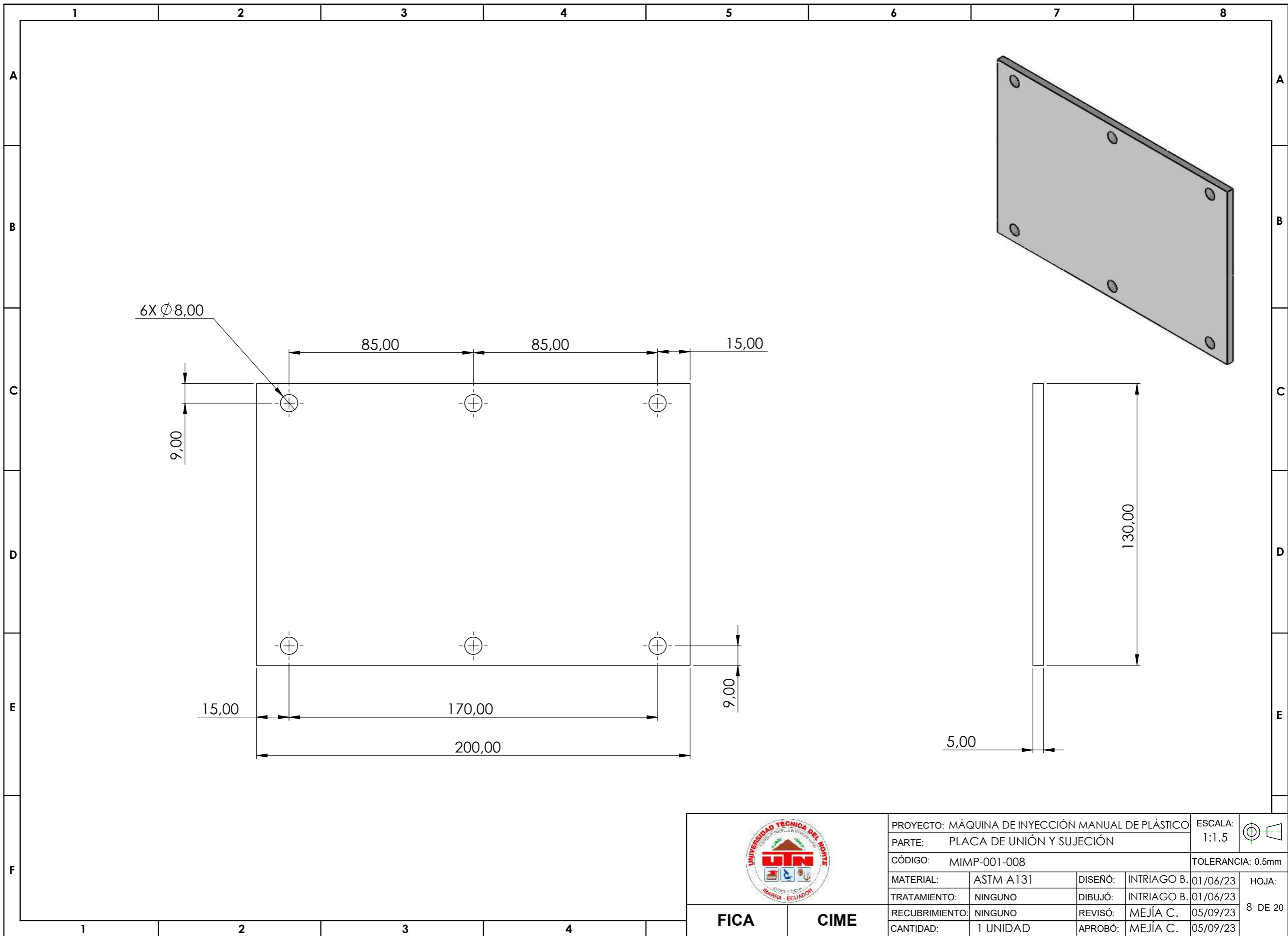
	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA: 1:2	
	PARTE: PLACA DE SUJECIÓN INICIAL					
CÓDIGO: MIMP-001-006					TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	ASTM A131	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	6 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					



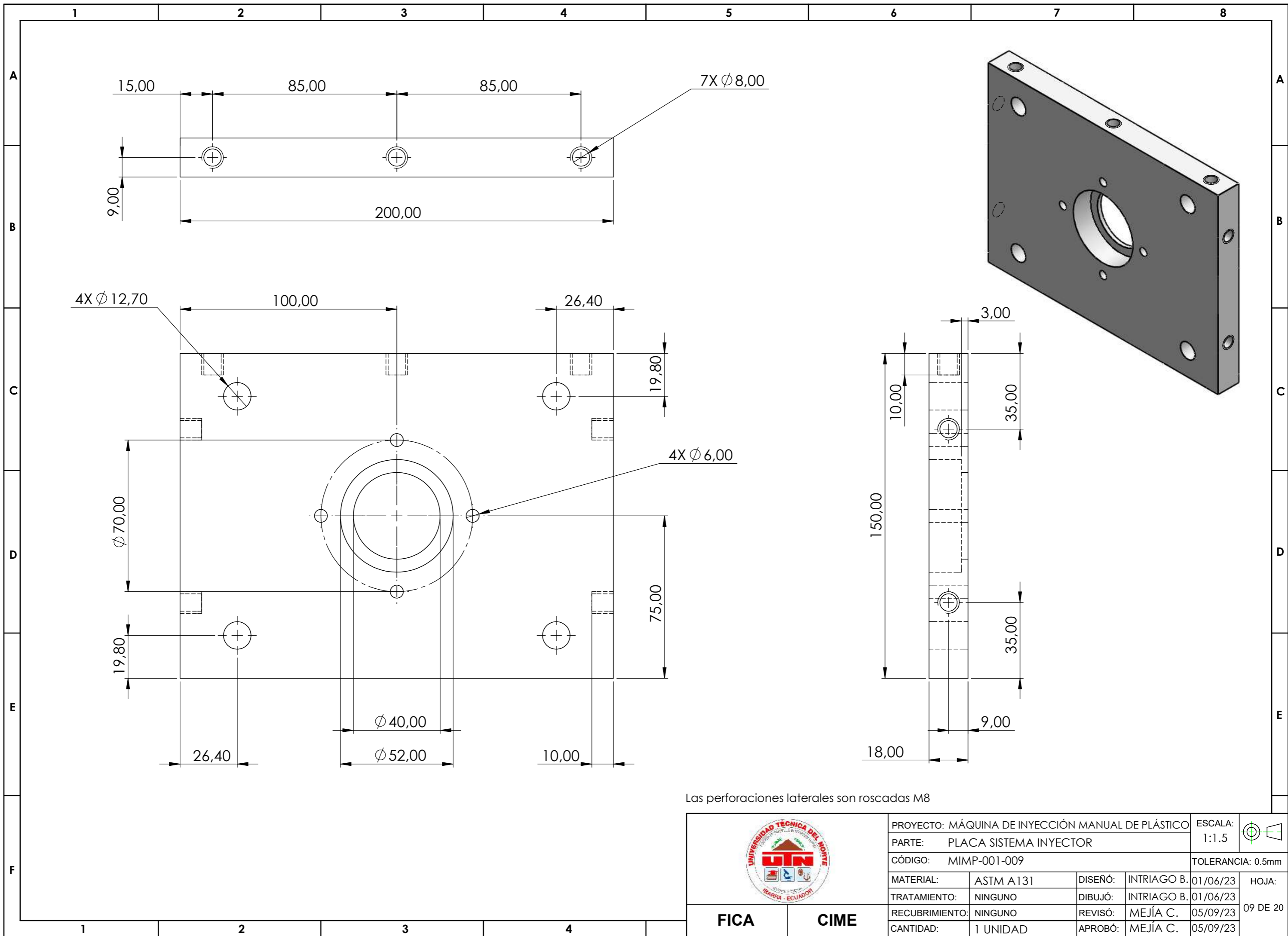
PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO		ESCALA: 2:1		
PARTE: TUBO CONTENEDOR DE MATERIAL		TOLERANCIA: 0.05		
CÓDIGO: MIMP-001-007				
MATERIAL:	COBRE	DISEÑO:	INTRIAGO B. 01/06/23	HOJA: 7 DE 20
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B. 01/06/23	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C. 05/09/23	
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C. 05/09/23	

FICA

CIME

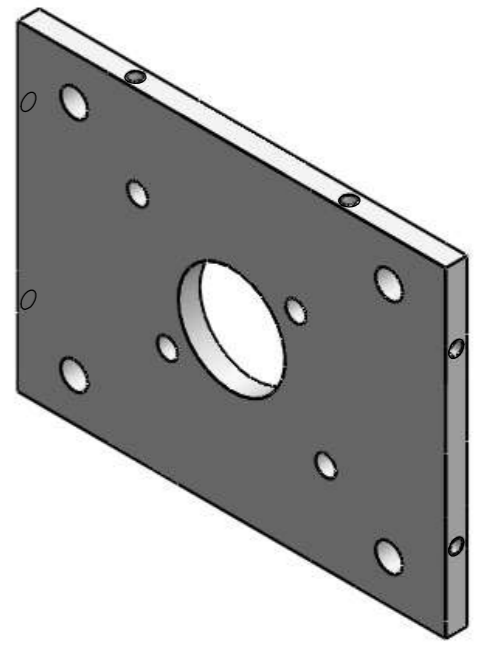
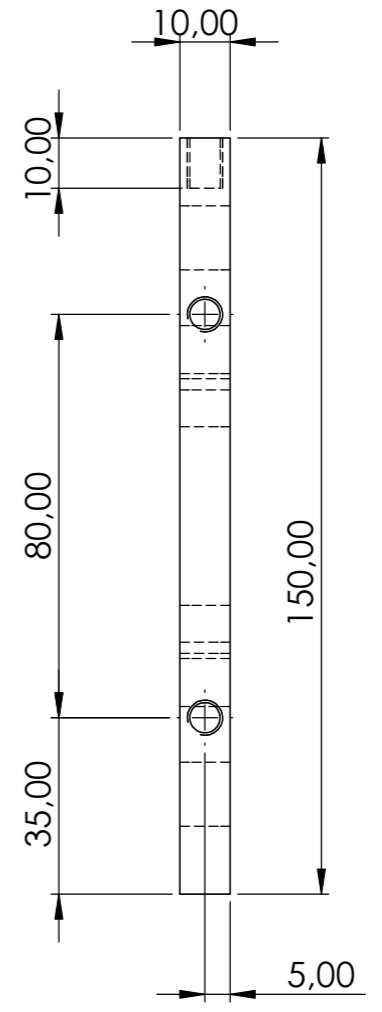
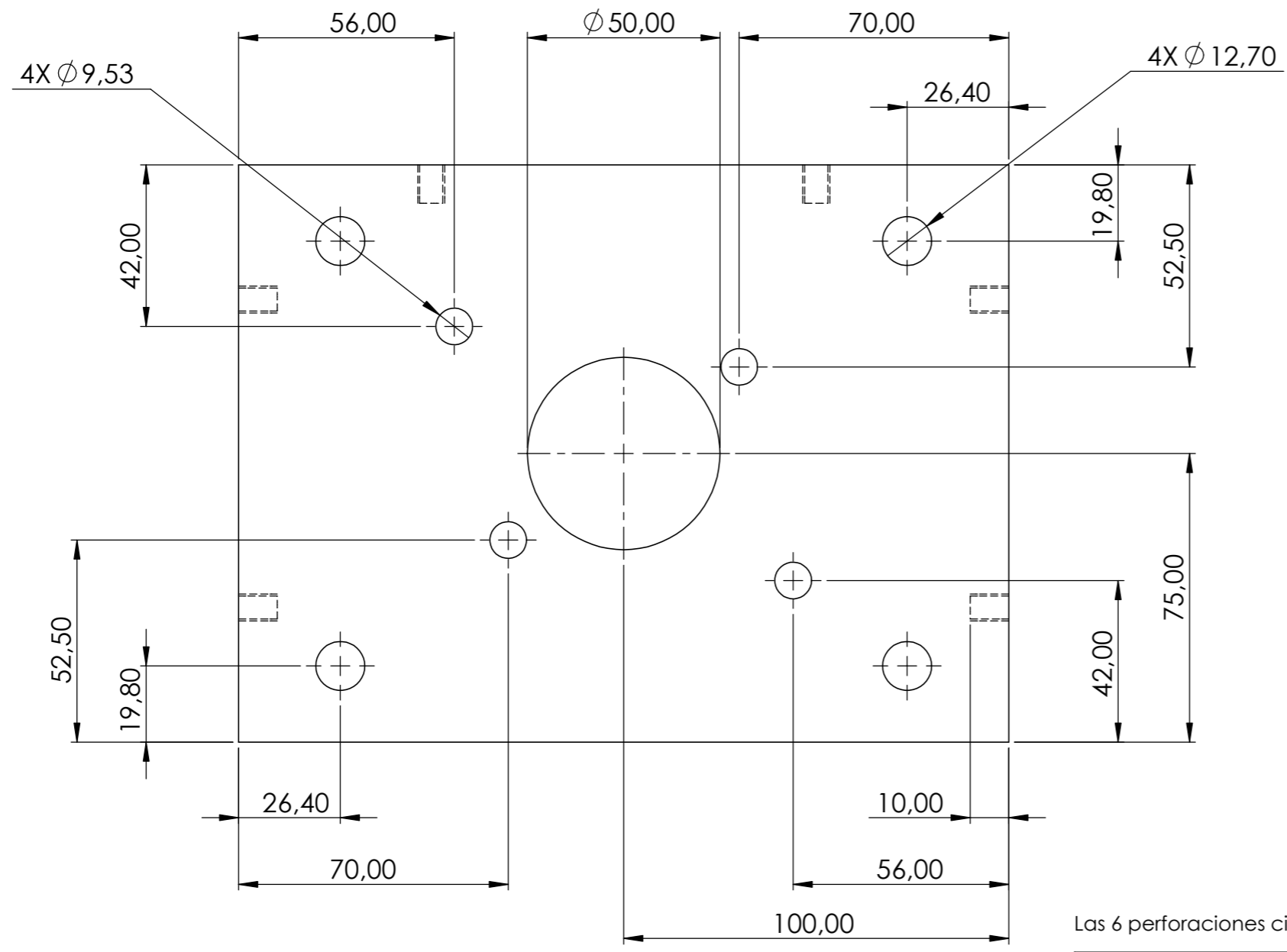
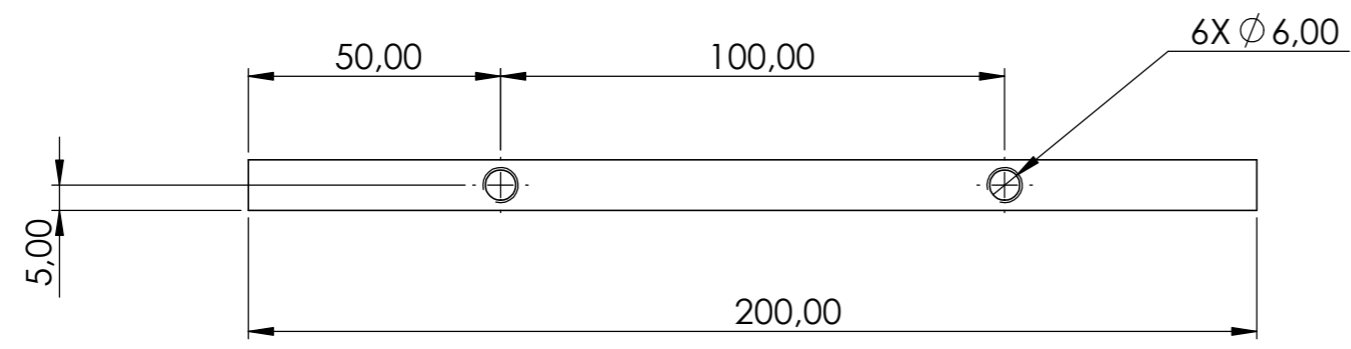
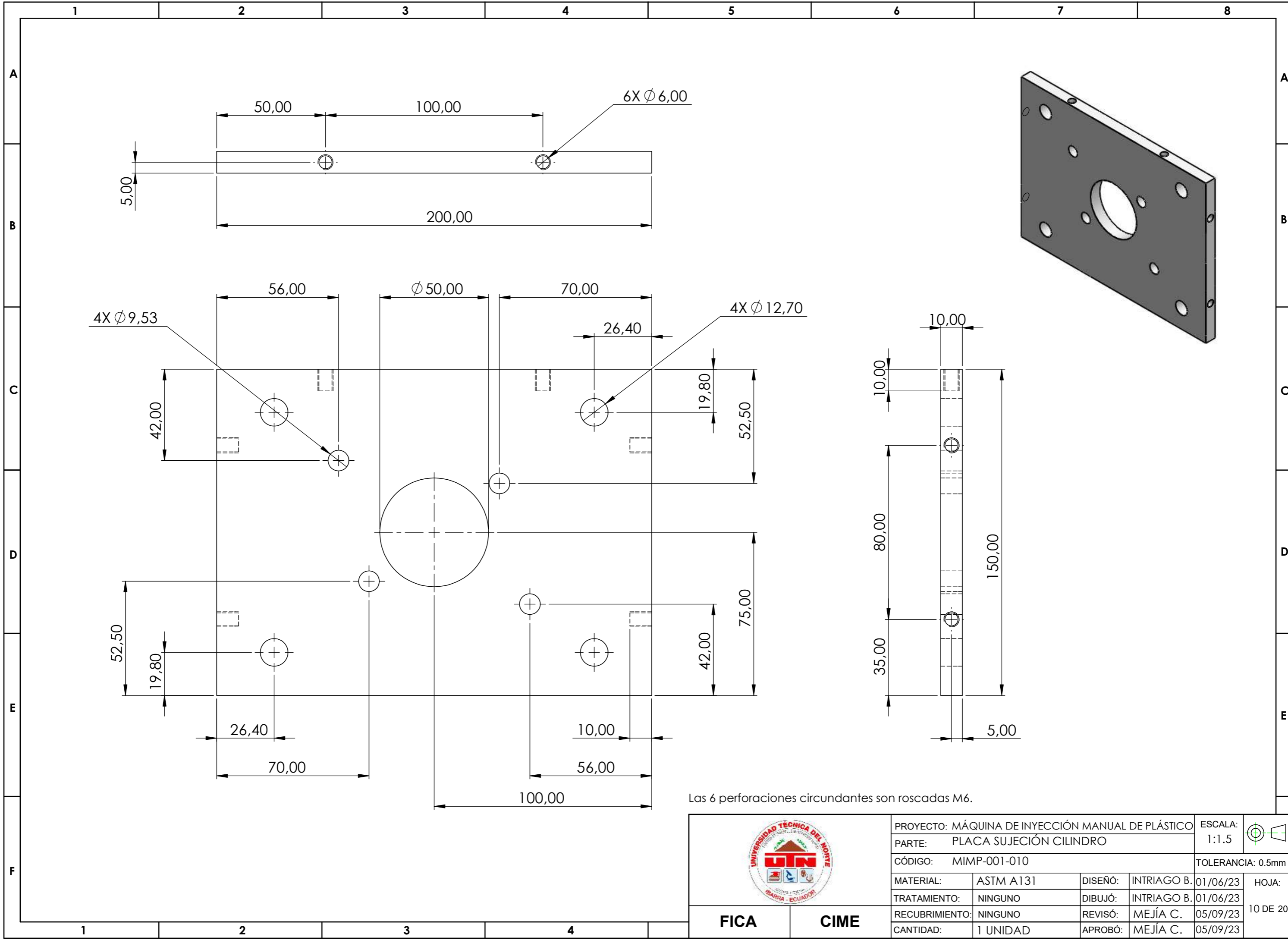


	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: PLACA DE UNIÓN Y SUJECIÓN				1:1.5	
	CÓDIGO: MIMP-001-008				TOLERANCIA: 0.5mm	
	MATERIAL:	ASTM A131	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:
	TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	8 DE 20
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA						CIME



Las perforaciones laterales son roscadas M8

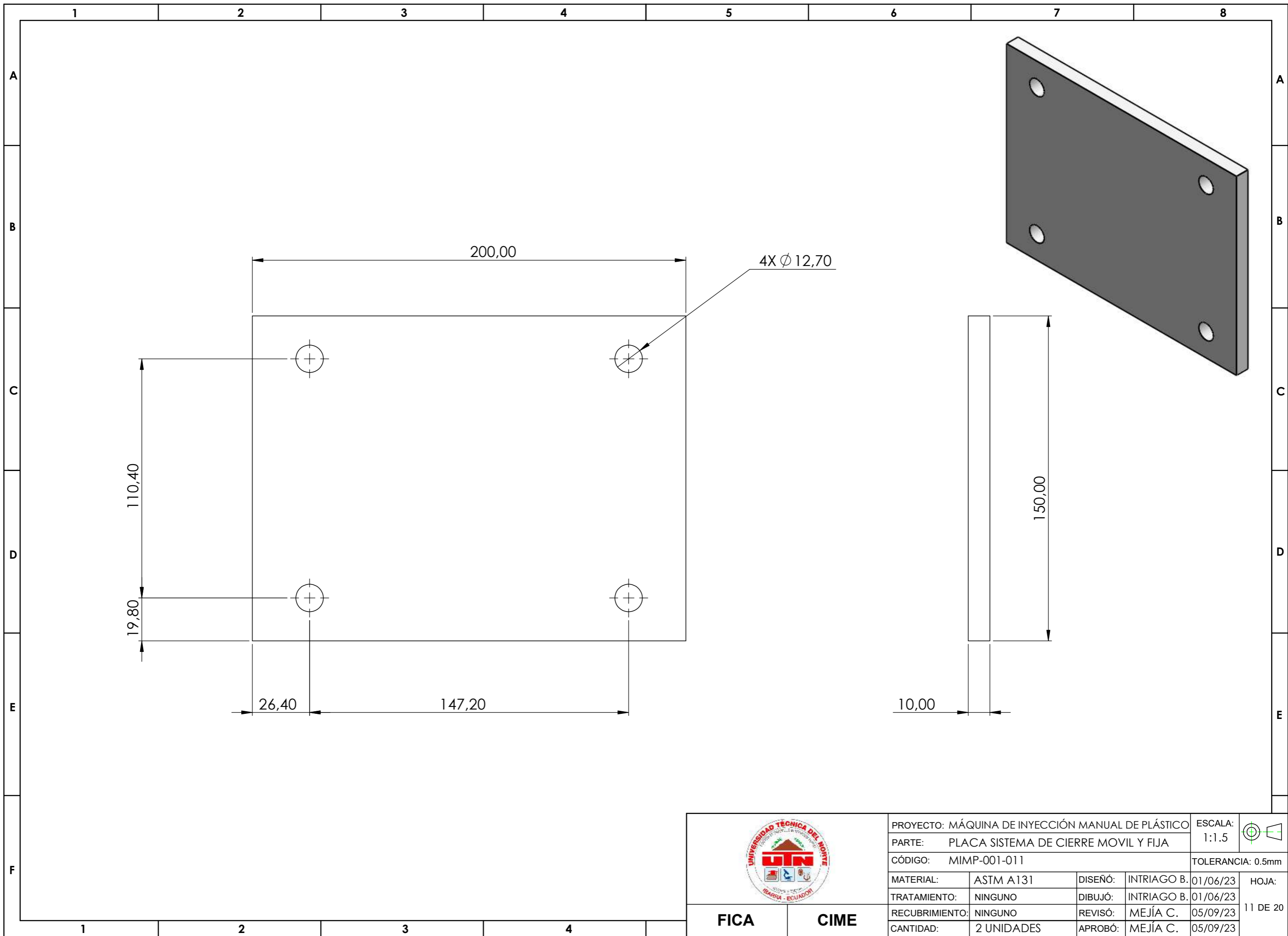
	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: PLACA SISTEMA INYECTOR				1:1.5	
CÓDIGO: MIMP-001-009				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	ASTM A 131	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	09 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					



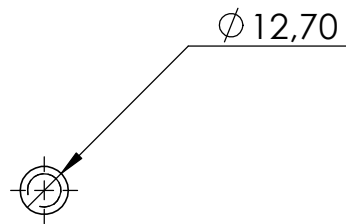
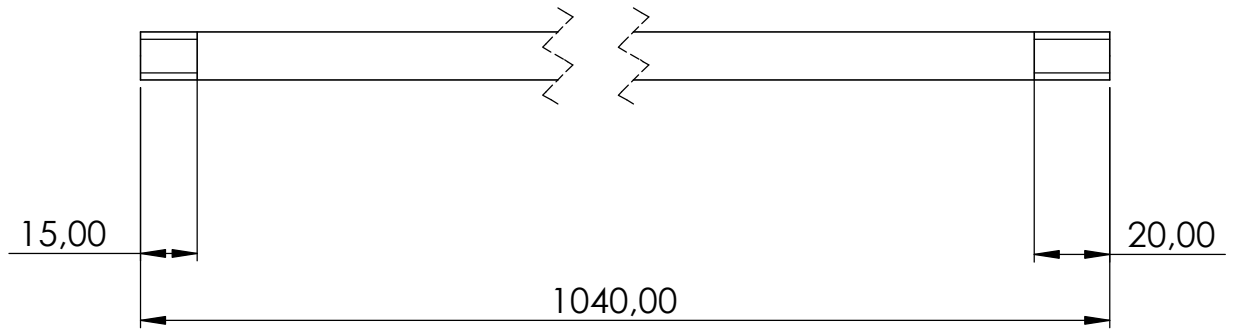
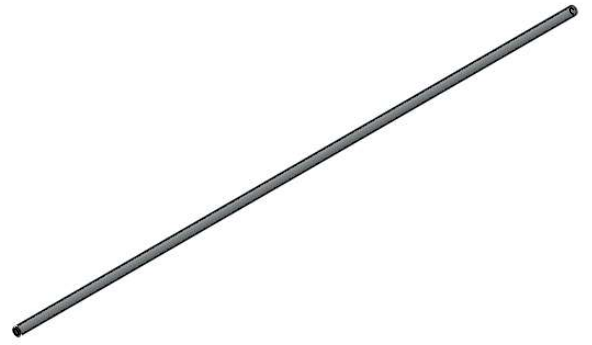
Las 6 perforaciones circundantes son roscadas M6.

	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: PLACA SUJECIÓN CILINDRO				1:1.5	
CÓDIGO: MIMP-001-010				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	ASTM A131	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	10 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		

FICA CIME

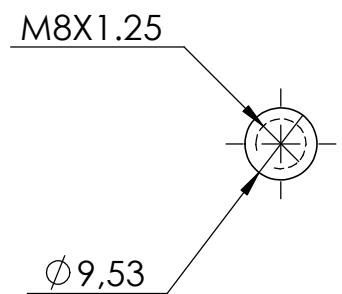
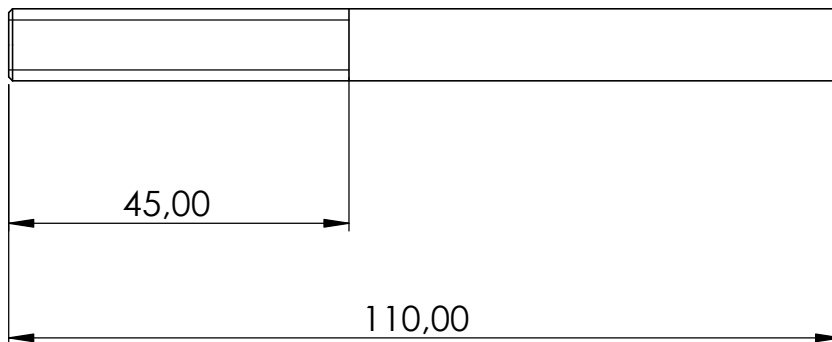
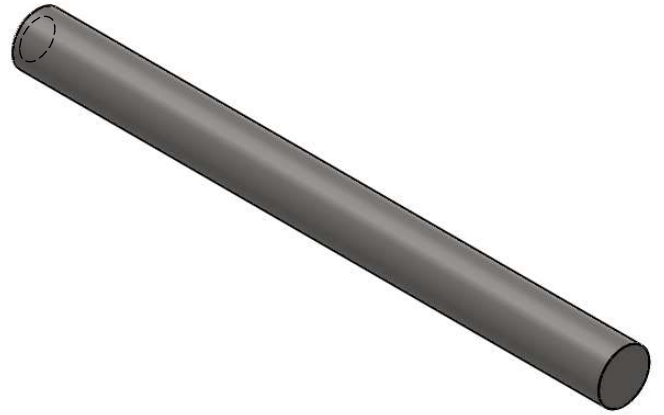


FICA CIME		PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO			ESCALA: 1:1.5	
		PARTE: PLACA SISTEMA DE CIERRE MOVIL Y FIJA			TOLERANCIA: 0.5mm	
		CÓDIGO: MIMP-001-011				
MATERIAL:	ASTM A131	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	11 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	2 UNIDADES	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		



Las roscas de los extremos son de 1/2 pulgada.

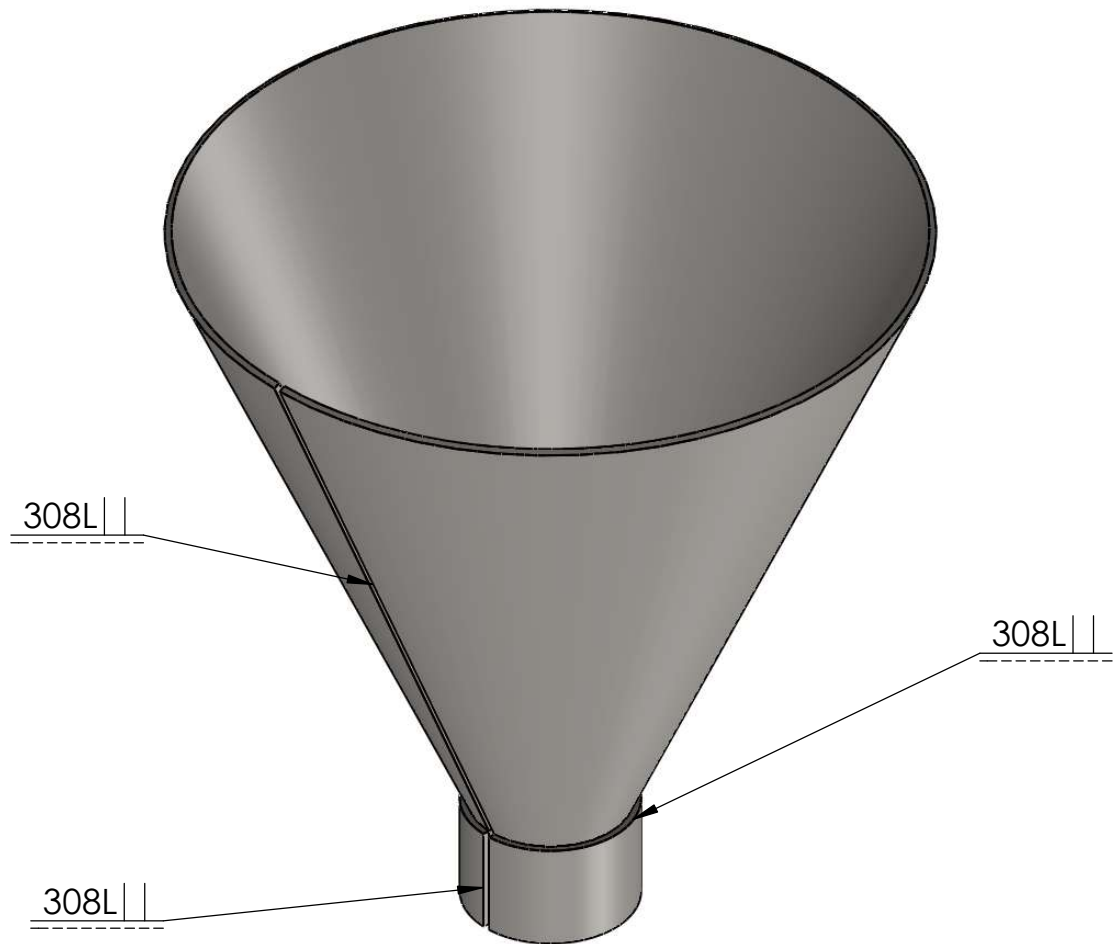
	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO			ESCALA: 1:2	
	PARTE: BARRA GUÍA				
	CÓDIGO: MIMP-001-012			TOLERANCIA: 0.05	
	MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23	
CANTIDAD:	4 UNIDADES	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23	
FICA	CIME				



PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO		ESCALA: 1:1	
PARTE: PASADOR GUIA MOLDE		TOLERANCIA: 0.05	
CÓDIGO: MIMP-001-013			
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B. 01/06/23
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B. 01/06/23
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C. 05/09/23
CANTIDAD:	2 UNIDADES	APROBÓ:	MEJÍA C. 05/09/23

FICA

CIME

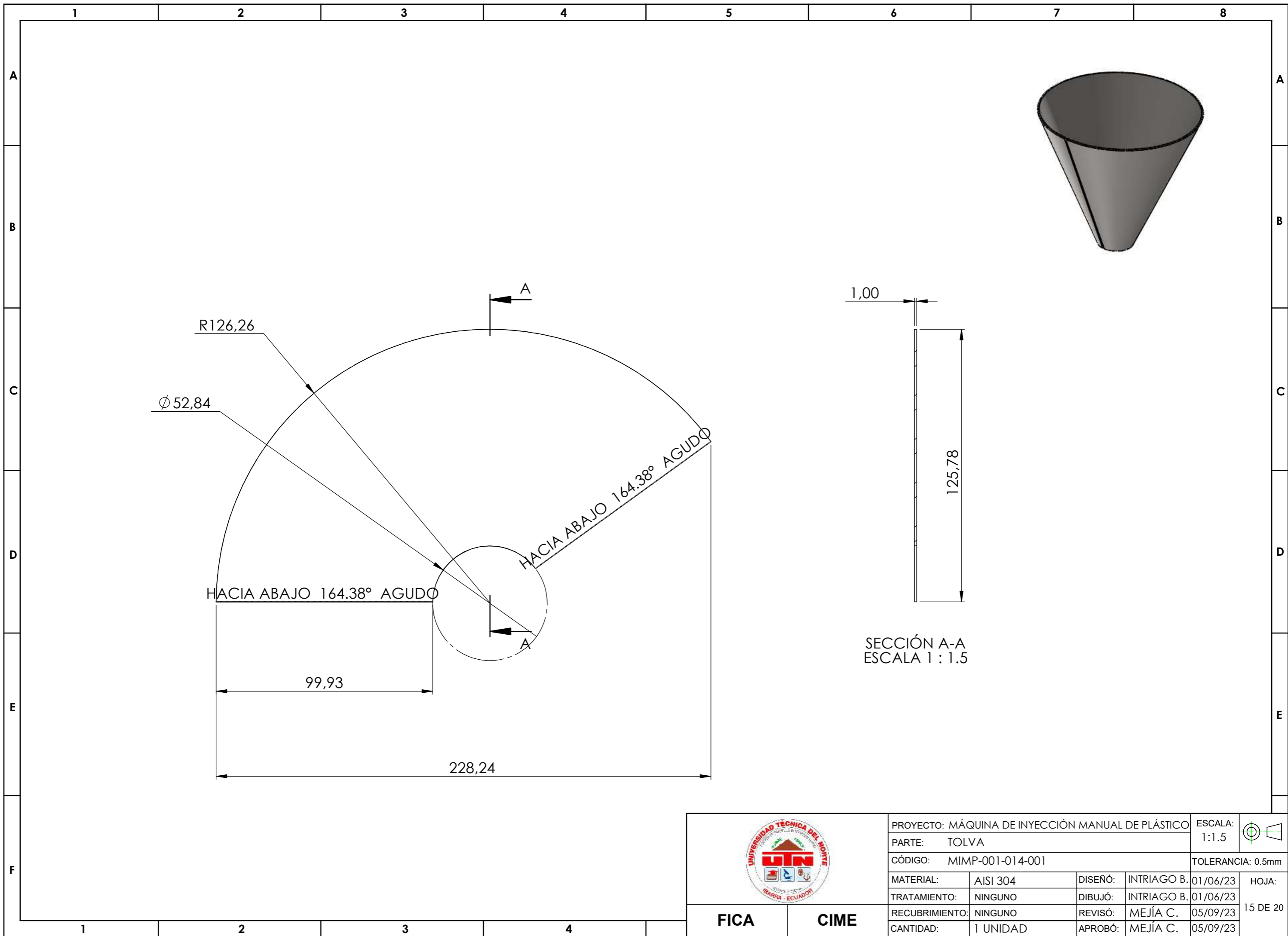


PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO		ESCALA: 1:1	
PARTE: SUBENSAMBLE TOLVA		TOLERANCIA: 0.05	
CÓDIGO: MIMP-001-014			
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B. 01/06/23
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B. 01/06/23
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C. 05/09/23
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C. 05/09/23

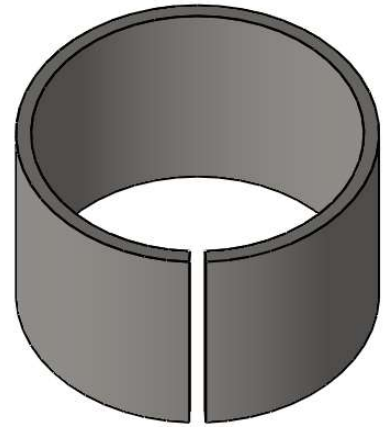
FICA

CIME

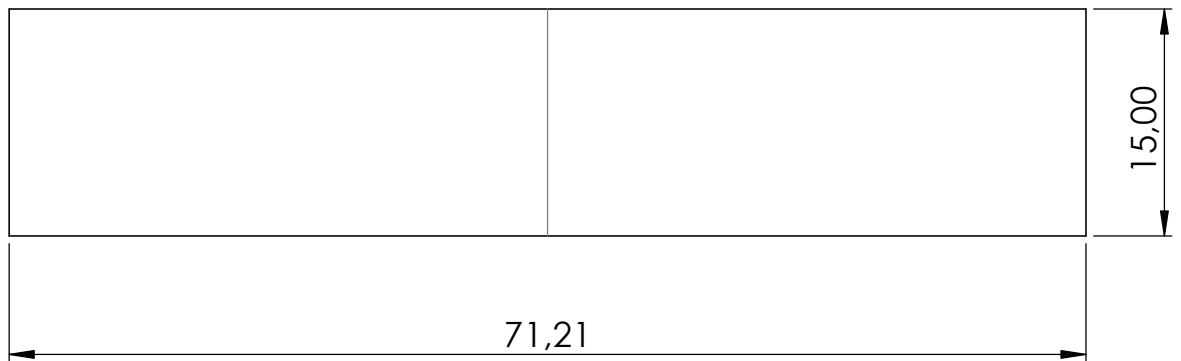
HOJA:
14 DE 20



	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: TOLVA				1:1.5	
CÓDIGO: MIMP-001-014-001					TOLERANCIA: 0.5mm	
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA: 15 DE 20	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					

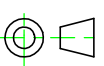


HACIA ARRIBA 354.79° R 11



PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO

ESCALA:
2:1



PARTE: TUBO PARA TOLVA

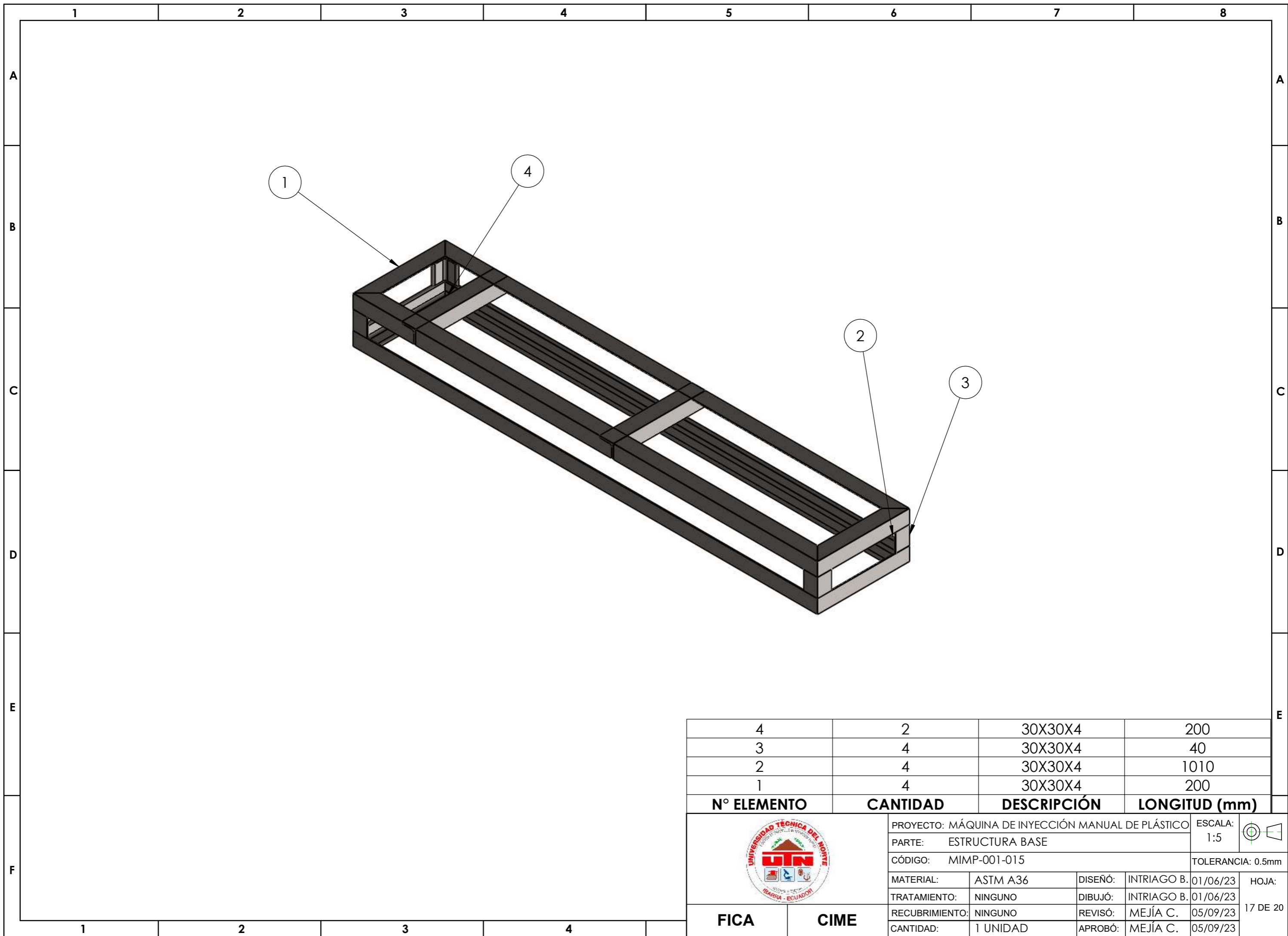
CÓDIGO: MIMP-001-014-002

TOLERANCIA: 0.05

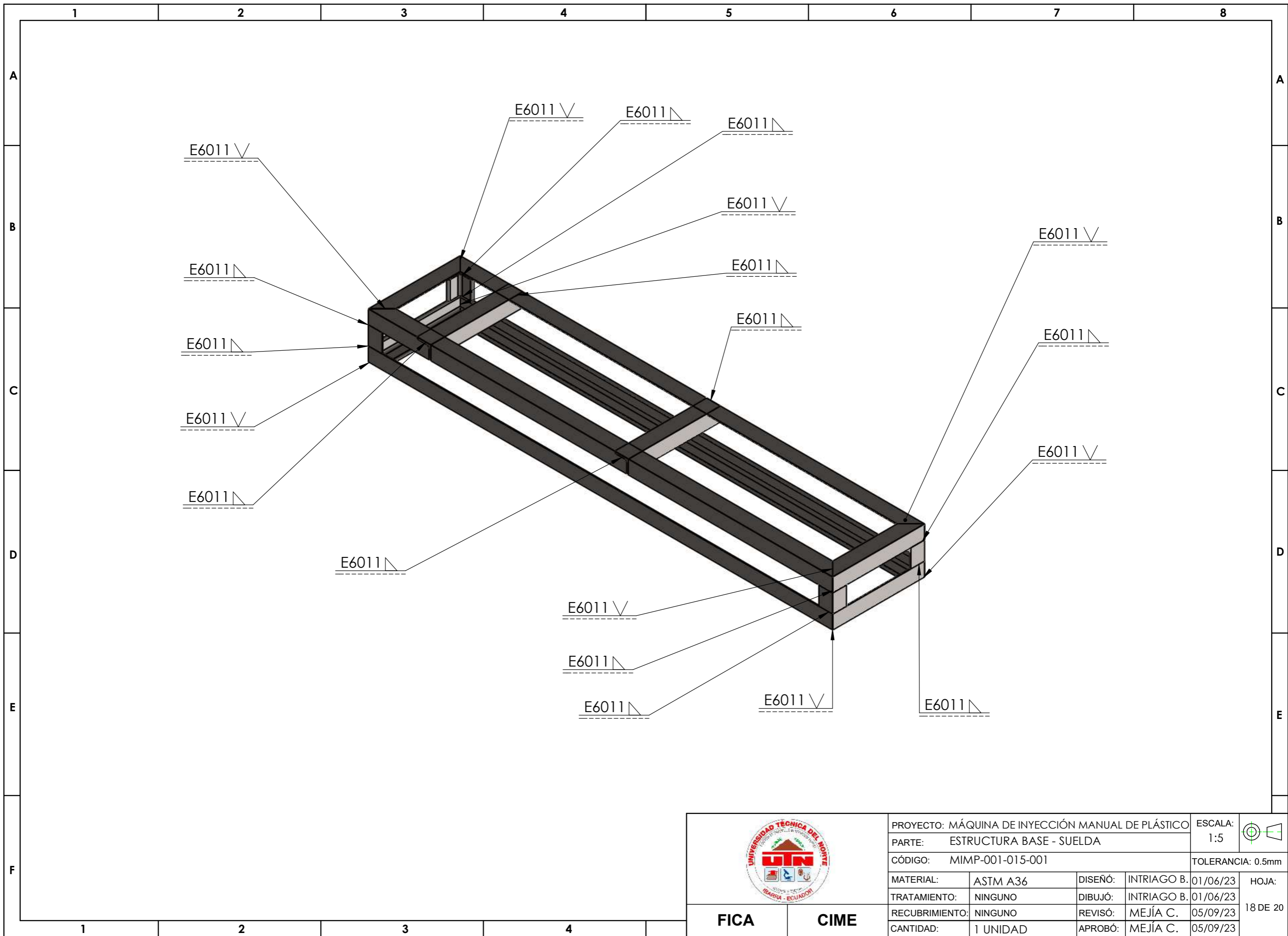
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA: 16 DE 20
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23	
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23	

FICA

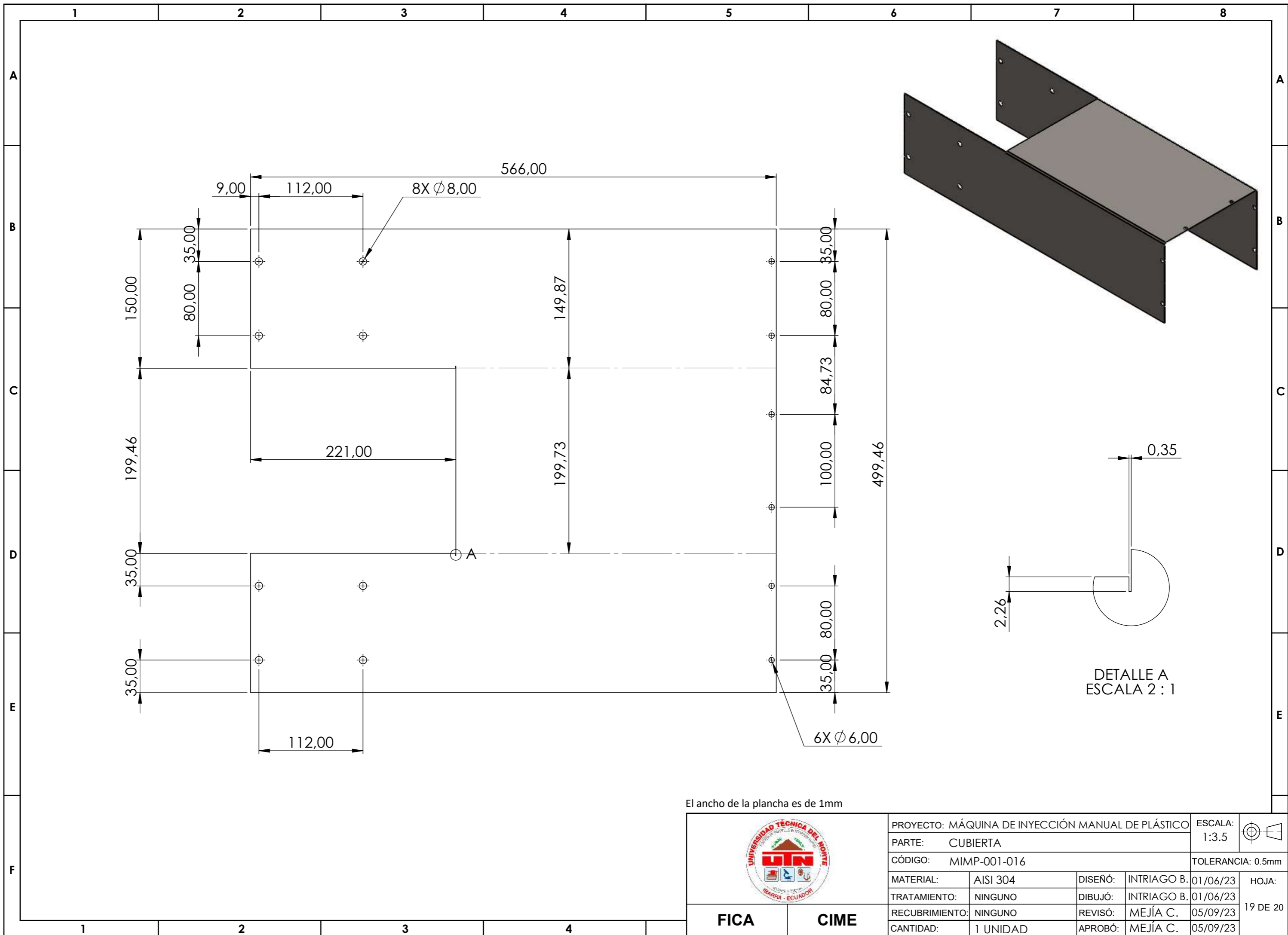
CIME



4	2	30X30X4	200
3	4	30X30X4	40
2	4	30X30X4	1010
1	4	30X30X4	200
N° ELEMENTO	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN	LONGITUD (mm)
		PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO	
		PARTE: ESTRUCTURA BASE	
		CÓDIGO: MIMP-001-015	ESCALA: 1:5
		MATERIAL: ASTM A36	DISEÑO: INTRIAGO B. 01/06/23
		TRATAMIENTO: NINGUNO	DIBUJÓ: INTRIAGO B. 01/06/23
		RECUBRIMIENTO: NINGUNO	REVISÓ: MEJÍA C. 05/09/23
		CANTIDAD: 1 UNIDAD	APROBÓ: MEJÍA C. 05/09/23
		TOLERANCIA: 0.5mm	
FICA		CIME	
		HOJA: 17 DE 20	

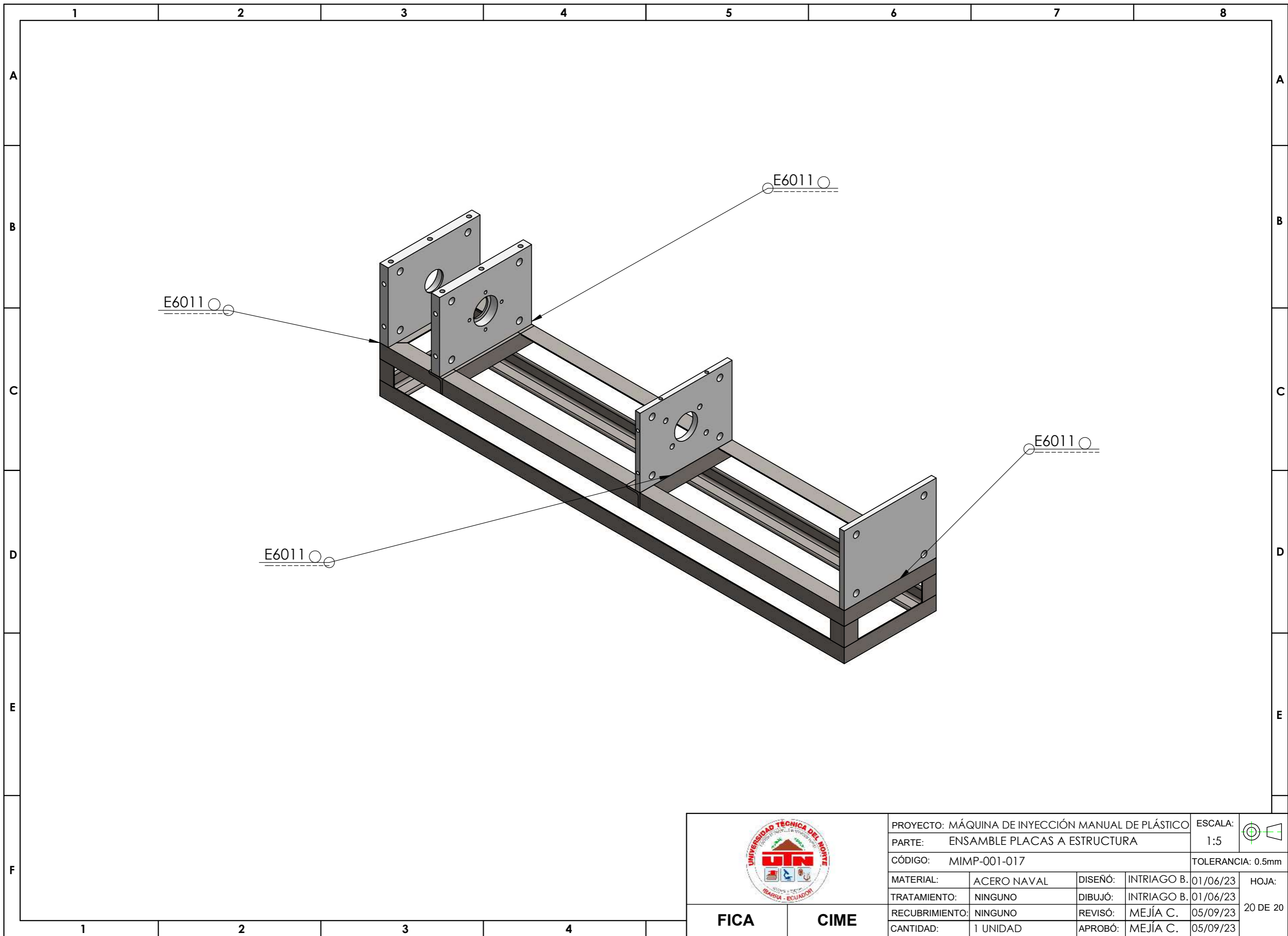


	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA: 1:5
	PARTE: ESTRUCTURA BASE - SUELDA				TOLERANCIA: 0.5mm
CÓDIGO: MIMP-001-015-001					
MATERIAL:	ASTM A36	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA: 18 DE 20
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23	
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23	
FICA		CIME			



El ancho de la plancha es de 1mm

	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA: 1:3.5	
	PARTE: CUBIERTA					
CÓDIGO: MIMP-001-016				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	AISI 304	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA: 19 DE 20	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23		
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					



	PROYECTO: MÁQUINA DE INYECCIÓN MANUAL DE PLÁSTICO				ESCALA:	
	PARTE: ENSAMBLE PLACAS A ESTRUCTURA				1:5	
CÓDIGO: MIMP-001-017				TOLERANCIA: 0.5mm		
MATERIAL:	ACERO NAVAL	DISEÑO:	INTRIAGO B.	01/06/23	HOJA:	
TRATAMIENTO:	NINGUNO	DIBUJÓ:	INTRIAGO B.	01/06/23	20 DE 20	
RECUBRIMIENTO:	NINGUNO	REVISÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
CANTIDAD:	1 UNIDAD	APROBÓ:	MEJÍA C.	05/09/23		
FICA	CIME					