



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ARAGÓN

DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE
INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE
CÁMARA HORIZONTAL

T E S I S

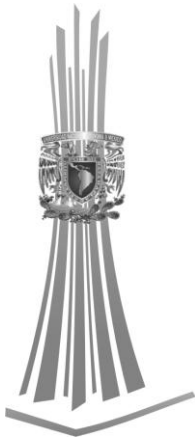
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
PRESENTAN:

ANA VIRGINIA GONZÁLEZ LOZADA (Área Industrial)

SAÚL PERALTA NARVÁEZ (Área Mecánica)

ASESORADOS POR EL M. en C. CASSIODORO DOMÍNGUEZ CRISANTO

MÉXICO, 2010





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Para Laura y Honorio,

*paladines perínclitos de mi ventura que
con centinela presencia, actitud indulgente,
exultación contagiosa, optimismo exuberante,
opinión ponderada, abnegación inconmensurable,
voz parsimoniosa, mirar impasible, desvelo sincero
e incondicional afecto, matizan mi estampa.
Porque son mi ejemplo, mi motivo, mi futuro.*

*Papás, mi aportación a esta tesis...
la dedico a ustedes.*

Saúl Peralta Narváez

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	v
CAPÍTULO I EL DISEÑO MECÁNICO Y LOS PLÁSTICOS	1
I.1 El Diseño	1
I.1.1 Proceso de diseño	1
I.1.2 Estrategias de diseño	2
I.1.3 Criterios para diseñar	5
I.1.4 Herramientas de computo para el diseño de maquinas	5
I.2 Los Plásticos	6
I.2.1 Historia de los plásticos	7
I.2.2 Clasificación de los plásticos	8
I.2.3 Tecnologías de transformación de los plásticos	9
I.2.4 Propiedades de los termoplásticos	10
CAPÍTULO II MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO	13
II.1 Antecedentes	13
II.2 Sistemas que Conforman la Máquina de Inyección	14
II.2.1 Sistema de inyección	14
II.2.2 Sistema de cierre	16
II.2.3 Sistema de potencia	17
II.3 Clasificación de las Inyectoras	18
II.3.1 Por la construcción	18
II.3.2 Por el mecanismo de inyección	20
II.4 Proceso de Inyección	21
CAPÍTULO III DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN	23
III.1 Parámetros del Sistema de Inyección	23
III.5 Husillo	26
III.3 Cámara de Plastificación	29
III.4 Boquilla	30
III.5 Válvula Antirretorno	32
III.6 Engranaje	33
III.7 Rodamientos	38
III.8 Brida	38
III.9 Placas del Barril y de los Rodamientos	41
III.10 Ensamble del Sistema de Inyección	43

CAPÍTULO IV	DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIERRE	45
IV.1	Placa de la Boquilla	46
IV.2	Placa de Cierre	47
IV.3	Placa del Cilindro	48
IV.4	Columnas Guía	49
IV.5	Apoyo del Vástago	50
IV.6	Expulsores	51
IV.7	Ensamble del Sistema de Cierre	51
	CONCLUSIONES	53
	ANEXO DE PLANOS	54
	Husillo	55
	Cámara de Plastificación	56
	Boquilla	57
	Válvula Antirretorno	58
	Anillo	59
	Engrane	60
	Piñón	61
	Brida	62
	Placa del Barril	63
	Placa de los Rodamientos	64
	Placa de la Boquilla	65
	Placa de Cierre	66
	Placa del Cilindro	67
	Columna Guía	68
	Apoyo del Vástago	69
	Expulsor	70
	Ensamble del Sistema de Inyección	71
	Explosivo del Sistema de Inyección	72
	Ensamble del Sistema de Cierre	73
	Explosivo del Sistema de Cierre	74
	Ensamble de la Inyectora	75
	REFERENCIAS	76

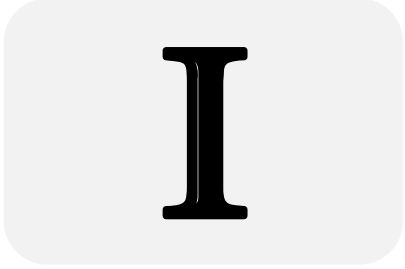
INTRODUCCIÓN

La concepción de esta tesis surge de la carencia de una máquina inyectora para el moldeo de plástico en la FES Aragón. Con la inyectora diseñada, una vez sea fabricada, se pretende cubrir la ineludible necesidad para los educandos de Ingeniería Mecánica e Ingeniería Industrial de comprender el proceso de moldear el plástico mediante su inyección. Dicha tecnología de procesamiento es importante, pues, en la industria del plástico, el moldeo por inyección ocupa casi una tercera parte.

El objetivo ha sido diseñar los sistemas de inyección y cierre de una máquina didáctica de inyección de plástico de cámara horizontal, utilizando paralelamente la literatura disponible y los programas de computadora. Como consecuencia de que el 90 por ciento de todas las resinas inyectadas son termoplásticos, la máquina ha sido diseñada para trabajar con esta clase de polímeros.

La presente tesis cuenta con cuatro capítulos. Los dos primeros proporcionan una visión global de lo que es el diseño, los plásticos con sus propiedades, los tipos de inyectoras, y el proceso de moldeo por inyección. Los últimos dos capítulos abordan el diseño de cada elemento en el sistema de inyección y sistema de cierre de la máquina.

Cabe mencionar que en la redacción de esta tesis se usa de forma indistinta: cámara, barril y cañón de plastificación para el mismo elemento, así como tornillo sin fin y husillo.



I

EL DISEÑO MECÁNICO Y LOS PLÁSTICOS

I.1 EL DISEÑO MECÁNICO

El diseño en ingeniería es el proceso de idear un sistema, componente o procedimiento aplicando diversas técnicas y principios científicos con el objeto de satisfacer necesidades. Es un proceso de toma de decisiones en el que las ciencias básicas, las matemáticas y las ciencias de la ingeniería se aplican para convertir recursos de forma óptima a fin de cumplir un objetivo estipulado. Entre los elementos fundamentales del proceso de diseño se encuentran: establecimiento de objetivos y criterios, síntesis, análisis, construcción, ensayos y evaluación.

El diseño mecánico consiste en construir dispositivos que involucran fuerza y movimiento. Dichos dispositivos a producir deben ser útiles, seguros, eficientes y prácticos. Deben ser diseñados con base en normas y estándares vigentes.

I.1.1 PROCESO DE DISEÑO

Se define como una guía general de los pasos a seguir para dar dirección a la solución de problemas. Los diseñadores emplean un gran número de combinaciones de pasos y procedimientos de diseño. El seguir las reglas estrictas del diseño no asegura el éxito del proyecto, aunque, sí proporciona un orden en las ideas, resultados organizados y útiles. El proceso de diseño no es lineal y una característica primordial es la obligada interactividad en sus diversas etapas, entre las que se incluyen:

a) Reconocer la necesidad

Es importante, en cualquier actividad constructiva, dar una definición clara de los objetivos para así tener una meta hacia la cual dirigir todos los esfuerzos. La identificación de la necesidad de un diseño se puede fundar en datos de varias fuentes:

- Estadísticas
- Entrevistas
- Datos históricos
- Observaciones personales
- Datos experimentales
- Proyecciones de conceptos actuales

**b) Delimitar el problema**

El objetivo de esta etapa es obtener un entendimiento conceptual del problema a resolver. Debe estar identificado cualitativa y cuantitativamente, ya que de la definición clara y precisa del problema, es decir, de conocer exactamente lo que se requiere, dependen en gran medida las decisiones que se toman para llegar a la solución.

Definir es establecer los límites y el alcance de la solución que está buscándose. Es indicar lo que se desea hacer y a dónde se quiere llegar.

c) Proponer soluciones

Es la etapa del proceso donde las ideas comienzan a fluir con el objeto de resolver eficaz y de la manera más eficiente el problema con base en la experiencia y conocimientos actuales, empleando ingenio y creatividad; de aquí que una idea sigue a la otra. Para alcanzar un máximo de eficacia en la deliberación se señalan cuatro principios elementales:

- No es permitida la crítica (los comentarios negativos deben dejarse para después).
- Es bienvenida la espontaneidad (mientras más original sea la idea, mejor).
- Estimular la cantidad (cuanto mayor sea el número de ideas, mayor probabilidad de éxito).
- Estimular la combinación y mejora de ideas (se sugiere integrar las ideas a otras aún más nuevas).

d) Evaluar alternativas

La evaluación de alternativas consiste en la recolección de ideas preliminares y en el análisis de restricciones físicas y geométricas. Éstas se someten a una selección donde se rechazan las ideas menos viables y se elaboran planos a escala con la finalidad de poseer mayor semejanza con la realidad.

e) Decidir sobre una solución

Para la decisión sobre una solución se cuenta ya con la información necesaria para rechazar o continuar con el desarrollo del diseño. De ser rechazado el diseño, no quiere decir que se realizó una mala investigación; por el contrario, se tiene la información por la cual el diseño no es viable y con esto se evita realizar nuevamente un trabajo improductivo.

f) Implementar

El último paso del diseñador consiste en preparar y supervisar los planos y especificaciones finales con los que se construirá el diseño. Al presentar el diseño para su realización deben tenerse en cuenta los detalles de fabricación, métodos de ensamblaje, materiales utilizados y otras especificaciones. Durante esta etapa, el diseñador puede hacer modificaciones de poca importancia que mejoren el diseño; sin embargo, estos cambios deben ser insignificantes a menos que aparezca un concepto enteramente nuevo. En el caso de que aparezca un concepto nuevo, el proceso de diseño debe retornar a sus etapas iniciales para que el nuevo concepto sea desarrollado, aprobado y presentado.

I.1.2 ESTRATEGIAS DE DISEÑO

Cuando un método de diseño es suficiente para la solución de un problema se le da el nombre de estrategia, pero muchos métodos resultan insuficientes para la solución total del problema y se clasifican entonces como acciones componentes de una estrategia. Se realiza a continuación una revisión de las estrategias acostumbradas de diseño:



a) Estrategia lineal

Esta estrategia está compuesta de secuencias de acciones. Como es apreciable en el diagrama 1-1, cada acción depende de la salida de la anterior siendo independiente de las salidas de las últimas etapas. La estrategia lineal es más útil para la modificación de un diseño ya existente que para la creación de un nuevo producto.



Diagrama 1-1 Estrategia lineal.

b) Estrategia cíclica

En esta estrategia si una determinada etapa no satisface las expectativas se retrocede a una etapa previa para efectuar las modificaciones o mejoras. El diagrama 1-2 ilustra el flujo de la estrategia cíclica. Algunas veces existirán dos o más circuitos de realimentación dentro de cada etapa.

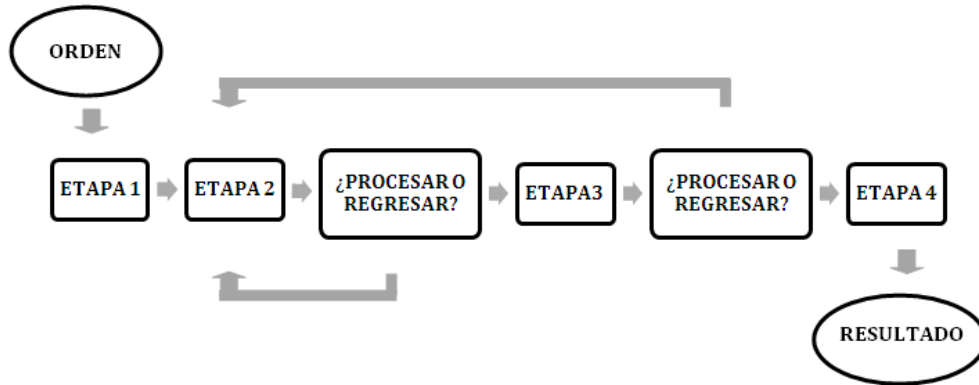


Diagrama 1-2 Estrategia cíclica.

c) Estrategia de ramificación

La estrategia de ramificación es posible cuando las acciones son independientes entre sí. Como en el diagrama 1-3, se crean etapas paralelas con la ventaja de incrementar el número de personas que trabajan sobre el mismo problema a la vez, o etapas alternativas que permiten algunas adaptaciones de la estrategia de acuerdo a los resultados de las etapas previas.

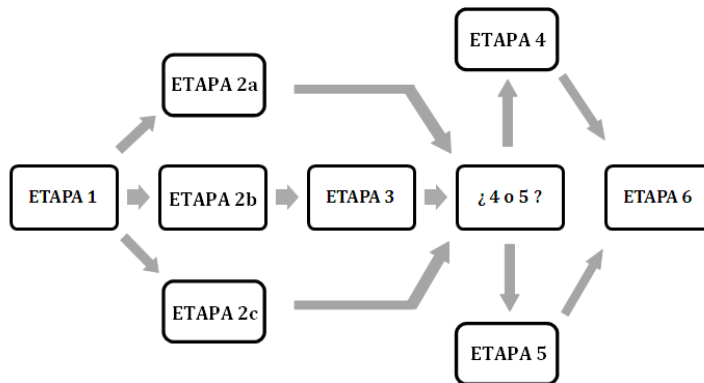


Diagrama 1-3 Estrategia de ramificación.

Esta estrategia puede entenderse como el funcionamiento del diseño que, debidamente documentada, constituye una magnífica fuente para posteriores revisiones y nuevas creaciones (lo que implica un ahorro en tiempo y dinero en la exploración del espacio de diseño), y que en su comparación las refina y sintetiza en la opción más deseable.



d) Estrategia adaptativa

El diagrama 1-4 muestra la estrategia. Al comienzo sólo se decide la primera acción. La elección de las acciones siguientes está influenciada por el resultado de la acción anterior. En principio ésta es la estrategia más inteligente, ya que el modelo de investigación está siempre guiado por la mejor información factible. El mayor inconveniente es su incapacidad para controlar el costo y el tiempo de diseño.

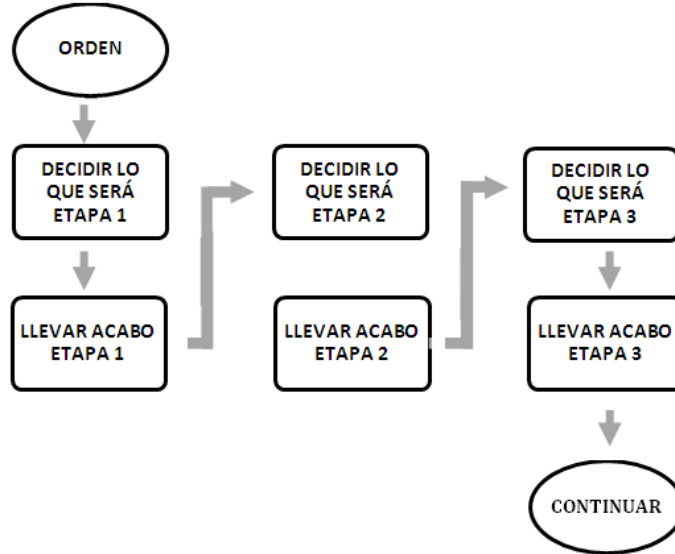


Diagrama 1-4 Estrategia adaptativa.

e) Estrategia incremental

La estrategia se aprecia en el diagrama 1-5. Es una segura aunque modesta versión de la estrategia adaptativa. Esta estrategia conservadora es la base de diseño tradicional, particularmente en las industrias basadas en la artesanía, y es también la base de muchos procedimientos de optimización automática.

Efectivamente, esta idea también tiene cabida en el proceso de diseño centrado en el usuario, cuando en sus etapas tempranas, las iteraciones sobre un prototipo se traducen en un incremento de la funcionalidad del mismo. Como consecuencia, antes de dar comienzo a la implementación tecnológica del sistema representado por el prototipo se tendrá, en la figura de éste, una garantía de que los requerimientos del cliente han sido considerados.

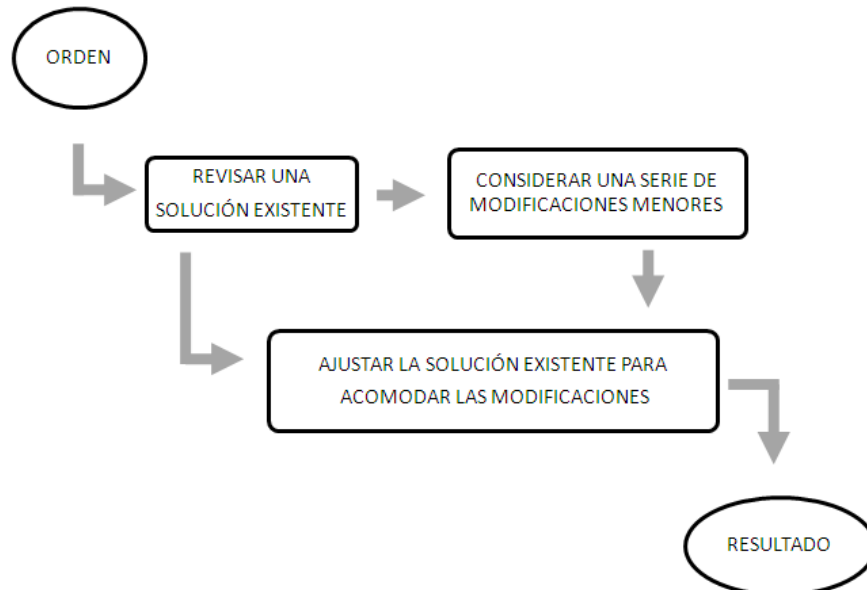


Diagrama 1-5 Estrategia incremental.

**f) Estrategia fortuita**

Se trata de una estrategia sin ningún tipo de planeación. Esta estrategia es adecuada cuando se requiere la obtención de muchos puntos iniciales para investigaciones independientes sobre un amplio campo de incertidumbre.

Cada etapa es elegida independiente de las otras, para de esta manera, hacer la investigación lo más objetiva posible. Lo anterior es sintetizado en el diagrama 1-6.

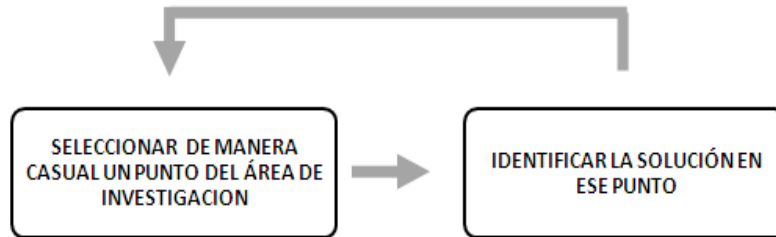


Diagrama 1-6 Estrategia fortuita.

I.1.3 CRITERIOS PARA DISEÑAR

En el proceso de diseño tradicional se consideran principalmente aspectos de rigidez, funcionalidad y costo. Dentro de este ámbito es necesario hacer un análisis completo de los elementos mecánicos críticos para determinar los materiales a utilizar, dimensiones y características superficiales. La siguiente no pretende ser una lista de las consideraciones de diseño, aunque puede ser una guía útil durante el proceso.

- a) Consideraciones tradicionales.
 - Para todo el cuerpo de la parte (resistencia, peso, tamaño y forma).
 - Para las superficies de la parte (desgaste, lubricación, corrosión, fricción, calor generado por fricción, costos).
- b) Consideraciones modernas.
 - Seguridad.
 - Ecología (tierra, aire, agua, contaminantes, temperatura, conservación de recursos, ruido).
 - Calidad de vida.
- c) Consideraciones diversas.
 - Confiabilidad y facilidad de conservación técnica (mantenimiento). Éstas cada vez tienen mayor aceptación como factores importantes en el diseño.
 - Estética.

I.1.4 HERRAMIENTAS DE CÓMPUTO PARA EL DISEÑO DE MÁQUINAS

El diseño cuenta con el apoyo de programas de cómputo que facilitan el trabajo. El Diseño Asistido por Computadora es un proceso conocido por las siglas CAD (Computer Aided Design) que mejora la fabricación, desarrollo y diseño de los productos con la ayuda de computadoras. Con este proceso se pretende fabricar productos con mayor precisión, a un menor precio, sin errores humanos y mucho más rápido que haciéndolo solamente por el hombre.

El CAD nos muestra el proceso completo de fabricación de un determinado producto con todas y cada una de sus características. Todo lo anterior se graba en la computadora en modelos bidimensionales o tridimensionales. Con esto el diseñador puede con posterioridad mejorarlos o compartirlos con otros para perfeccionar su diseño.

También mediante Ingeniería Asistida por Computadora, CAE (Computer Aided engineering), se analiza y simula el comportamiento en condiciones de operación del producto diseñado. Los programas CAE utilizan el Método de Elemento Finito (FEM, Finite Element Method).



El FEM es una técnica numérica que divide el modelo en numerosas piezas pequeñas llamadas elementos, que reemplazan un problema complejo por muchos problemas que son resueltos de manera simultánea. Los elementos comparten puntos comunes denominados nodos. El proceso de división del modelo en pequeñas piezas se nombra mallado. El análisis que utiliza FEM se llama Análisis de Elementos Finitos.

Los CAE son la tecnología que analiza diversos tipos de estudios, entre los que destacan:

- a) **Estudios estáticos**, en los cuales se calculan los desplazamientos en cada nodo, posteriormente las deformaciones unitarias y finalmente los esfuerzos. Los estudios estáticos suponen que todas las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas; a continuación, las cargas permanecen constantes.
- b) **Estudios dinámicos**, que calculan la respuesta de un modelo originada por cargas que se aplican de forma repentina o cambios con el tiempo o la frecuencia, y que muchas veces inducen fuerzas inerciales y/o de amortiguación significativas. Los objetivos de estos estudios son diseños para funcionar sin fallos en entornos dinámicos y la reducción de efectos de vibración.

Es posible, además, con la Dinámica de Fluidos Computacional (o CFD, Computational Fluid Dynamics), mediante métodos numéricos y algoritmos, resolver y analizar las ecuaciones físicas que se derivan de los principios fundamentales: conservaciones de la masa, momento y energía, empleadas en la dinámica de fluidos para obtener los campos de velocidad, temperatura y presión en el fluido estudiado.

Se vaticina que en el porvenir cesará cabalmente la fabricación de gravosos simuladores, ya que todo será constatado al amparo de computadores.

I.2 LOS PLÁSTICOS

En la actualidad los plásticos están lejos de ser considerados como simples sustitutos de los tradicionales materiales metálicos y los materiales aislantes. El uso de los plásticos abarca muchos sectores de la actividad industrial, como la electromecánica, las telecomunicaciones y los transportes, donde su papel como materiales innovadores de ingeniería ha sido ampliamente probado y universalmente demostrado.

Etimológicamente plástico deriva del griego *plastikos*, que se traduce como moldeable. Los polímeros, las moléculas básicas de los plásticos, se hallan presentes en estado natural en algunas sustancias vegetales y animales como el caucho, la madera y el cuero. En el ámbito de la moderna tecnología de los materiales, el grupo de los plásticos suele reducirse preferentemente a preparados sintéticos.

Los plásticos son polímeros orgánicos, grandes moléculas formadas por las uniones repetidas de una o varias moléculas. Las moléculas que se combinan para formar las moléculas de un polímero se denominan monómeros. El proceso mediante el cual cientos o miles de pequeñas moléculas de monómeros se enlazan entre sí para formar una molécula de polímero es una reacción de polimerización. El monómero es el reactivo original que se transforma químicamente en un polímero. Normalmente se utilizan indicadores, catalizadores, control de pH, calor y vacío para acelerar y controlar la reacción de polimerización y así optimizar el proceso de obtención. Además, es posible que dos o más monómeros sean polimerizados juntos en las proporciones deseadas dando lugar a copolímeros. El poliestireno es un material transparente y quebradizo. El polibutadieno es un hule sintético. Un copolímero de 25 % de poliestireno y 75% de polibutadieno es un hule con aplicaciones directas en alfombras, cojines, etcétera. Un copolímero con una proporción inversa de los polímeros anteriores nos da un copolímero con aplicaciones para gabinetes y muebles.



I.2.1 HISTORIA DE LOS PLÁSTICOS

El primer plástico se originó como resultado de un concurso realizado en 1860, cuando el fabricante estadounidense de bolas de billar Phelan and Collander ofreció una recompensa de 10,000 dólares a quien consiguiera un sustituto aceptable del marfil natural, destinado a la fabricación de bolas de billar. Una de las personas que compitieron fue el inventor norteamericano Wesley Hyatt, quien desarrolló un método de procesamiento a presión de la piroxilina, un nitrato de celulosa de baja nitración tratado previamente con alcanfor y una cantidad mínima de disolvente de alcohol. Si bien Hyatt no ganó el premio, su producto, patentado con el nombre de celuloide, se utilizó para fabricar diferentes productos. El celuloide tuvo notable éxito comercial a pesar de ser inflamable y de su deterioro al exponerlo a la luz.

El celuloide se fabricaba disolviendo celulosa, un hidrato de carbono obtenido de las plantas, en una solución de alcanfor y etanol. Con él se empezaron a fabricar distintos objetos como mangos de cuchillo, armazones de lentes y película cinematográfica. Sin éste, no hubiera podido iniciarse la industria cinematográfica a fines del siglo XIX. Puede ser ablandado repetidamente y moldeado de nuevo mediante calor, por lo que recibe el calificativo de termoplástico.

En 1909 el químico norteamericano de origen belga Leo Hendrik Baekeland (1863-1944) sintetizó un polímero de interés comercial a partir de moléculas de fenol y formaldehído. Este producto podía moldearse a medida que se formaba y resultaba duro al solidificar. No conducía la electricidad, era resistente al agua y los disolventes, pero fácilmente mecanizable. Se lo bautizó con el nombre de baquelita (o bakelita), el primer plástico totalmente sintético de la historia. Baekeland nunca supo que, en realidad, lo que había sintetizado era lo que hoy conocemos con el nombre de copolímero. A diferencia de los homopolímeros, que están formados por unidades monoméricas idénticas (por ejemplo, el polietileno), los copolímeros están constituidos, al menos, por dos monómeros diferentes.

Otra cosa que Baekeland desconocía es que el alto grado de entrecruzamiento de la estructura molecular de la baquelita le confiere la propiedad de ser un plástico termoestable, es decir, que puede moldearse apenas concluida su preparación. En otras palabras, una vez que se enfría la baquelita no puede volver a ablandarse. Esto la diferencia de los polímeros termoplásticos, que pueden fundirse y moldearse varias veces debido a que las cadenas pueden ser lineales o ramificadas pero no presentan entrecruzamiento.

Entre los productos desarrollados durante este periodo están los polímeros naturales alterados, como el rayón, fabricado a partir de productos de celulosa. Los resultados alcanzados por los primeros plásticos incentivaron a los químicos y a la industria a buscar otras moléculas sencillas que pudieran enlazarse para crear polímeros.

Al reemplazar en el etileno un átomo de hidrógeno por uno de cloruro se produjo el cloruro de polivinilo (PVC), un plástico duro y resistente al fuego, especialmente adecuado para cañerías de todo tipo. Al agregarles diversos aditivos se logra un material más blando, sustitutivo del caucho, comúnmente usado para ropa impermeable, manteles, cortinas y juguetes. Un plástico parecido al PVC es el politetrafluoretileno (PTFE), conocido popularmente como teflón y usado para rodillos y sartenes antiadherentes.

Otro de los plásticos desarrollados en los años 30 en Alemania fue el poliestireno (PS), un material muy transparente comúnmente utilizado para vasos, popotes y hueveras. El poliestireno expandido (EPS), una espuma blanca y rígida, es usado básicamente para embalaje y aislante térmico.

También en los años 30 se creó la primera fibra artificial, el nylon. Su descubridor fue el químico Wallace Carothers que trabajaba para la empresa Dupont. Descubrió que dos sustancias químicas, como el hexametildiamina y ácido adípico, formaban polímeros que bombeados a través de agujeros y estirados formaban hilos que podían tejerse. Su primer uso fue la fabricación de paracaídas para las fuerzas armadas estadounidenses durante la Segunda Guerra Mundial, extendiéndose rápidamente a la industria textil en la fabricación de medias y otros tejidos combinados con algodón o lana. Al nylon le siguieron otras fibras sintéticas como el orlón y el acrilán.



Principalmente en lo que tiene que ver con el envasado en botellas y frascos, se ha desarrollado vertiginosamente el uso del tereftalato de polietileno (PET), material que viene desplazando al vidrio y al PVC en el mercado de envases.

Durante la Segunda Guerra Mundial, tanto los aliados como las fuerzas del Eje sufrieron reducciones en sus suministros de materias primas. La industria de los plásticos demostró ser una fuente inagotable de sustitutos aceptables. Alemania, por ejemplo, que perdió sus fuentes naturales de látex, inició un gran programa que llevó al desarrollo de un caucho sintético utilizable. La entrada de Japón en el conflicto mundial cortó los suministros de caucho natural, seda y muchos metales asiáticos a Estados Unidos. La respuesta estadounidense fue la intensificación del desarrollo y la producción de plásticos. El nylon se convirtió en una de las fuentes principales de fibras textiles, los poliésteres se utilizaron en la fabricación de blindajes y otros materiales bélicos, y se produjeron en grandes cantidades varios tipos de caucho sintético.

Durante los años de la posguerra se mantuvo el elevado ritmo de los descubrimientos y desarrollos de la industria de los plásticos. Tuvieron especial interés los avances en plásticos técnicos, como los policarbonatos, los acetatos y las poliamidas. Se utilizaron otros materiales sintéticos en lugar de los metales en componentes para maquinaria, cascos de seguridad, aparatos sometidos a altas temperaturas y muchos otros productos empleados en lugares con condiciones ambientales extremas. En 1953 el químico alemán Karl Ziegler desarrolló el polietileno, y en 1954 el italiano Giulio Natta desarrolló el polipropileno, que son los dos plásticos más utilizados en la actualidad. En 1963, estos dos científicos compartieron el Premio Nobel de Química por sus estudios acerca de los polímeros.

Las investigaciones de 1990 al 2000 se orientaron a la combinación entre polímeros para formar mezclas poliméricas y aleaciones plásticas cuando se adicionan agentes de acoplamiento o compatibilizadores como los silanos, titanatos y hules termoplásticos, siendo la innovación quien mueve el desarrollo tecnológico de esta industria.

En la actualidad muchos de los objetos con los que tenemos contacto están hechos, total o parcialmente, con algún tipo de plástico, debido a la variedad de propiedades casi ilimitadas que se puede dar a estos materiales, agregando su bajo costo.

1.2.2 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Generalmente los plásticos se clasifican por su comportamiento al calor en: termoplásticos, termoestables y elastómeros.

a) Los termoplásticos

Como se muestra en la figura 1-1, los termoplásticos son resinas con una estructura molecular lineal cuyas macromoléculas están dispuestas libremente sin entrelazarse. Durante el moldeo en caliente no sufren ninguna modificación química



Figura 1-1 Estructura molecular de los termoplásticos.

La acción del calor causa que estas resinas se fundan, solidificándose rápidamente por enfriamiento en el aire o al contacto con las paredes del molde. Dentro de ciertos límites, el ciclo de fusión-solidificación puede repetirse; empero, debe tenerse en cuenta que el calentamiento repetitivo puede dar como resultado la degradación de la resina.

**b) Los termoestables**

Los también nombrados termofijos pueden ser fundidos sólo una vez. Las resinas de este grupo, que se caracterizan por tener una estructura molecular reticulada o entrelazada en forma de una red de malla cerrada, como en la figura 1-2, se funden inicialmente por la acción del calor pero enseguida, si se continúa la aplicación del calor, experimentan un cambio químico irreversible, el cual provoca que las resinas se tornen infusibles e insolubles.



Figura 1-2 Estructura molecular de los termoestables.

c) Los elastómeros

La figura 1-3 muestra la estructura molecular de los elastómeros compuesta de largas cadenas que se encuentran unidas en forma de red de malla con pocos enlaces. Ésto les permite un gran movimiento intermolecular que se ve reflejado en su buena flexibilidad. Son materiales que al someterlos a un esfuerzo modifican su forma, recuperándola cuando se retira ese esfuerzo. Debido a sus uniones químicas que existen entre las moléculas no se les puede volver a procesar y son plásticos de estructura amorfa.

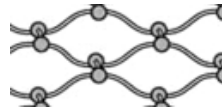


Figura 1-3 Estructura molecular de los elastómeros.

En el desarrollo de nuevos productos y aplicaciones, se ha ido experimentando y perfeccionado diversas tecnologías de producción y transformación con el uso de máquinas y equipos mejorados constantemente a fin de alcanzar grandes producciones con ciclos de trabajo automático.

I.2.3 TECNOLOGÍAS DE TRANSFORMACIÓN DE LOS PLÁSTICOS

Los materiales plásticos que se obtienen industrialmente se presentan de diferentes formas. Estos materiales se someten posteriormente a técnicas de transformación muy variadas según las aplicaciones a que se destinen y la forma que quiera dárseles. Los procesos para transformar el plástico son:

a) Extrusión. Es un proceso continuo en que la resina es fundida por la acción de temperatura y fricción. Es forzada a pasar por un dado que le proporciona una forma definida. El proceso es el siguiente:

- 1) El material se introduce en forma de gránulos por la tolva de alimentación de la extrusora y cae en un cilindro previamente calentado.
- 2) El cilindro consta de un husillo o tornillo de grandes dimensiones que desplaza el material fundido forzándolo a pasar por la boquilla o molde de salida.
- 3) Por último, se recogen las piezas obtenidas mediante un sistema de arrastre.

Algunas aplicaciones son: filmes para embalajes, perfiles para rematar obras, recubrimiento aislante para cables eléctricos y tubos para cañerías y tuberías.

b) Moldeo por compresión. Consiste en introducir el material en un molde caliente abierto, cerrándolo posteriormente mediante una prensa hidráulica. El proceso es el siguiente:

- 1) Se introduce material termoestable en forma de polvo o gránulos en molde hembra.
- 2) Se comprime contra el molde macho mientras un sistema de recalentamiento reblandece el material.
- 3) Inmediatamente, se refrigera y se extrae la pieza ya conformada del molde.

Algunas aplicaciones son: recipientes para productos alimenticios y carcasas de máquinas, como electrodomésticos.



c) **Moldeo por soplado.** Consiste en enviar el fluido a presión dentro de la masa del material fundido obligándolo a recubrir las paredes de un molde con la finalidad de obtener un cuerpo hueco. El proceso es el siguiente:

- 1) El material en forma de tubo (obtenido en el proceso de extrusión) se introduce en un molde hueco cuya superficie interior corresponde a la forma del objeto que se quiere fabricar.
- 2) Una vez cerrado el molde, se inyecta aire comprimido en el interior del tubo para que el material se adapte a las paredes del molde y tome su forma.
- 3) Una vez enfriado el material, se abre el molde y se extrae la pieza.

Algunas aplicaciones son: objetos huecos, como botella para aceite de uso culinario, agua y refrescos; frascos y algunos juguetes, como balones.

d) **Moldeo por inyección.** Consiste en llenar la cavidad de un molde con el material en estado líquido o fundido sometiéndolo a alta presión.

Algunas aplicaciones son: utensilios domésticos (cubos, recipientes) y juguetes.

e) **Calandrado.** Consiste en hacer pasar el material semifundido o laminas preformadas del mismo, entre dos o más rodillos horizontales.

Algunas aplicaciones son: acabado mate o brillante de superficies. Por ejemplo películas y muebles de cocina.

f) **Conformado al vacío.** Esta técnica se utiliza sobre todo con láminas de plástico de gran superficie que no admiten ningún otro proceso de conformado. El proceso es el siguiente:

- 1) El material termoplástico en forma de filme o lámina de pequeño grosor se sujeta a un molde.
- 2) La lámina se calienta con un radiador para ablandar el material.
- 3) A continuación se succiona el aire de debajo de la lámina haciendo el vacío, de modo que el material se adapte a las paredes del molde y tome la forma deseada.
- 4) Una vez enfriado, se abre el molde para extraer la pieza.

Algunas aplicaciones son: piezas moldeadas de diferentes superficies, como hueveras; aparatos para sanitarios, como bañeras; salpicaderas de coches y letreros para comercios.

I.2.4 PROPIEDADES DE LOS TERMOPLÁSTICO

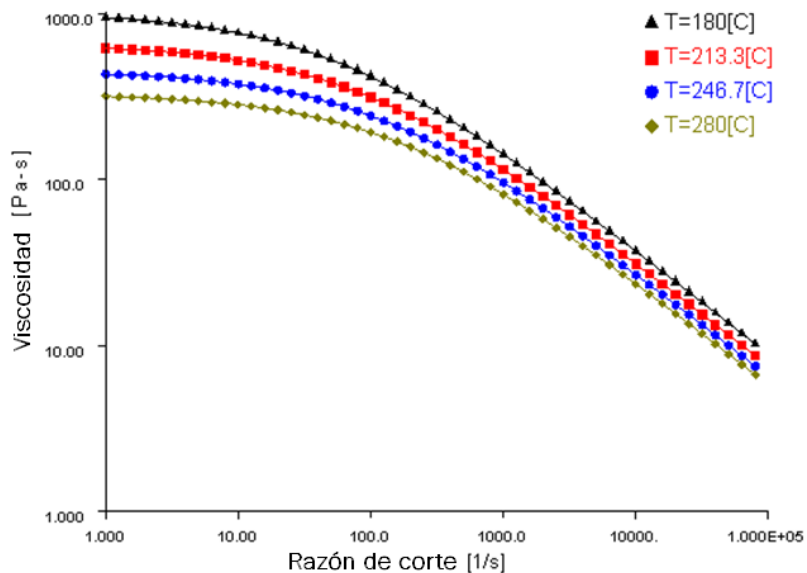
Para la mayoría de los métodos de procesamiento de termoplásticos la resina es suministrada como partículas sólidas de plástico denominadas pellets, cuyos diámetros oscilan generalmente de 0.1 a 5 mm. Estas partículas afectan la alimentación en las máquinas de inyección. Algunas propiedades de interés en el moldeo por inyección de termoplásticos son:

a) **Densidad aparente**, que es la densidad de los pellets no comprimidos y el espacio entre ellos mismos, donde el factor de apariencia es la relación entre la densidad aparente y la densidad del plástico sólido. Baja densidad aparente y un alto factor de apariencia indican dificultades en el transporte del polímero a través de la tolva o la zona de alimentación de la máquina de inyección.

b) **Compresibilidad.** Es la diferencia porcentual entre la menor densidad aparente compacta y la densidad aparente compacta. Cuando la compresibilidad es inferior a 20 por ciento las partículas fluyen libremente. Si la compresibilidad excede el 40 por ciento, se advierte que el material de compacta fácilmente y probablemente no fluirá desde la tolva sin ayuda.



- c) **Vertido.** Es el tiempo requerido para que una cantidad estándar de partículas fluya a través de un embudo con dimensiones especificadas por la norma ASTM (American Society for Testing and Materials) D1985. Bajo vertido sugiere problemas con el transporte del material.
- d) **Ángulo de reposo.** Es el ángulo formado entre el montón de pellets y el horizonte superficial. Cuando el ángulo de reposo es superior a 45 grados, el material no fluye.
- e) **Coefficiente de fricción.** Afecta la alimentación de las partículas de polímero y puede ser dividido en dos clases: interno y externo. El coeficiente de fricción interno es la fricción entre las capas de partículas del polímero; mientras que el coeficiente de fricción externo ocurre entre las partículas y otras superficies de metal. En el transporte de partículas sólidas impulsado por pistón el coeficiente de fricción externo es mucho más grande que el coeficiente de fricción interno; no obstante, cuando las partículas son deformadas durante el flujo, el coeficiente de fricción interno llega a ser importante. Aun mientras el coeficiente de fricción es influenciado por la temperatura, velocidad de deslizamiento, presión de contacto, condición de la superficie del metal, tamaño de la partícula del polímero, grado de compactación, tiempo, y humedad relativa, éstos factores no han sido completamente entendidos. En suma, aditivos tales como lubricantes pueden cambiar las características de fricción del polímero.
- f) **Viscosidad.** Es la oposición de un fluido a las deformaciones tangenciales. En los fluidos la deformación aumenta bajo la acción del esfuerzo cortante. Los polímeros fundidos generalmente exhiben flujo laminar, que es el movimiento en capas; sin embargo, las capas típicamente fluyen a diferentes velocidades con lo cual hay movimiento relativo entre ellas, lo que genera esfuerzos de corte. La mayoría de los polímeros son pseudoplásticos, es decir, su viscosidad disminuye con el incremento de la razón de corte. Como es apreciable en la gráfica 1-1, la disminución de la viscosidad del fluido pseudoplástico no acontece inmediatamente.

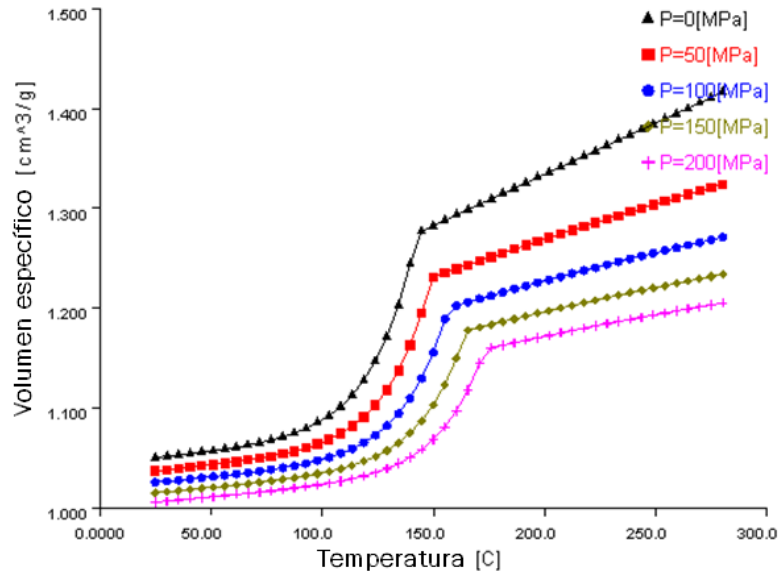


Gráfica 1-1 Viscosidad vs Razón de corte del polietileno de alta densidad.

La viscosidad es también afectada por la temperatura y la presión. Aumentando la temperatura se incrementa la movilidad de las moléculas del polímero, reduciéndose así la viscosidad. La viscosidad del material disminuye a medida que aumenta la presión.



- g) **Volumen específico.** El inverso de la densidad, es a menudo usado para relacionar la densidad, temperatura y presión. La gráfica 1-2 muestra que los plásticos fundidos son, asimismo, compresibles.



Gráfica 1-2 Volumen específico vs Temperatura del polietileno de alta densidad.

- h) **Cristalinidad.** Cuando las moléculas de un sólido se encuentran ordenadas en las tres dimensiones se le designa cristalino. El grado de cristalinidad depende del peso molecular, de la cantidad de comonomero presente y del método de procesamiento. La cristalinidad de una resina determinada puede variar dentro de una amplia gama debido a la tasa de enfriamiento de la masa fundida. Tasas de enfriamiento más lentas favorecen el crecimiento cristalino.
- i) **Permeabilidad.** Es la capacidad de los plásticos para absorber gases y vapor de agua. La permeabilidad aumenta con la temperatura

Dado que uno de los termoplásticos más usados es el polietileno (material para bolsas, botellas, cajas, envases industriales, recubrimientos, películas para forro, sacos y costales, tuberías, aislantes para cables y conductores, juguetes, etcétera), la máquina está diseñada para inyectar polietileno de alta densidad (HDPE), cuyas propiedades, además de la viscosidad y volumen específico, son:

Calor específico	3829	J/Kg °C
Conductividad térmica	0.291	W/m °C
Temperatura de procesamiento	220	°C
Temperatura del molde	40	°C
Esfuerzo de corte máximo	0.22	MPa
Razón de corte máxima	65000	1/s
Módulo de elasticidad	911	MPa
Módulo de corte	319.4	MPa

II

MÁQUINAS DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

II.1 ANTECEDENTES

Las máquinas de inyección de plástico derivan de la máquina de fundición a presión para metales. Según algunas referencias, la primera máquina de moldeo fue patentada en 1872 para la inyección de nitrato de celulosa, pero debido a su inflamabilidad y peligrosidad, el proceso no floreció.

En 1920 se construyó en Alemania una máquina para la producción de piezas de resinas termoplásticas mediante el proceso de inyección. Dicha máquina era totalmente manual. Posteriormente, en 1927 y en el mismo país, se desarrolló una máquina para la inyección de polímeros accionada por cilindros neumáticos, pero no tuvo mucho éxito debido a que se requería de máquinas con presiones superiores.

En Inglaterra, durante los años 1929 y 1930, se fabricaron máquinas inyectoras que funcionaban originalmente con aire comprimido. El sistema de apertura del molde y la extracción de la pieza se realizaban manualmente. Los controles incluían válvulas manuales sin control automático, además que carecían de sistemas de seguridad.

El verdadero auge de este proceso sucedió entre los años 1930 y 1940 con las aplicaciones para los recién descubiertos poliestireno y acrílico. Se observó que el proceso permitía la fabricación rápida y económica de artículos útiles.

En 1932 apareció la primera máquina de inyección operada con sistemas eléctricos, desarrollada por la Eckert & Ziegler. Durante esta época se presentaron grandes dificultades para alcanzar un calentamiento completo del material, lo cual fue resuelto gracias al diseño del barril de la máquina con un torpedo interno que incrementaba la superficie del material expuesto al flujo de calor. Este diseño fue patentado por Hans Gastrow y posteriormente adoptado por la mayoría de fabricantes de máquinas en el mundo.

En 1936 se patentó en Estados Unidos la máquina de inyección de pistón con sistema de preplastificación en dos etapas.

La primera máquina de inyección con tornillo recíprocante (o husillo) fue diseñada en 1951 en Estados Unidos, aunque se patentó hasta 1956. Este cambio fue la aportación más substancial en la historia de las máquinas inyectoras. Al finalizar la Segunda Guerra Mundial la industria de la inyección de plástico experimentó un crecimiento comercial sostenido; sin embargo, a partir de la década de los 80's las mejoras se han enfocado a: la eficiencia del diseño, el incremento en la capacidad en peso de los moldes para piezas mayores, el uso de sistemas de software, mejoras considerables en el control de presión, temperatura y velocidad de inyección; inclusión de robots más rápidos para extracción de piezas, inyección asistida por computadora, mejoras en el control de calidad del producto y la automatización cada vez más eficiente del proceso.



Por más de 60 años el moldeo de inyección de termoplásticos ha crecido desde máquinas con capacidad de inyección de pocos gramos, hasta varios kilogramos de capacidad con que se cuenta actualmente.

El desarrollo de la máquina para el moldeo por inyección de plástico se ha visto influido sin duda, no solo por el creciente número de materiales y tipos de los mismos capaces de ser moldeados por inyección, sino también por la creciente demanda de artículos de plástico por parte de la sociedad.

II.2 SISTEMAS QUE CONFORMAN LA MÁQUINA DE INYECCIÓN

En una máquina de inyección de plástico pueden identificarse distintos elementos esenciales que usualmente se agrupan en los siguientes sistemas:

- Sistema de inyección
- Sistema de cierre
- Sistema de potencia

II.2.1 SISTEMA DE INYECCIÓN

El sistema de inyección es la parte de la máquina que efectúa la alimentación, la plastificación y la inyección del plástico al molde. Las funciones del sistema de inyección son las de cargar y plastificar el material mediante el giro del tornillo, mover el tornillo axialmente para inyectar el material plastificado hacia la cavidad del molde, y mantenerlo bajo presión hasta que sea eyectado.

Los componentes primordiales del sistema de inyección son:

- a) **Husillo.** Es un tornillo sin fin de acero muy duro que de manera regular está pulido o cromado para facilitar el movimiento del material en su superficie. El husillo tiene una acción recíproca o alternativa. Además de girar para fundir el plástico se mueve de manera axial al actuar como pistón durante la etapa de inyección. Amén de lo anterior el husillo desempeña otras funciones como son:

- Recibir (cargar) los pellets.
- Transportar el polímero.
- Fundir la resina uniformemente.
- Homogeneizar el plástico fundido.
- Producir la presión suficiente para que el material pueda vencer la fricción de la boquilla.

El husillo más utilizado es el universal, puesto que éste permite transformar la mayoría de los termoplásticos de manera térmica y económicamente satisfactoria. En la figura 2-1 se observa que el husillo comprende tres zonas diferentes que se detallan a continuación:

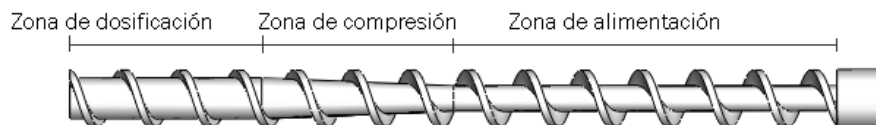


Figura 2-1 Husillo.

En la **zona de alimentación** los gránulos o partículas se comprimen lo suficiente para forzar que el aire atrapado salga por la tolva. Los trozos de aglomerados deben romperse de manera que la fusión sea efectiva. En la zona de alimentación, donde la profundidad del filete es mayor, se tiene el mayor volumen de admisión del material.

En la **zona de compresión** (o transición) decrece uniformemente la profundidad del filete. Debido a esto el material se funde, plastifica y compacta, puesto que la fricción y la generación de calor son más intensas. Idealmente el plástico que sale de esta zona debería estar completamente fundido, homogeneizado y a la temperatura requerida para la boquilla. Es importante el control del perfil de temperaturas.

Mientras más se funde el polímero pasa de la **zona de dosificación** (o bombeo), en donde la profundidad del filete permanece constante, hacia la parte delantera del tornillo donde se acumulará para ser inyectado. La presión del fundido generalmente se incrementa en esta zona, por lo que se completa su homogeneización y se establece la presión y temperatura adecuadas.

- b) **Cámara de plastificación.** La figura 2-2 muestra al también llamado cañón de plastificación, que es un barril capaz de soportar altas presiones. Está cubierto con bandas calefactoras para calentar y fundir el material mientras éste avanza por el husillo. El calentamiento del husillo se hace por zonas y el número de zonas dependerá del tamaño del barril.

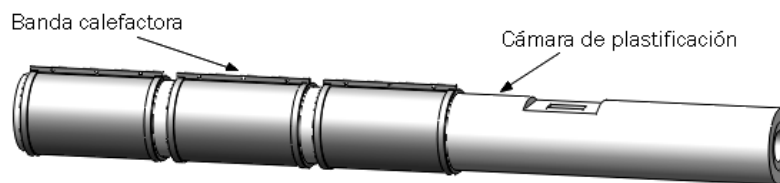


Figura 2-2 Cámara de plastificación.

- c) **Válvula antirretorno.** Está instalada en la punta del husillo de plastificación y tiene como función impedir que el material regrese a lo largo del husillo durante la fase de inyección, permitiendo además que el tornillo genere la presión necesaria para la inyección del material.

La válvula se desliza suavemente dentro del barril. Cuando gira el tornillo, la fuerza del plástico obliga al anillo a moverse hacia delante permitiendo el paso del material fundido, como se observa en la figura 2-3 (A). Cuando el tornillo actúa como pistón para inyectar el material en el molde, el anillo va hacia atrás y contacta con el asiento produciendo el cierre y evitando que regrese el material hacia los canales del tornillo, figura 2-3 (B).

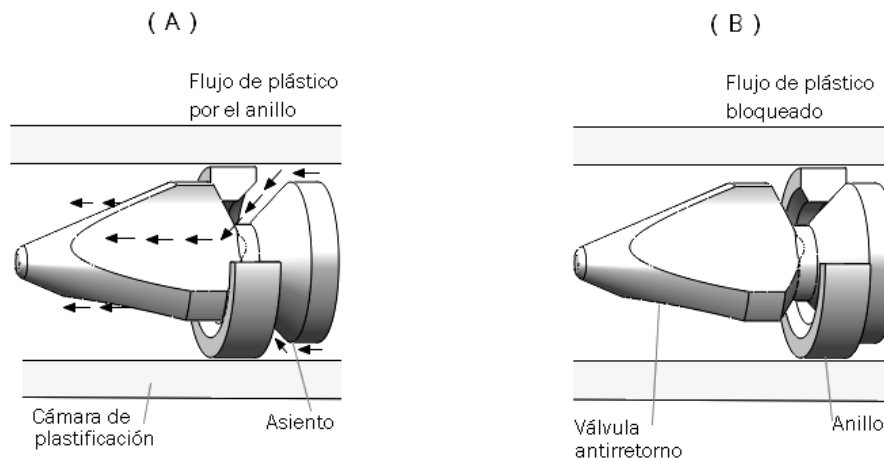


Figura 2-3 Válvula anti retorno. (A) posición abierta. (B) Posición cerrada.

- d) **Boquilla.** Se encuentra localizada en el extremo frontal del cañón de plastificación. Su función consiste en permitir el paso del material fundido desde el barril del sistema de inyección hacia el molde. La boquilla es quien hace contacto con el bebedero del molde. El diseño de la boquilla es muy importante desde el punto de vista de la presión y la temperatura, y depende del tipo de polímero así como del diseño del molde. La boquilla no debe ofrecer una gran restricción al flujo del material fundido y además debe mantener una temperatura adecuada del fundido que pasa



por ella para evitar, por un lado que se enfrié el material y se solidifique formando un tapón y, por otro lado, debe evitar el fenómeno de goteo que ocasiona escurrimiento de material por la boquilla. La figura 2-4 muestra una boquilla adecuada para la inyección de polietileno.

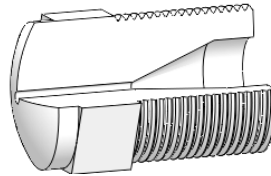


Figura 2-4 Boquilla.

II.2.2 SISTEMA DE CIERRE

Igualmente conocido como unidad de cierre, es el sistema de la máquina que sostiene el molde, efectúa el cierre y la apertura del mismo, genera la fuerza para mantenerlo cerrado durante la fase de inyección y cuando se abre, expulsa la pieza moldeada. La figura 2-5 ilustra las partes principales del sistema de cierre.

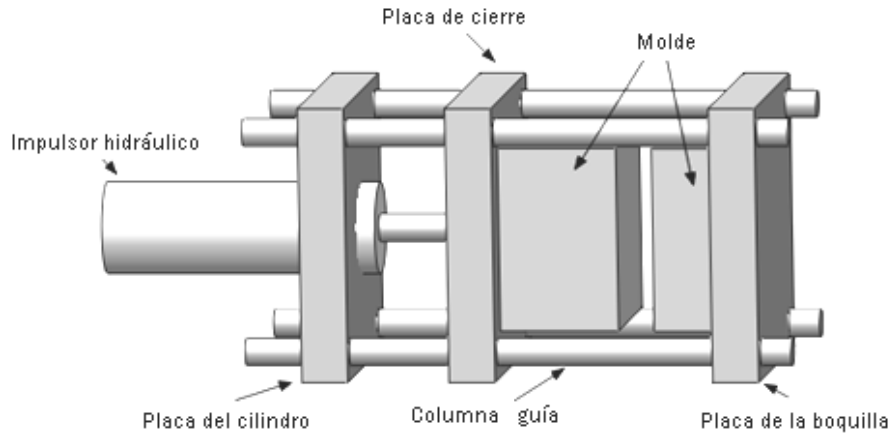


Figura 2-5 Partes principales del sistema de cierre.

- Placa de la boquilla.** Se encuentra fija a la base de la máquina ocupando la parte central de la misma. Conecta por un lado el sistema de inyección por medio de la boquilla y, por otro lado, el sistema de cierre. Esta placa soporta una de las mitades del molde.
- Placa de cierre.** Ésta se mueve axialmente hacia atrás y hacia delante sobre las columnas guía permitiendo que el molde cierre y abra. La otra parte del molde es sostenida por esta placa.
- Placa del cilindro.** Cumple con la función de soportar el impulsor hidráulico y servir de apoyo para la fuerza que cierra el molde.

Han sido creados muchos sistemas de cierre, pero los más conocidos y utilizados son:

Cierre por rodillera. Los sistemas de rodillera son accionados por un cilindro hidráulico. La rodillera que se muestra en la figura 2-6 está constituida por un sistema de bielas que actúan a lo largo del eje central del molde. La principal ventaja de este sistema mecánico es que las rodilleras multiplican la fuerza de cierre del cilindro hidráulico, de ahí que sea el sistema más usado para las grandes máquinas.

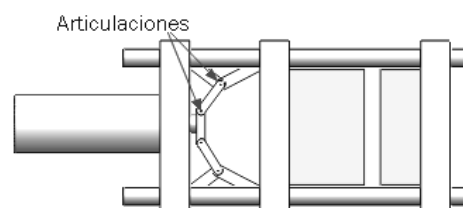


Figura 2-6 Cierre por rodillera.



Cierre por pistón (o cierre directo). Como se muestra en la figura 2-7, la característica principal de este sistema es el uso de un cilindro hidráulico localizado generalmente en la parte central del sistema para ejercer la fuerza de cierre. El cilindro sujeto a la placa de cierre es quien ejerce las funciones de apertura y cierre del molde.

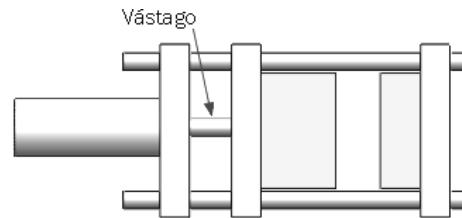


Figura 2-7 Cierre por pistón.

Comparado con el sistema de cierre con rodillera, el sistema por pistón resulta muy lento, pero permite tener una carrera más larga de la platina móvil sin aumentar sustancialmente el costo del sistema. La fuerza de cierre real es el propio empuje del pistón principal.

Cierre por pistón bloqueado (o hidromecánico). En este sistema la fuerza es creada parcialmente por un sistema mecánico y parcialmente por un sistema hidráulico incrementando la velocidad de cierre y apertura. El sistema de la figura 2-8 cuenta con cuatro cilindros para abrir y cerrar el molde. Para mantenerlo cerrado tiene otro cilindro de carrera corta que proporciona el tonelaje necesario.

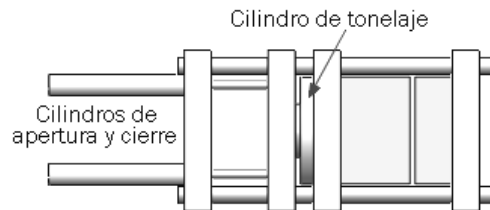


Figura 2-8 Cierre por pistón bloqueado.

II.2.3 SISTEMA DE POTENCIA

Comprende el conjunto de dispositivos necesarios de la máquina para transformar y suministrar la fuerza motriz a los sistemas de inyección y de cierre.

Los principales tipos de sistemas de potencia son:

- Sistema de potencia Mecánico** (electromecánico). Se utiliza por lo general en máquinas relativamente pequeñas. Este sistema puede emplearse tanto para el giro del tornillo, como para la apertura y cierre del molde en el sistema de cierre. Las máquinas emplean dos sistemas mecánicos de engranes y palancas acodadas: uno para cierre del molde y otro para la inyección. Cada sistema es accionado por un motor eléctrico independiente.

Las ventajas principales de los mecanismos de cierre con accionamiento mecánico o electromecánico son: la apertura rápida de la placa de cierre y la reducción automática de la velocidad al final del cierre y al comienzo de su apertura. Al reducir la marcha de la placa de cierre aumenta considerablemente la fuerza de cierre.

Los dispositivos mecánicos no se utilizan frecuentemente debido a la compleja regulación de las velocidades y fuerzas de cierre que desarrolla el último eslabón, y la existencia de muchas piezas cargadas. Todos los elementos de la cadena cinemática, desde el motor hasta los mecanismos de cierre e inyección, deben estar muy ajustados. Como resultado su reparación suele ser difícil y engorrosa.



- b) Sistema de potencia Hidráulico.** Se basa en la transformación de la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica.

En los sistemas de potencia a base de fluidos se utiliza aire, agua o aceite para transmitir la potencia desde una fuente de energía a las partes de accionamiento de la máquina por medio de tuberías de conducción que llevan el fluido a presión a los pistones de inyección y cierre.

El uso de aceite, como fluido transmisor de potencia, ha predominado en la mayoría de las máquinas hidráulicas debido a sus propiedades lubricantes en aplicaciones que involucran grandes cargas en el equipo de bombeo.

Las ventajas principales del uso de un sistema de potencia hidráulico son: la regulación de velocidades, lo cual se logra controlando el volumen del fluido; un manejo cómodo y sencillo. Se pueden emplear tanto en máquinas medianas como pequeñas.

II.3 CLASIFICACIÓN DE LAS INYECTORAS

Las máquinas de moldeo por inyección se clasifican en base a criterios, como la forma en que están construidas y por su mecanismo de inyección.

II.3.1 POR LA CONSTRUCCIÓN

Todas las máquinas de inyección poseen las mismas partes; empero, existen algunos arreglos especiales. Se distinguen dos categorías principales: Inyección horizontal e Inyección vertical.

a) Máquina de trabajo horizontal

El tipo de construcción más común en las máquinas de inyección es el horizontal, mostrado en la figura 2-9. En él, tanto el sistema de inyección como el de cierre trabajan horizontalmente en alineación axial, ocupando más espacio que una máquina vertical; no obstante, presenta una serie de ventajas:

- Una altura adecuada de las distintas partes de la máquina para su adecuado montaje y ajuste.
- Permite que sea más fácil el cambio y mantenimientos de los moldes con ayuda de grúas adaptadas por encima de la máquina.
- El llenado de la tolva cuando se realiza en forma manual, no presenta grandes dificultades.
- Facilita la extracción de la pieza, ya que las caras del molde son verticales, así que ésta cae por gravedad.

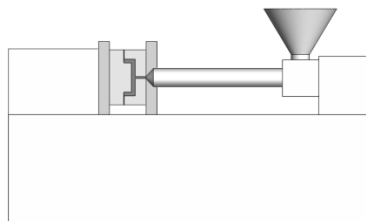


Figura 2-9 Máquina de trabajo horizontal.

**b) Máquina de trabajo vertical**

Las máquinas verticales se desarrollaron principalmente para funcionamiento manual. De igual modo, se conserva el trabajo axial de los sistemas de inyección y de cierre. Es evidente en la figura 2-10 que la inyección del polímero adopta un curso rectilíneo y se efectúa verticalmente hacia abajo, perpendicularmente al plano de separación del molde. La construcción vertical ofrece la máxima economía de espacio, ventaja que puede perderse por la gran altura necesaria de la nave para el caso de máquinas grandes.

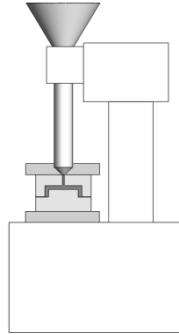


Figura 2-10 Máquina de trabajo vertical.

c) Máquina de cierre horizontal e inyección vertical

En la figura 2-11 se observa que es una variante modificada de la máquina de trabajo horizontal, con cilindro de inyección dispuesto verticalmente. El flujo del plástico se desvía un ángulo de 90 grados en dirección horizontal y penetra perpendicularmente al plano de separación en el molde. Esta máquina es más compacta que una horizontal de capacidad comparable, y la reducción de superficies necesaria para su operación es una característica muy favorable. A pesar de todo, tales no gozan de la popularidad de las máquinas horizontales.

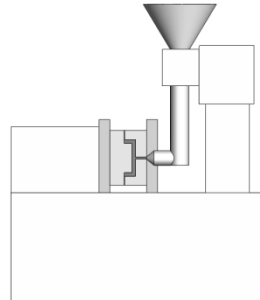


Figura 2-11 Máquina modificada cierre horizontal e inyección vertical.

d) Máquina modificada de cierre horizontal e inyección vertical

A diferencia de la máquina de cierre horizontal e inyección vertical, la figura 2-12 muestra que en esta construcción el flujo de material penetra en forma rectilínea en el plano de separación del molde.

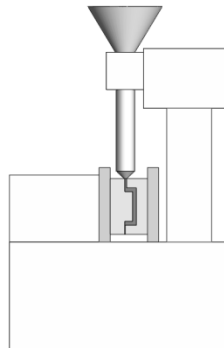


Figura 2-12 Máquina modificada cierre vertical e inyección horizontal.



II.3.2 POR EL MECANISMO DE INYECCIÓN

En el mecanismo de inyección la plastificación e inyección del material puede realizarse conjuntamente o por separado. Los mecanismos pueden ser de émbolo, o de husillo. Estos últimos, además, pueden ser con o sin desplazamiento axial.

Independientemente de si la plastificación se efectúa conjuntamente o por separado, todos los mecanismos se clasifican por su concepción constructiva en mecanismos de uno o varios cilindros.

a) Máquina de émbolo

El mecanismo primario de inyección es en esencia un émbolo o pistón que desplaza al material por el elemento dosificador para poder ser plastificado e inyectado a través de la boquilla, figura 2-13.

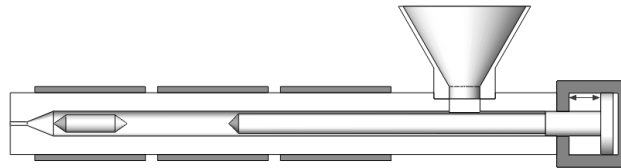


Figura 2-13 Máquina de émbolo.

b) Máquina de husillo

La plastificación por husillo utiliza el principio del extrusor para la disgregación del material (el proceso se detalla en la sección siguiente). En la figura 2-14 se observa este tipo de máquina, que combina la gran capacidad plastificadora de una extrusora de husillo con la elevada presión de inyección común a la de émbolo..

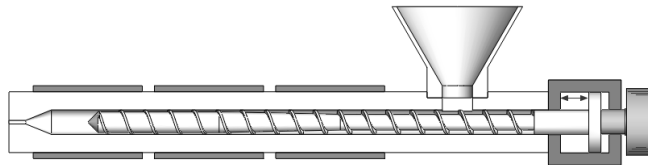


Figura 2-14 Máquina de husillo.

c) Máquina de dos husillos

Generalmente se las utiliza para procesar materiales en polvo. La ventaja radica en que pueden añadirse aditivos al plástico sin que éste sufra excesivamente desde el punto de vista térmico o mecánico.

La figura 2-15 ilustra la forma en que los husillos están dispuestos de manera tal que los filetes dejan entre sí espacios muy estrechos donde el material es transportado a la fuerza. Sólo al final del husillo, donde crece la presión, se forma una corriente de escape y el material se funde por efecto de la fricción.

La ventaja de la máquina de dos husillos es que puede transformar materiales que son sensibles a temperaturas elevadas, y que requieren tiempos de permanencia cortos para no llegar al límite de descomposición.

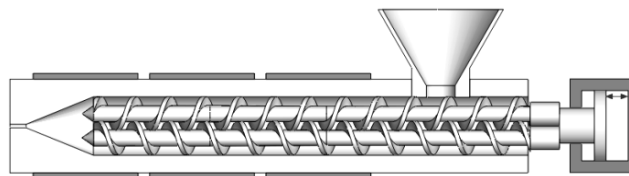


Figura 2-15 Máquina de dos husillos.

**d) Máquina de inyección mixta**

Con el fin de aumentar la producción y hacer las máquinas más universales, al mecanismo de inyección de émbolo se le acopla un mecanismo de husillo para la plastificación previa del material, que aumenta el volumen de la carga en tres veces y la producción en un 50 %. Es por ello que las máquinas mixtas (de émbolo y husillo, figura 2-16) permiten combinar la capacidad de plastificación elevada de las máquinas de husillo con la gran presión de inyección que desarrollan las de émbolo.

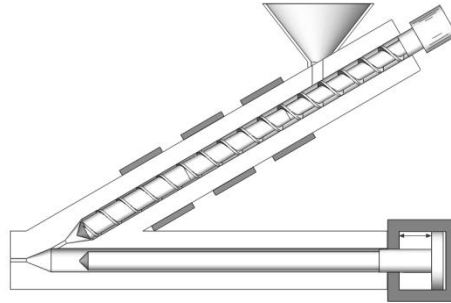


Figura 2-16 Máquina de inyección mixta.

e) Máquina de inyección revolver

Mostrada en la figura 2-17, es aquella en la que un mecanismo de plastificación e inyección abastece varios moldes dispuestos sobre una mesa o plato giratorio, permitiendo aumentar considerablemente la producción al sincronizar el moldeo de artículos análogos (semejantes en volumen y superficie de molde), o de un mismo tipo.

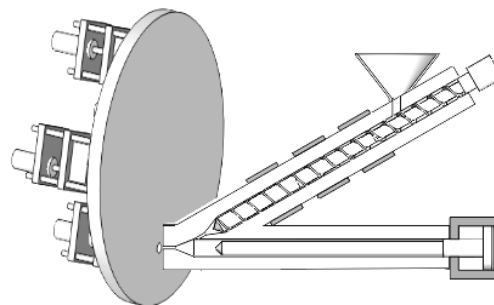


Figura 2-17 Máquina de inyección revolver.

II.4 PROCESO DE INYECCIÓN

El proceso de inyección consiste, de forma muy elemental, en introducir en la cavidad de un molde relativamente frío, una cantidad dosificada de material termoplástico fundido en forma homogénea. Después de un cierto periodo de tiempo, solidifica la masa inyectada y la pieza puede ser extraída del molde.

Para entender de mejor forma el proceso, suele dividirse en tres etapas:

Etapas 1) La resina por moldear es depositada en forma de pellets dentro de la tolva donde, por gravedad o por un sistema automatizado, fluye y cae a la cámara de plastificación en la que se encuentra el husillo, el cual gira transportando el plástico desde la tolva hacia la parte delantera del barril, como se observa en la figura 2-18. El polímero se funde a consecuencia del calor proporcionado por las bandas calefactoras que rodean la superficie exterior del cañón, y el calor por fricción generado al rotar el tornillo sin fin. El material fundido acumulado en la parte delantera del sistema origina bajas presiones, pero suficientes para obligar el retroceso del husillo a la parte posterior de la máquina, preparando al termoplástico para la segunda etapa. Una vez que el plástico fundido está en la cantidad requerida, el tornillo sin fin deja de girar. Para este momento el molde ha quedado prensado gracias al sistema de cierre.

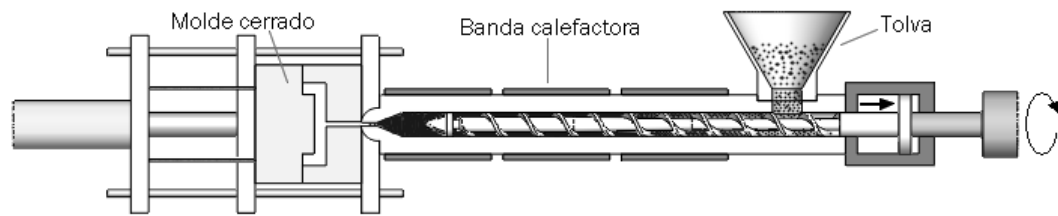


Figura 2-18 Primera etapa del proceso de inyección.

Etapas 2) En la segunda etapa, como se muestra en la figura 2-19, con el molde cerrado, el husillo que ya no rota actúa como pistón e introduce a la fuerza el polímero fundido dentro de la cavidad o cavidades del molde. El material inyectado atraviesa el bebedero de la mitad del molde correspondiente al lado de la boquilla y entra a través de los canales de llenado a los espacios huecos del mismo que corresponde a la imagen en negativo de la pieza a fabricar. Durante el disparo la válvula antirretorno impide la regresión del plástico por entre las crestas del tornillo.

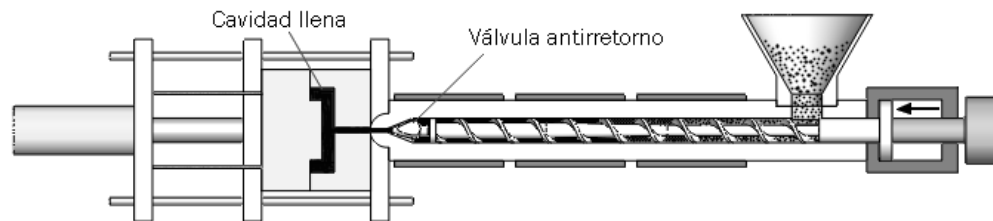


Figura 2-19 Segunda etapa del proceso de inyección.

Etapas 3) Después del disparo se mantiene la presión en el molde, inyectando más material durante el inicio de la solidificación y contracción. La masa plástica enfría al poco tiempo dentro del molde, donde un sistema de enfriamiento dispuesto en sus dos mitades disipa el calor y acelera el proceso de solidificación de la pieza. Finalizado el proceso de solidificación el molde se abre y es extraída la pieza gracias a los expulsores; ello ocurre cuando casi se ha alcanzado la posición de apertura máxima del molde, como se observa en la figura 2-20. Con el desmonte de la pieza inyectada termina el ciclo de trabajo.

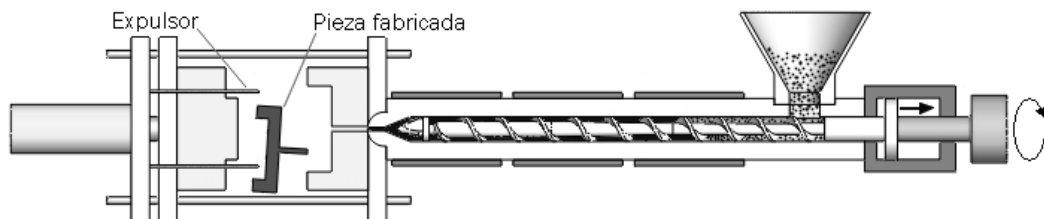


Figura 2-20 Tercera etapa del proceso de inyección.



DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

Al sistema de inyección lo conforman el husillo, el barril de plastificación, la boquilla, la válvula antirretorno, el engranaje, los rodamientos, la brida, las placas que sujetan los componentes de este sistema, el cilindro hidráulico y el motor.

Para el diseño de los componentes es necesario conocer parámetros del proceso para la etapa en que el polímero es fundido, y la etapa donde el molde es llenado. Los parámetros para la primera etapa son: velocidad con que rota el husillo, torque necesario para el giro del husillo, temperatura del cañón de plastificación y carrera del husillo. Los parámetros para la segunda etapa son: presión de inyección, velocidad de inyección, y la fuerza de cierre del molde (que será examinada en el siguiente capítulo).

III.1 PARÁMETROS DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

ROTACIÓN DEL HUSILLO

La velocidad con que el tornillo rota debe ser tal que favorezca la generación de calor por fricción. Los rangos habituales van de 50 a 160 revoluciones por minuto. A velocidades más altas el material podría resultar dañado. Los cálculos para esta máquina son realizados considerando 60 rpm del husillo.

TORQUE EN EL HUSILLO

De acuerdo con el *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*, la potencia requerida para un transportador helicoidal horizontal está dada por la fórmula:

$$HP \text{ del motor} = \frac{(A L N + C W L F) G}{E \cdot 10^6}$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
<i>A</i>	Factor para el diámetro del transportador	20
<i>L</i>	Longitud del husillo	1.1811 ft (360 mm)
<i>N</i>	Velocidad de giro del tornillo	60 rev/min
<i>C</i>	Flujo de material	0.4242 ft ³ /h (3336.6 mm ³ /s)
<i>W</i>	Densidad del material	59.369 lb/ ft ³ (0.951 gr/cm ³)
<i>F</i>	Factor para el material	0.4
<i>G</i>	Factor para la potencia	50
<i>E</i>	Eficiencia	90%, usualmente

El flujo de material es el espacio entre el cañón y el husillo una distancia igual a 20 mm, que es el paso de la cresta. Los factores son tomados del manual citado.



Al sustituir los valores:

$$HP \text{ del motor} = \frac{((20) (1.1811) (60) + (0.4242) (59.369) (1.1811) (0.4)) 50}{0.90 \cdot 10^6} = 0.0794 \text{ HP}$$

Para conocer el torque:

$$T = \frac{P}{\omega} = \frac{59.20932 \text{ watts}}{6.28318 \text{ rad/s}} = 9.4235 \text{ N} \cdot \text{m}$$

El torque necesario para hacer girar el husillo sería 9.4235 N·m; sin embargo, se considerará que la potencia \dot{W} indispensable es 1/8 HP, con lo que a 60 rpm, el torque T es 14.841 N·m.

TEMPERATURA EN LA CÁMARA DE PLASTIFICACIÓN

Las zonas de calefacción varían en cantidad, área y temperatura, de acuerdo con el material a moldear y el tamaño mismo del cañón.

La figura 3-1 muestra el análisis realizado mediante CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) para el arreglo de tres bandas de calefacción en esta máquina.

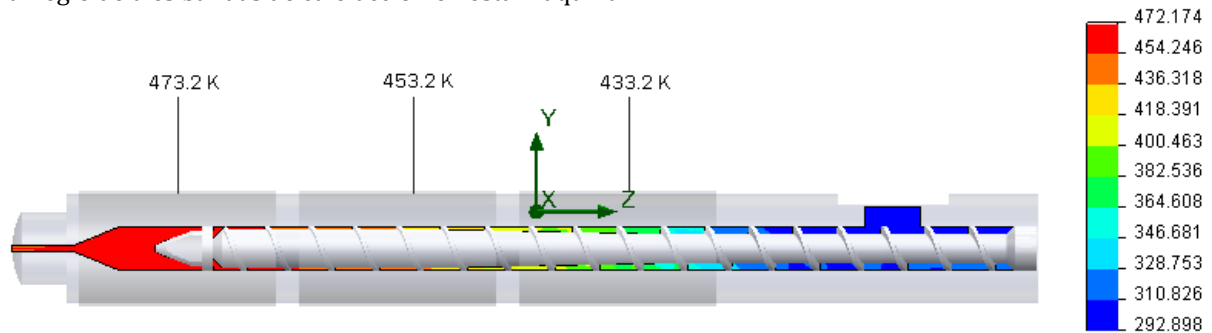


Figura 3-1 Temperatura del polietileno alta densidad (K).

La figura muestra que para el procesamiento del polietileno serían adecuadas: la temperatura de las bandas calefactoras de 200, 180 y 160 °C y la velocidad de rotación del husillo de 60 rev/min, además de la geometría de cada componente.

CARRERA DEL HUSILLO

Según la cantidad y el tipo de material a inyectar será la carrera. Para el diseño de los elementos del sistema de inyección se asume que el material a moldear es polietileno, lo cual no implica exclusividad de este polímero. Si fuese necesario inyectar algún otro termoplástico bastaría con variar parámetros como temperatura, presión, velocidad de inyección, de enfriamiento y de rotación del husillo, por ejemplo.

La máquina tendrá una capacidad máxima de inyección de 20 gramos. La carrera máxima de esta inyectora será 100 mm. Para disparar 20 gr de HDPE fundido (0.73817 gr/cm³) la carrera sería 84.544 mm.

PRESIÓN DE INYECCIÓN

Es la presión necesaria en el material fundido para que entre y llene la cavidad (o cavidades) del molde. Varía en función del plástico inyectado, así como de la geometría de la pieza a fabricar. Por ejemplo, si el espesor de la pieza disminuye, la presión requerida aumenta.

Si la pieza a fabricar fuera un disco con espesor de un milímetro, la máxima presión en el molde no excedería los 50 MPa, como se observa en la figura 3-2.

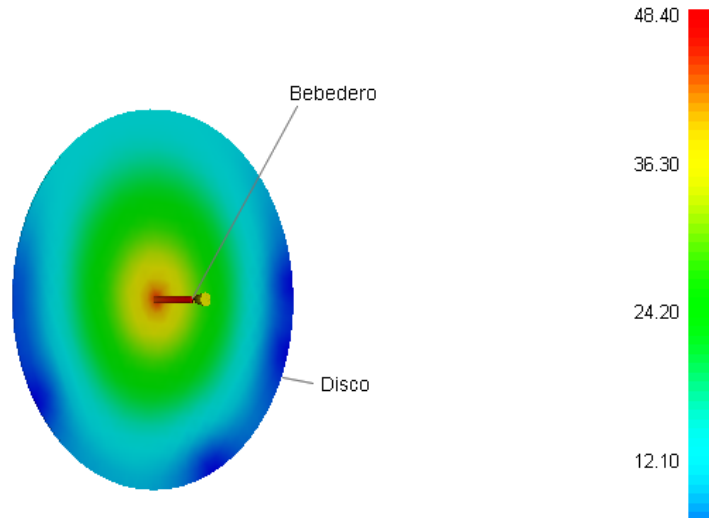


Figura 3-2 Presión de inyección en el molde (MPa).

Por otra parte, la figura 3-3 muestra que la presión generada en la boquilla y barril de plastificación sería mayor que la presión en el molde: 73.7355 MPa.

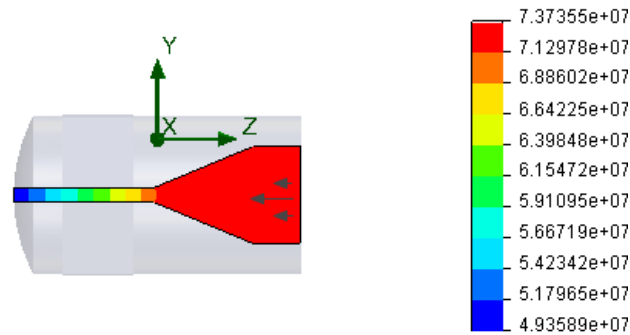


Figura 3-3 Presión de inyección en la boquilla y barril (Pa).

VELOCIDAD DE INYECCIÓN

La velocidad es muy importante, pues si ésta es baja, es probable que el material solidifique antes de tiempo impidiendo el correcto llenado del molde. Una velocidad elevada mejora el flujo del plástico y, dicho sea de paso, mejora la apariencia superficial del polietileno.

A continuación se detalla el flujo volumétrico durante la inyección del disco con un milímetro de espesor.

Tiempo (s)	Volumen (%)	Velocidad de flujo (cm ³ /s)
0.05	06.89	43.80
0.15	25.43	49.43
0.25	44.77	50.29
0.35	63.31	50.69
0.45	82.77	50.87
0.55	100.00	50.03

La inyección simulada mediante CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) muestra que en 0.55 segundos el molde estaría completamente lleno y el flujo máximo de polietileno sería igual a 50.87 cm³/s.



III.2 HUSILLO

La geometría del tornillo sin fin se observa en la figura 3-4.

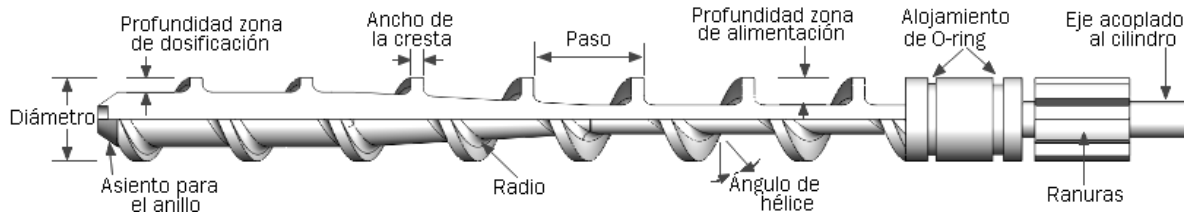


Figura 3-4 Geometría del husillo.

La **relación L/D** es el cociente de la longitud efectiva del tornillo (longitud de la parte roscada) entre el diámetro. Para esta inyectora la división es 360/20, en consecuencia la relación L/D = 18/1.

Práctica común es que el **paso** ξ sea igual al diámetro, por lo tanto $\xi = 20$ mm. De forma similar, el **ancho de la cresta** ζ es una décima parte del diámetro: $\zeta = 2$ mm.

La cresta es casi cuadrada: por razones de fabricación tiene un ángulo incluido de 10° . En la figura 3-5 se aprecia dicho ángulo y el **radio** de 0.5 mm (este último para minimizar la concentración de esfuerzos en la raíz de la cresta).

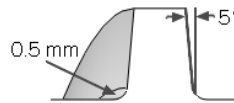


Figura 3-5 Ángulo incluido de cresta y radio.

El **ángulo de hélice** φ está dado por la fórmula:

$$\varphi = \tan^{-1}\left(\frac{\xi}{\pi D}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{20}{\pi(20)}\right) = 17.656787^\circ$$

La **profundidad** en las zonas de alimentación y dosificación, así como las **longitudes** de cada zona, son adoptadas de diseños de husillos que en la práctica han resultado satisfactorios, y el análisis con CFD (Dinámica de Fluidos Computacional) lo confirma. Dicho lo cual, las dimensiones son:

Profundidad en zona de alimentación	3.5 mm
Profundidad en zona de dosificación	1.5 mm
Longitud de zona de alimentación	160 mm
Longitud de zona de compresión	100 mm
Longitud de zona de dosificación	100 mm

Al procesar el plástico son propensos al deterioro los materiales con que los elementos de la máquina son diseñados, por lo cual es conveniente fabricar el tornillo de un acero cuya resistencia a las condiciones de operación sea aceptable. El acero UNS G41400 (o sus equivalentes: AISI, SAE, ASTM o NMX 4140) normalizado a 870°C satisface las expectativas. Sus propiedades son:

Literal	Qué representa	Valor
E	Módulo de elasticidad	207 GPa
G	Módulo de corte	79 GPa
S_u	Resistencia a la tracción	1020 MPa
S_y	Límite de fluencia	655 MPa
S_{us}	Resistencia al corte	490 MPa
ρ	Densidad	7860 Kg/m ³
ν	Relación de Poisson	0.3
Bhn	Dureza Brinell	302 \approx 32 Rc \approx 107 Rb
α	Coefficiente de expansión térmica	1.23 \cdot 10 ⁻⁵ /K
C_e	Calor específico	473 J/Kg \cdot K
k	Conductividad térmica	42.7 W/m \cdot K



Durante la etapa de inyección la presión generada dentro del cañón casi alcanzaría los 75 MPa. Al multiplicar esta presión por el área del diámetro interior del barril normal a su eje (las dimensiones de la cámara de plastificación se tratarán más adelante), es obtenida la fuerza que actuaría sobre el husillo:

$$F = P A = (75 \cdot 10^6) (\pi \cdot 0.0101^2) = 24.036 \text{ KN}$$

Al suponer que los 24.036 KN se aplicaran directos y únicamente sobre la cara de la cresta, y simulando el elemento mediante CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) se obtiene que los mayores esfuerzos serían de 118.275 MPa y ocurrirían en la raíz de la cresta como muestra la figura 3-6. Aun en este escenario el factor de seguridad FS sería 5.53792.

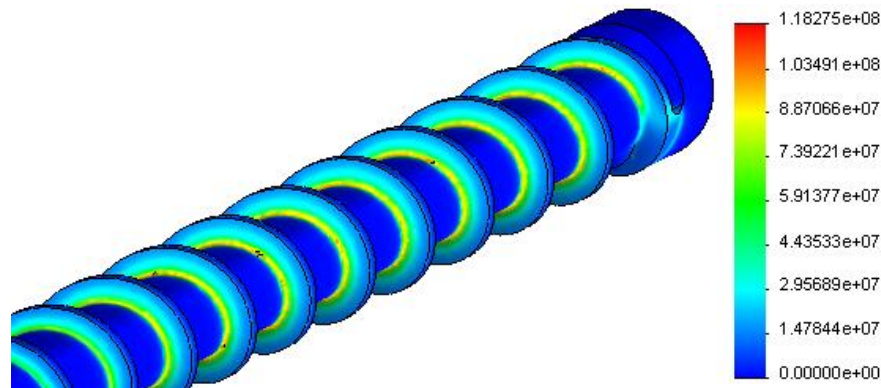


Figura 3-6 Esfuerzos en la cresta (Pa).

El par de torsión para la rotación del husillo es transmitido por medio de ranuras rectas SAE, pues resultan convenientes para el deslizamiento axial del tornillo. La capacidad de momento torsional T de una conexión de ranuras SAE con deslizamiento axial bajo carga se basa en una presión superficial de 7 MPa:

$$T = 7 \cdot 10^6 h L r_m N$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
h	Altura de las ranuras (de acuerdo a la Norma SAE = 0.1 D)	2 mm
L	Longitud de contacto	20 mm
r_m	Radio medio	9mm
N	Número de ranuras	6

La longitud total de las ranuras es 130 mm por la carrera máxima del husillo, pero la longitud de contacto es únicamente 20 mm.

Al sustituir valores:

$$T = 7 \cdot 10^6 (0.002)(0.02)(0.009)(6) = 15.12 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Serían entonces apropiadas las ranuras para transmitir 9.4235 N·m requeridos para el tornillo.

Se requiere un apoyo para el husillo (por ser relativamente largo) que le permita rotar y desplazarse axialmente: anillo tórico. El alojamiento del anillo tórico lo determina el fabricante. Para este diseño se emplea un par de anillos tóricos con diámetro interior y exterior de 17.17 y 20.73 mm, respectivamente, cuya geometría del alojamiento es mostrada en la figura 3-7.

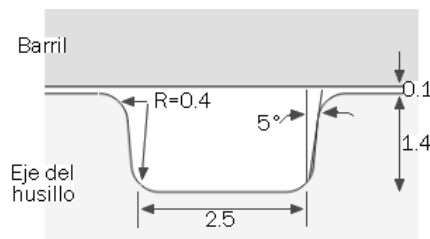


Figura 3-7 Alojamiento del anillo tórico (en mm). El acabado superficial es 16 μin .



La longitud total del husillo es de 60 cm: longitud efectiva, espacio para alojamiento de los anillos tóricos, longitud de las ranuras, más longitud indispensable para acoplar al cilindro hidráulico que entrega la fuerza de inyección. El diámetro del elemento es 2cm, por tanto, es necesario analizar el husillo por la posibilidad de que ocurra el pandeo.

Las consideraciones trascendentales para el estudio de pandeo mediante CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) son: los anillos tóricos no permiten desplazamientos radiales; el acoplamiento con el cilindro tampoco posibilita el desplazamiento radial; el huelgo entre el cañón y anillo de la válvula antirretorno es mínimo, en consecuencia, la parte anterior del husillo no se mueve radialmente. La figura 3-8 muestra el factor de carga de pandeo cuando se aplican 24.036 KN a compresión.

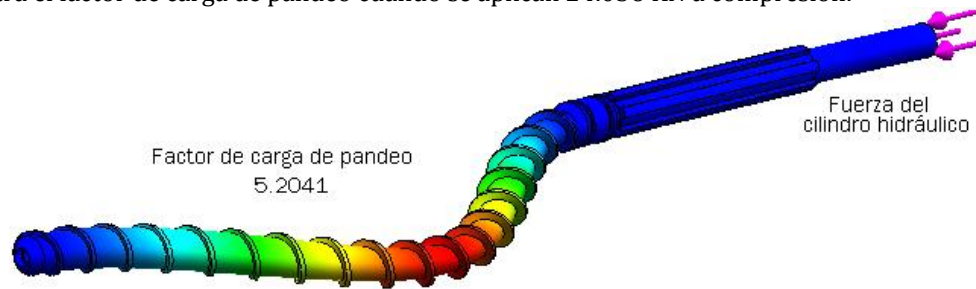


Figura 3-8 Estudio de pandeo.

Para hallar la carga de pandeo (carga con que se espera falle el elemento) basta con multiplicar la carga aplicada por el factor de carga de pandeo:

$$\text{Carga de Pandeo} = (24.036)(5.2041) = 125.0857 \text{ KN}$$

Falta sólo calcular el esfuerzo máximo de corte por torsión, el cual es obtenido para la sección más angosta del tornillo sin fin (diámetro = 13 mm) con la ecuación siguiente:

$$\tau_{\text{máx}} = \frac{T r}{J} = \frac{2 T}{\pi r^3} = \frac{2 (14.8412)}{\pi (0.0065)^3} = 34.404 \text{ MPa}$$

El esfuerzo máximo de corte por torsión es pequeño, por lo que se finaliza el diseño del husillo que se muestra en la figura 3-9. Queda mencionar que la parte delantera del tornillo es diseñada en función de la válvula antirretorno.

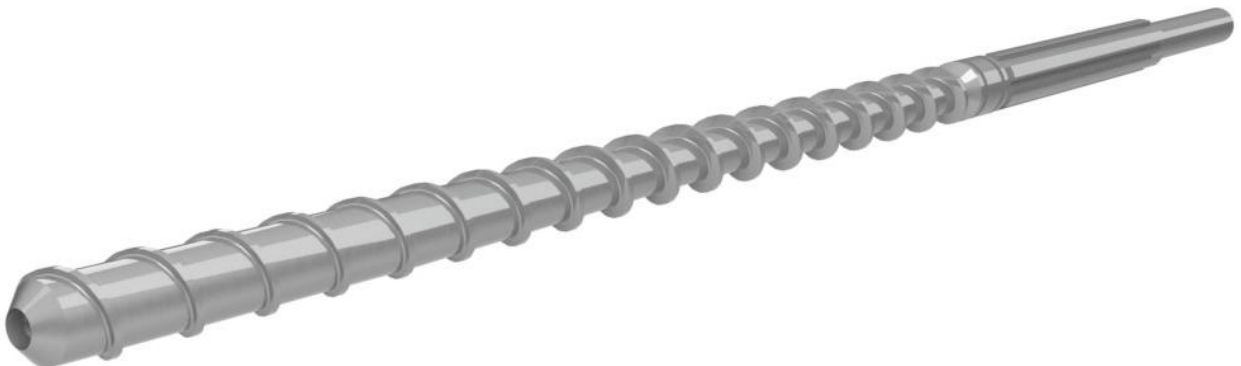


Figura 3-9 Husillo diseñado.



III.3 CÁMARA DE PLASTIFICACIÓN

Cualquier elemento de la máquina que mantenga contacto con el plástico fundido es propenso al deterioro; un material económico y resistente para el procesamiento del plástico es el acero 4140. El cañón del sistema de inyección está diseñado con UNS G41400 recocido a 815°C, cuyas propiedades son iguales al acero 4140 normalizado excepto por:

Literal	Qué representa	Valor
S_u	Resistencia a la tracción	655 MPa
S_y	Límite de fluencia	417 MPa
Bhn	Dureza Brinell	197 \approx 12 Rc

Entre el cañón y la cresta del husillo existe un huelgo (o claro) de 0.1 mm. Si éste fuese más grande el rendimiento de la máquina disminuiría, puesto que el polímero se filtraría por ese espacio.

Estimar el factor de seguridad FS del barril implica recurrir a las teorías de esfuerzos en cilindros de pared gruesa (cuando es considerada únicamente la presión interior) y energía de distorsión de von Mises-Hencky:

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

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

$$\sqrt{\sigma_t^2 + \sigma_r^2 - \sigma_t \sigma_r} = \frac{S_y}{FS}$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
P	Presión en el interior del cilindro	75 MPa
r_i	Radio interior del cañón	10.1 mm
r_o	Radio exterior de cañón	25 mm
FS	Factor de seguridad	
σ_t	Esfuerzo tangencial en la superficie interior	
σ_r	Esfuerzo radial en la superficie interior	

Al considerar que el diámetro exterior de la cámara de plastificación para esta inyectora es 50 mm, unificar las ecuaciones, despejar y resolver para el factor de seguridad FS :

$$\frac{S_y}{FS} = \sqrt{\left(\frac{r_i^2 P}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right) \right)^2 + P^2 - \left(\frac{r_i^2 P}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right) \right) (-P)}$$

$$FS = \frac{S_y}{\sqrt{\left(\frac{r_i^2 P}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right) \right)^2 + P^2 + \left(\frac{r_i^2 P^2}{r_o^2 - r_i^2} \left(1 + \frac{r_o^2}{r_i^2} \right) \right)}}$$

$$FS = \frac{(417 \cdot 10^6)}{\sqrt{\left(\frac{(0.0101)^2 (75 \cdot 10^6)}{(0.025)^2 - (0.0101)^2} \left(1 + \frac{(0.025)^2}{(0.0101)^2} \right) \right)^2 + (75 \cdot 10^6)^2 + \left(\frac{(0.0101)^2 (75 \cdot 10^6)^2}{(0.025)^2 - (0.0101)^2} \left(1 + \frac{(0.025)^2}{(0.0101)^2} \right) \right)}}$$

$$FS = 2.67$$

El factor de seguridad para el barril sería aceptable. La longitud total del cañón es 515 mm: longitud efectiva del husillo, longitud sobre la que deslizan los anillos tóricos, longitud de la carrera del tornillo, más la parte anterior de la cámara en que se aloja la boquilla (esta parte se diseña en función de la boquilla).



La geometría del orificio por donde se alimentan los gránulos de plástico mide 9 x 25 mm; 5mm más que el paso de la cresta, apropiado para la correcta dosificación del material. Si el orificio fuese más amplio, el exceso de plástico sólido motivaría esfuerzos mayores para el husillo. La figura 3-10 ofrece la imagen del barril diseñado.



Figura 3-10 Cámara de plastificación diseñada.

III.4 BOQUILLA

El interior de la boquilla tiene una conicidad de 22.5°. El conducto por donde sale el material fundido mide 3 mm de diámetro a lo largo de casi 30 mm. Si el husillo de la inyectora al rotar para transportar el plástico hacia la parte delantera del barril no se desplazara axialmente hacia la parte trasera del cañón, con un flujo volumétrico de 1553.25 mm³/s (el espacio entre el cañón y la zona de inyección del husillo una distancia de 20 mm), de la simulación mediante CFD se obtiene que la presión del plástico en la boquilla sería igual a 8.148 MPa, como muestra la figura 3-11.

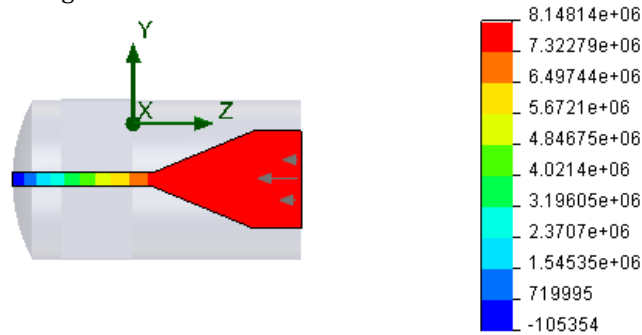


Figura 3-11 Presión en boquilla (Pa) durante el giro del husillo.

Para evitar lo más posible el escurrimiento de plástico de la boquilla durante esta etapa, la resistencia que presente el husillo para desplazarse axialmente hacia la parte posterior del barril mientras rota debe ser considerablemente inferior a 8 Mpa.

Por otro lado, la suma de las masas del husillo (965 gr) y el plástico a transportar (45.22 gr) da una masa total a desplazar de 1.01022 Kg. La fuerza necesaria para mover esta masa horizontalmente es el producto de su peso por el coeficiente de fricción (1, como si fuese la fuerza necesaria para levantar la masa). Esta fuerza distribuida en el área del diámetro interior del barril sería la presión que se opondría al desplazamiento del tornillo:

$$F = m_{total} g = (1.01022) 9.81 = 9.9103 \text{ N}$$

$$P = \frac{F}{A} = \frac{9.9103}{\pi(0.0101^2)} = 30.924 \text{ KPa}$$

La resistencia del husillo a ser desplazado axialmente mientras rota, aun considerando también la oposición del émbolo del cilindro hidráulico a retornar, no sería muy alta (es sabido que el émbolo de muchos cilindros regresa por gravedad). Al suponer entonces que la presión que se opone al movimiento axial del husillo mientras rota fuese 1 MPa, la velocidad del polietileno se observa en la figura 3-12.

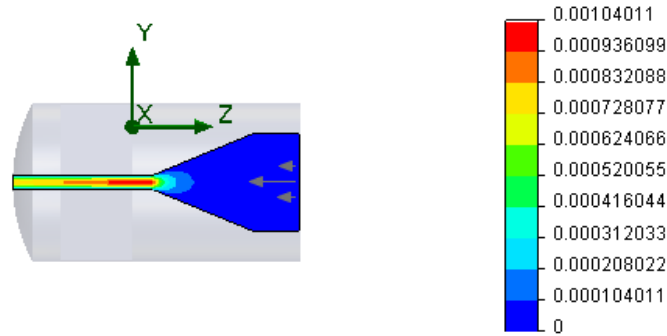


Figura 3-12 Velocidad del plástico (m/s) con 1 MPa.

El escurrimiento del plástico en el caso extremo de 1 MPa tendría una velocidad de 1.04 mm/s. Como el tiempo máximo de cada ciclo no rebasará los 30 segundos, el escurrimiento no sería demasiado.

Para sujetar la boquilla al cañón, ésta posee cuerda macho M36x2 con longitud de 35 mm. Como la fuerza de inyección actúa en dirección del eje de la cuerda sometiendo a tensión, el factor de seguridad FS para este elemento diseñado con UNS G41400 normalizado a 870°C es conseguido de la siguiente manera:

$$FS = \frac{S_y A_t}{F}$$

$$FS = \frac{S_y}{F} \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{d_p + d_r}{2} \right)^2 - (D_i)^2 \right)$$

$$FS = \frac{S_y}{F} \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{(D_o - 0.649519p) + (D_o - 1.226869p)}{2} \right)^2 - (D_i)^2 \right)$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
S_y	Límite de fluencia	655 MPa
F	Fuerza de inyección	24.036 KN
D_i	Diámetro interior de la boquilla	20.2 mm
D_o	Diámetro exterior de la cuerda	36 mm
p	Paso de la cuerda	2 mm
d_p	Diámetro de paso de la cuerda	
d_r	Diámetro de raíz de la cuerda	
A_t	Área del esfuerzo a tensión	

Al sustituir los valores:

$$FS = \frac{(655 \cdot 10^6)}{24036} \frac{\pi}{4} \left(\left(\frac{(0.036 - 0.649519(0.002)) + (0.036 - 1.226869(0.002))}{2} \right)^2 - (0.0202)^2 \right) = 16.1886$$

Por el acoplamiento con el molde, la parte delantera de la boquilla tiene un radio de 35 mm. La figura 3-13 muestra la boquilla diseñada.



Figura 3-13 Boquilla diseñada.

III.5 VÁLVULA ANTIRRETORNO

Durante la rotación del husillo la presión máxima del polímero fundido sería 1.577 MPa, como muestra la figura 3-14 de la simulación realizada mediante CFD (Dinámica de Fluidos Computacional).

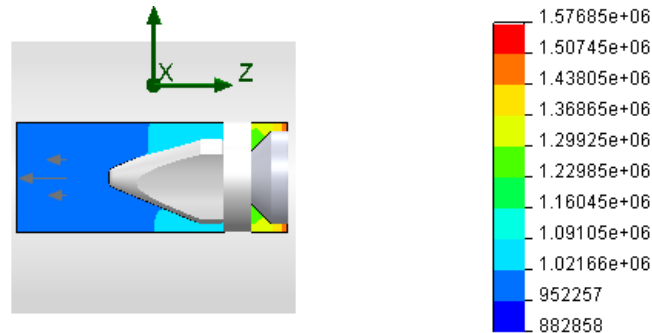


Figura 3-14 Presión (Pa) durante rotación del husillo.

Con UNS G41400 normalizado a 870°C para la válvula y el anillo, los esfuerzos estimados mediante CAE (Ingeniería Asistida por Computadora) durante la misma etapa que se muestran en la figura 3-15, no son dañinos.

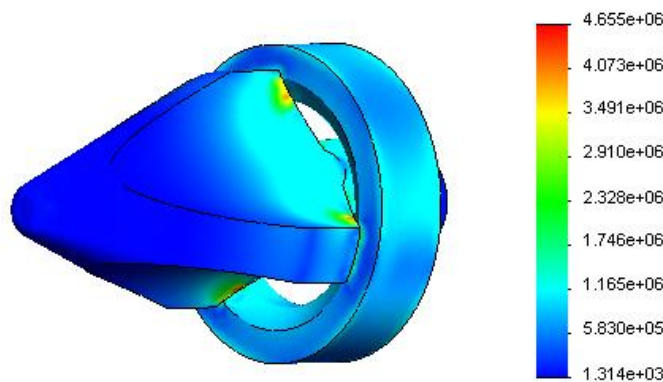


Figura 3-15 Esfuerzos (Pa) durante rotación del husillo.

Los esfuerzos estimados para la segunda etapa, en que el husillo actúa como pistón y la válvula impide el retorno del plástico, se muestran en la figura 3-16.

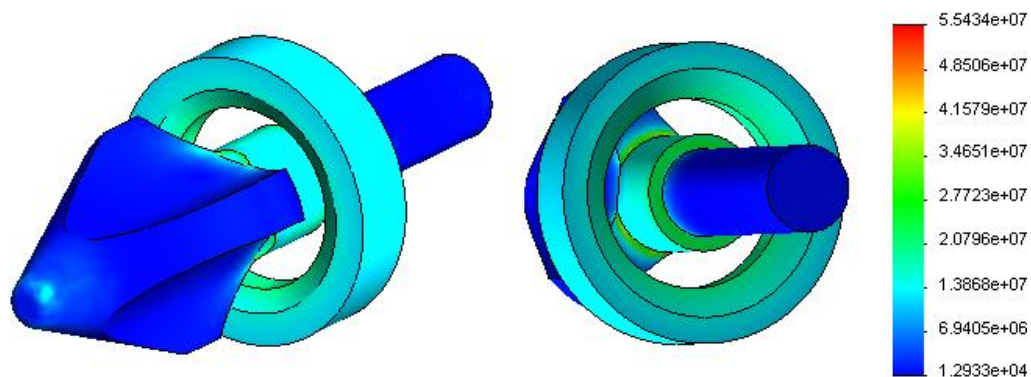


Figura 3-16 Esfuerzos (Pa) durante inyección.

Los esfuerzos en la válvula antirretorno y el anillo serían inofensivos. Las figura 3-16 también muestra la pestaña en la geometría posterior de la válvula, la cual está diseñada para apoyarse en el husillo y recibir así la carga durante la inyección.



Una cuerda izquierda M6x1 a lo largo de 18 mm es quien sujeta la válvula al husillo. Si la carga de inyección fuese aplicada a esta cuerda, indudablemente fallaría; es por eso que se diseñó la pestaña. Por si acaso, la fuerza máxima que podría resistir es:

$$F = \frac{S_y \pi \left(\frac{(D_o - 0.649519p) + (D_o - 1.226869p)}{2} \right)^2}{4}$$

$$F = \frac{(655 \cdot 10^6) \pi \left(\frac{(0.006 - 0.649519(0.001)) + (0.006 - 1.226869(0.001))}{2} \right)^2}{4} = 13.181 \text{ KN}$$

Poco más de la mitad de la fuerza necesaria para moldear el disco de 1 mm de espesor es lo que la cuerda resistiría. La válvula antirretorno con el anillo diseñados se observan en la figura 3-17.



Figura 3-17 Válvula antirretorno y anillo diseñados.

III.6 ENGRANAJE

Se emplea para transmitir el par de torsión y velocidad angular del motor hidráulico al eje del husillo. La nomenclatura fundamental para diseñar el engranaje se muestra en la figura 3-18.

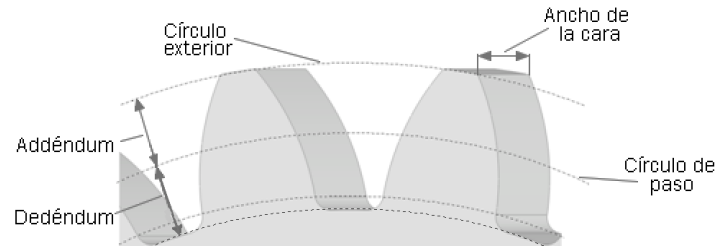


Figura 3-18 Nomenclatura de los dientes de engranes.

La relación de velocidad RV es 2. La velocidad de giro n del piñón es:

$$n_p = RV n_g = (2)(60) = 120 \text{ rpm}$$

El número de dientes del piñón N_p es 18 (mínimo recomendado para engranajes con ángulo de presión ϕ igual a 20°). El número de dientes del engrane es:

$$N_g = RV N_p = (2)(18) = 36$$

El módulo métrico m_m es 3. Los diámetros de paso del piñón D_p y del engrane D_g son:

$$D_p = N_p m_m = (18)(3) = 54 \text{ mm}$$

$$D_g = N_g m_m = (36)(3) = 108 \text{ mm}$$

La distancia entre centros C se determina con:

$$C = \frac{D_p + D_g}{2} = \frac{54 + 108}{2} = 81 \text{ mm}$$



Los diámetros exteriores del piñón D_{o_p} y del engrane D_{o_g} son:

$$D_{o_p} = m_m(N_p + 2) = 3(18 + 2) = 60 \text{ mm}$$

$$D_{o_g} = m_m(N_g + 2) = 3(36 + 2) = 114 \text{ mm}$$

Para hallar el addendum a y el dedendum b :

$$a = \frac{D_o - D}{2} = \frac{60 - 54}{2} = \frac{114 - 108}{2} = 3 \text{ mm}$$

$$b = m_m(1.25) = (3)(1.25) = 3.75 \text{ mm}$$

Sumando el addendum y dedendum se obtiene la altura total del diente h_t :

$$h_t = a + b = 3 + 3.75 = 6.75 \text{ mm}$$

El número promedio de dientes en contacto en cualquier instante (razón de contacto m_p) es:

$$m_p = \frac{N_p \sqrt{\left(\frac{D_p}{2} + a\right)^2 - \left(\frac{D_p}{2} \cos \phi\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{D_g}{2} + a\right)^2 - \left(\frac{D_g}{2} \cos \phi\right)^2} - C \sin \phi}{\pi D_p \cos \phi}$$

$$m_p = \frac{(18) \sqrt{\left(\frac{54}{2} + 3\right)^2 - \left(\frac{54}{2} \cos 20\right)^2} + \sqrt{\left(\frac{108}{2} + 3\right)^2 - \left(\frac{108}{2} \cos 20\right)^2} - (81) \sin \phi}{\pi (54) \cos 20} = 1.6111$$

La velocidad lineal v_t de un punto cualquiera en los círculos de paso es:

$$v_t = \omega r = \left(\frac{120(2\pi)}{60}\right)(0.027) = \left(\frac{60(2\pi)}{60}\right)(0.054) = 0.3393 \text{ m/s}$$

Recordando que la potencia \dot{W} indispensable para el husillo es 1/8 HP, la carga transmitida F_t se obtiene con:

$$F_t = \frac{\dot{W}}{v_t} = \frac{93.25}{0.3393} = 274.837 \text{ N}$$

Las fallas en los dientes de una rueda dentada recta se deben a la flexión, dado que el diente actúa como una viga cantilever en cuanto a que resiste a la fuerza que sobre él ejerce el diente que embona. La otra forma de falla es la picadura de la superficie de los dientes por esfuerzos muy altos debidos al contacto.

Con la ecuación de Lewis modificada se calcula el esfuerzo por flexión σ_t en el piñón y engrane:

$$\sigma_t = \frac{K_a K_s K_B K_m F_t}{K_v f m_m J}$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
K_a	Factor de aplicación para la resistencia a la flexión	1.75
K_s	Factor de tamaño para la resistencia a la flexión	1
K_B	Factor de espesor de la corona	1
K_m	Factor de distribución de la carga para la resistencia a la flexión	1.3
K_v	Factor de dinámica para la resistencia a la flexión	0.9
f	Ancho de la cara del diente	20 mm
J	Factor de geometría	$J_p = 0.31$; $J_g = 0.37$

K_a es porque el impulsor es de velocidad variable y el impulsado es un transportador. K_s es porque el módulo métrico es 3. Como el cociente del espesor de la corona (13.25 mm, considerando la flecha del motor con diámetro de 20 mm) entre h_t es mayor que 1.2, K_B es 1. K_m es porque f es 20 mm. K_v es para número de calidad AGMA $Q_v=5$ y $v_t=0.3393$ m/s.



Al sustituir los valores (m_m en esta ecuación es el diámetro de paso en metros entre el número de dientes):

$$\sigma_{tp} = \frac{(1.75)(1)(1)(1.3)(274.837)}{(0.9)(0.02)(0.003)(0.31)} = 37.351 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{tg} = \frac{(1.75)(1)(1)(1.3)(274.837)}{(0.9)(0.02)(0.003)(0.37)} = 31.294 \text{ MPa}$$

Los resultados obtenidos son válidos para condiciones de temperatura menor que 120°C, y para 10 millones de ciclos de carga en los dientes con una confiabilidad de 99%.

Con la siguiente ecuación se estima el esfuerzo debido al contacto o esfuerzo de Hertz:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{C_a C_s C_m F_t}{C_v f D_p \pi \left(\frac{1 - \nu_p^2}{E_p} + \frac{1 - \nu_g^2}{E_g} \right) \left(\frac{\cos \phi \sin \phi RV}{2(RV + 1)} \right)}}$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
ν_p	Relación de Poisson para el material del piñón	0.3
ν_g	Relación de Poisson para el material del engrane	0.3
E_p	Módulo de elasticidad para el material del piñón	207 GPa
E_g	Módulo de elasticidad para el material del engrane	207 GPa

$$C_a=K_a; C_s=K_s; C_m=K_m; C_v=K_v$$

Al sustituir los valores:

$$\sigma_c = \sqrt{\frac{(1.75)(1)(1.3)(274.837)}{(0.9)(0.02)(0.054)\pi \left(\frac{1 - 0.3^2}{207 \cdot 10^9} + \frac{1 - 0.3^2}{207 \cdot 10^9} \right) \left(\frac{(\cos 20)(\sin 20)(2)}{2(2+1)} \right)}} = 466.242 \text{ MPa}$$

Hasta esta parte puede concluirse que el límite de fluencia del material con que se fabrique el piñón y el engrane debe ser más alto que los resultados calculados para esfuerzos por flexión y por contacto. A modo de sugerencia, el aceros 1040 templado y revenido a 200°C ($S_y = 590 \text{ MPa}$ y 262 HB) satisface los requerimientos.

Para transmitir movimiento y potencia al husillo, la parte central del engrane está ranurada (las ranuras fueron diseñadas en la sección 3.2). En la figura 3-19 (A) se observan las ranuras del engrane, al mismo tiempo se muestra el cubo del engrane montado en un par de rodamientos.

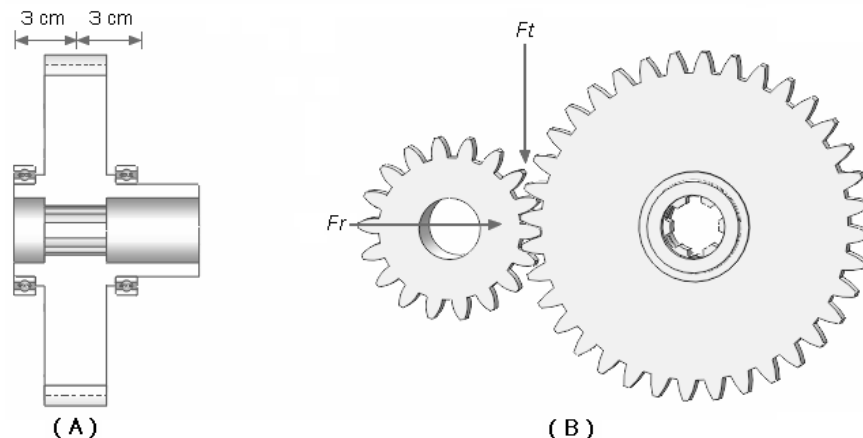


Figura 3-19 (A) Ranuras y apoyos del engrane. (B) Fuerzas tangencial y radial



En la figura 3-19 (B) se muestra la dirección de la fuerza tangencial F_t (274.837 N), y la fuerza radial F_r ($F_t \tan \phi = 100.032$ N) que actúan sobre el engrane. Los diagramas de cargas y momento flexionante son mostrados en la figura 3-20.

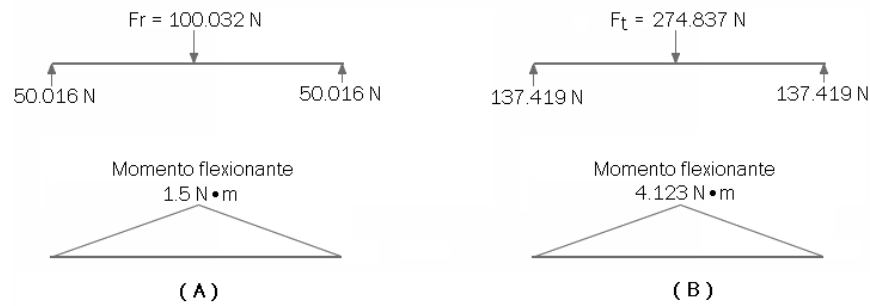


Figura 3-20 Diagrama de cargas y momento flexionante para: (A) Fuerza radial y (B) fuerza tangencial.

Para hallar el factor de seguridad FS del cubo del engrane se considera: un factor de tamaño C_s (gradiente de tensión y la probabilidad de que una sección presente una oclusión que puede ser el lugar en que se inicie una fractura por fatiga) igual a 0.85; un factor de confiabilidad C_R de 0.81 (confiabilidad del 99%); y la estimación del límite de la resistencia teórica a la fatiga S_f como la mitad de la resistencia a la tracción S_u . Al recordar que el límite de fluencia del material del engrane debe ser mayor que 500 MPa supondremos que la resistencia a la tracción es 700 MPa. Entonces la resistencia por durabilidad modificada es:

$$\dot{S}_f = S_f C_s C_R = 0.5 (700)(0.85)(0.81) = 240.975 \text{ MPa}$$

El momento flexionante M es:

$$M = \sqrt{M_r^2 + M_t^2} = \sqrt{1.5^2 + 4.123^2} = 4.387 \text{ N} \cdot \text{m}$$

Con la ecuación compatible de la norma ANSI/ASME B106.1M-1985, concentración de esfuerzos k_t igual a 3.5 (por haber chaflán con bordes cortantes en ambos lados), 30 mm en diámetro exterior del cubo y un límite de fluencia $S_y=500$ MPa, el factor de seguridad da:

$$FS = \frac{\pi (D_o^4 - D_i^4)}{32 D_o \sqrt{\left(\frac{k_t M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} = \frac{\pi (0.03^4 - 0.02^4)}{32 (0.03) \sqrt{\left(\frac{(3.5)(4.387)}{(240.975 \cdot 10^6)}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{14.841}{500 \cdot 10^6}\right)^2}} = 30.958$$

Puesto que el factor de seguridad es elevado, el engrane diseñado mostrado en la figura 3-21 no presentaría inconvenientes mecánicos.



Figura 3-21 Engrane diseñado.



En la figura 3-22 (A) se observa que el piñón, por su parte, se apoya únicamente en un rodamiento.

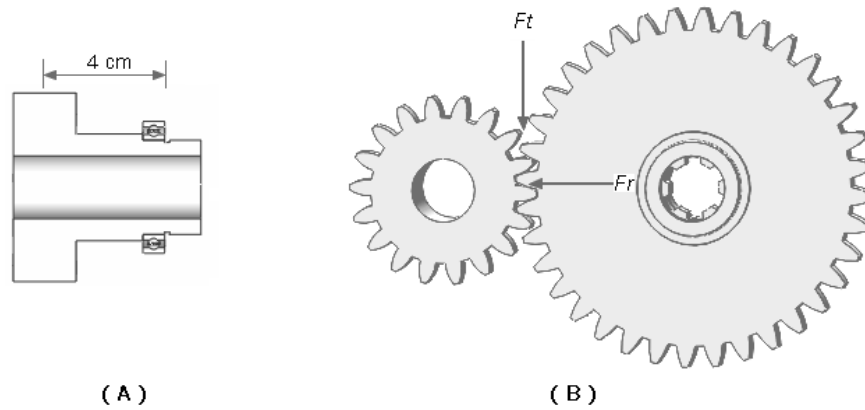


Figura 3-22 (A) Apoyo del piñón. (B) Fuerzas tangencial y radial

La figura 3-22 (B) muestra la dirección de la fuerza tangencial F_t (274.837 N), y la fuerza radial F_r ($F_t \tan \phi = 100.032$ N) que actúan sobre el piñón. Los diagramas de cargas y momento flexionante son mostrados en la figura 3-23.

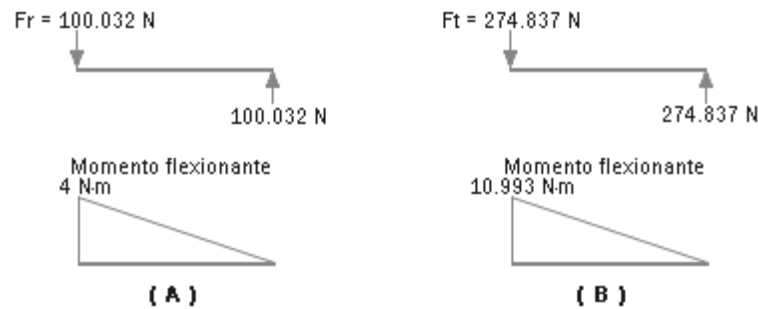


Figura 3-23 Diagrama de cargas y momento flexionante para: (A) Fuerza radial y (B) fuerza tangencial.

Para hallar el factor de seguridad FS del cubo del piñón se considera que la resistencia por durabilidad modificada es 240.975 MPa, la misma que en el engrane. El momento flexionante M es:

$$M = \sqrt{M_r^2 + M_t^2} = \sqrt{4^2 + 10.993^2} = 11.699 \text{ N}\cdot\text{m}$$

Con la ecuación compatible de la norma ANSI/ASME B106.1M-1985, concentración de esfuerzos k_t igual a 4.5 (por haber ranura y cuñero), 30 mm en diámetro exterior del cubo, un límite de fluencia $S_y=500$ MPa y suponiendo la flecha del motor con diámetro de 20mm, el factor de seguridad da:

$$FS = \frac{\pi (D_o^4 - D_i^4)}{32 D_o \sqrt{\left(\frac{k_t M}{S_f}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{T}{S_y}\right)^2}} = \frac{\pi (0.03^4 - 0.02^4)}{32 (0.03) \sqrt{\left(\frac{(4.5)(11.699)}{(240.975 \cdot 10^6)}\right)^2 + \frac{3}{4} \left(\frac{7.421}{(500 \cdot 10^6)}\right)^2}} = 9.719$$

El factor de seguridad es aceptable para el piñón diseñado que se observa en la figura 3-24.

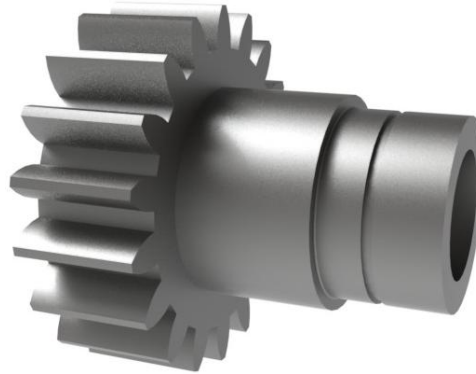


Figura 3-24 Piñón diseñado.

III.7 RODAMIENTOS

Los rodamientos son el apoyo que permite el movimiento angular al engranaje. Para esta máquina se ocupan tres rodamientos radiales de bolas: dos para el engrane y uno para el piñón. La selección de los rodamientos se hace en función del tamaño y las cargas en el elemento que alojan.

Los tres rodamientos tienen un diámetro interior de 30 mm, cuya capacidad de carga dinámica C suele ser 4.49 KN y la capacidad de carga estática C_0 usualmente es 2.9 KN. El rodamiento del piñón es el que soporta la mayor carga (274.837 N), por lo que la estimación de vida útil L es hecha para este componente.

$$L = \left(\frac{C}{F}\right)^3 = \left(\frac{4490}{274.837}\right)^3 = 4360.27 \text{ millones de revoluciones}$$

En la figura 3-25 se muestra el rodamiento seleccionado.



Figura 3-25 Rodamiento seleccionado.

III.8 BRIDA

Es el elemento del sistema de inyección que retiene la cámara de plastificación a la placa del barril. Como muestra la figura 3-26, el cañón está soldado a la brida, y ésta a su vez sujeta a la placa por medio de tornillos.

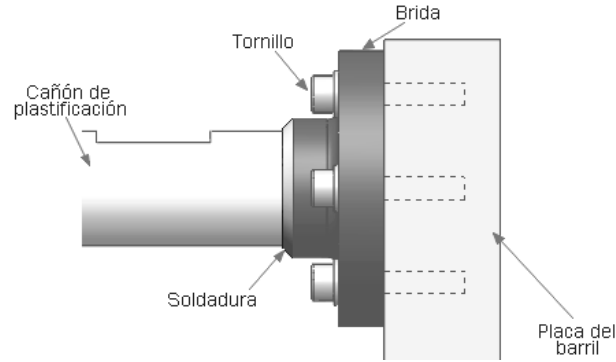


Figura 3-26 Montaje de brida.

Para conocer los esfuerzos en la soldadura se le trata como una línea que está sometida a un esfuerzo combinado por tensión y flexión. Es preciso saber que la masa de la cámara es 6.397 Kg, y considerar que la tolva ejerce una fuerza de 50 N a 7 cm de la soldadura.

$$\sigma_s = \sigma_t + \sigma_f = \frac{F}{A_w} + \frac{M}{Z_w} = \frac{F}{\pi D} + \frac{4M}{\pi D^2}$$

Donde:

Literal	Qué representa	Valor
F	Fuerza de inyección	24.036 KN
D	Diámetro de la soldadura	50 mm
σ_s	Esfuerzos en la soldadura	
σ_t	Esfuerzo por tensión	
σ_f	Esfuerzo por flexión	
M	Momento flexionante	
A_w y Z_w	Factores de geometría para el análisis de soldadura	

Al sustituir valores:

$$\sigma_s = \frac{24036}{\pi(0.05)} + \frac{4((6.397)(9.81)(0.22) + 50(0.07))}{\pi(0.05)^2} = 161.832 \text{ KN/m}$$

Asumiendo que la longitud de lado b de la soldadura (figura 3-27) es 5 mm, el esfuerzo en la soldadura sería:



Figura 3-27 Soldadura de chaflán sin preparación en los bordes.

$$\sigma_s = \frac{\sigma_s}{b} = \frac{161832}{0.005} = 32.366 \text{ MPa}$$

La brida requiere soldadura con resistencia a la tensión mayor que 33 MPa.

Los tornillos para la brida, al igual que la soldadura, están sometidos a esfuerzo combinado tensión y flexión, así que por superposición (aquí el esfuerzo es calculado para el barril, que es el que por medio de la soldadura está sujeto a la brida):

$$\sigma_B = \sigma_t + \sigma_f = \frac{F}{A} + \frac{Mc}{I} = \frac{4F}{\pi(D_o^2 - D_i^2)} + \frac{64Mc}{\pi(D_o^4 - D_i^4)}$$

$$\sigma_B = \frac{4(24036)}{\pi(0.05^2 - 0.0202^2)} + \frac{64((6.397)(9.81)(0.24) + 50(0.11))(0.025)}{\pi(0.05^4 - 0.0202^4)} = 16.35 \text{ MPa}$$



La fuerza a que está sometido el barril, y por lo tanto también la brida será

$$F = \sigma_B A = 16.35 \cdot 10^6 \left(\frac{\pi}{4} (0.05^2 - 0.0202^2) \right) = 26.864 \text{ KN}$$

Para hallar el área de los tornillos (con esfuerzo permisible en el material de los tornillos igual a 100 MPa):

$$A_t = \frac{F}{\sigma_{\text{tornillos}}} = \frac{26864}{100 \cdot 10^6} = 268.642 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Con un arreglo con seis tornillos (con paso p de 1.5 mm) el diámetro nominal de cada uno es:

$$A_t = \frac{6 \pi \left(\frac{(D_o - 0.649519p) + (D_o - 1.226869p)}{2} \right)^2}{4}$$

$$D_o = \frac{2 \left(\sqrt{\frac{4 A_t}{6 \pi}} \right) + 1.876388 p}{2} = \frac{2 \left(\sqrt{\frac{4 (268.642 \cdot 10^{-6})}{6 \pi}} \right) + 1.876388 (0.0015)}{2} = 8.958 \text{ mm}$$

En consecuencia, los seis tornillos son DIN 912 M10x55 (o cualquier similar).

El material con que está diseñada la brida es fundición gris ($S_u = 151.658 \text{ MPa}$). Los esfuerzos estimados en este elemento, considerando la soldadura y los tornillos, se muestran en la figura 3-28. El factor de seguridad sería 2.795, que resulta un factor de seguridad aceptable para este elemento.

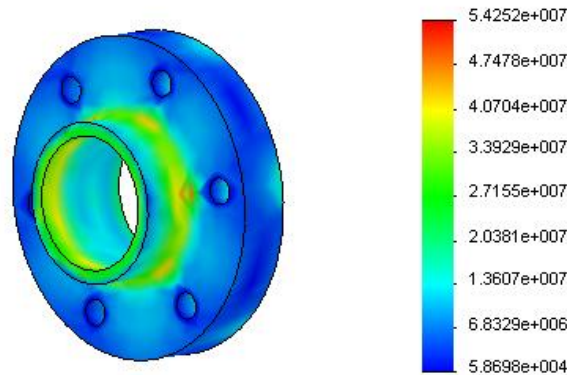


Figura 3-28 Esfuerzos en la brida (Pa).

La figura 3-29 muestra la brida diseñada.

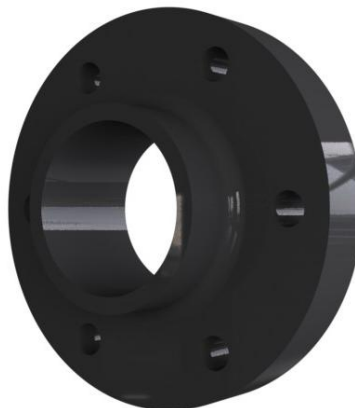


Figura 3-29 Brida diseñada.



III.9 PLACAS DEL BARRIL Y DE LOS RODAMIENTOS

Ambas placas son de acero estructural ASTM A36, cuyo límite de fluencia es 250 MPa. Las dimensiones de las placas son 30x21.5x5.08 cm.

La placa del barril (soldada en los lados mayores de su base, figura 3-30) sostiene al cañón de plastificación, a la brida, y aloja un rodamiento para el engrane. El tipo de carga a que está sometida esta placa es a flexión. La fuerza para calcular el momento flexionante es la fuerza de inyección. Al tratar a la soldadura como una línea se obtiene la carga de la forma siguiente:

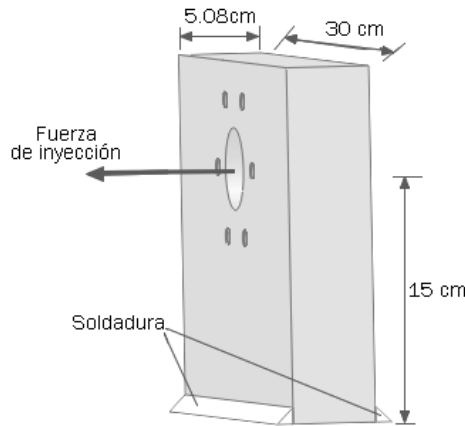


Figura 3-30 Placa del barril soldada.

$$\sigma_s = \frac{M}{Z_w} = \frac{24036 (0.15)}{(0.3) (0.0508)} = 236.575 \text{ KN/m}$$

Al asumir que la longitud de lado b de la soldadura (figura 3-27) es 10 mm, la tensión en la soldadura sería:

$$\sigma_s = \frac{\sigma_s}{b} = \frac{236575}{0.01} = 23.658 \text{ MPa}$$

La placa del barril requiere soldadura con resistencia a la tensión mayor que 24 MPa. Los esfuerzos en esta placa se muestran en la figura 3-31. El esfuerzo máximo es igual a 5.425 MPa, por lo que es inofensivo.

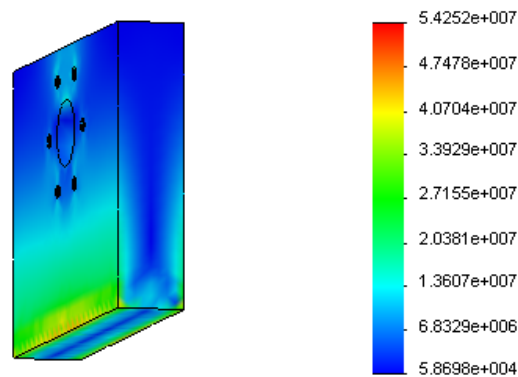


Figura 3-31 Esfuerzos en la placa del barril (Pa).



En la figura 3-32 puede observarse a la placa del barril diseñada.



Figura 3-32 Placa del barril diseñada.

La placa de los rodamientos únicamente sirve de apoyo a un rodamiento del engrane y al rodamiento del piñón, por lo que las cargas sobre ella se consideran despreciables. El diseño de esta placa es de acuerdo a la disposición de los rodamientos. La placa de los rodamientos se muestra en la figura 3-33.



Figura 3-33 Placa de los rodamientos diseñada.

III.10 ENSAMBLE DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

Las características del motor hidráulico deben ser: por lo menos 1/8 HP, y 120 rpm de velocidad en la flecha. El cilindro hidráulico de simple acción y sin muelle necesita una carrera de 10 cm con 25 KN de fuerza. La tolva, por su parte, solamente debe almacenar los gránulos de plástico y permitir que deslicen hacia dentro del cañón.

Las figuras 3-34 a 3-38 muestran el sistema de inyección completo.

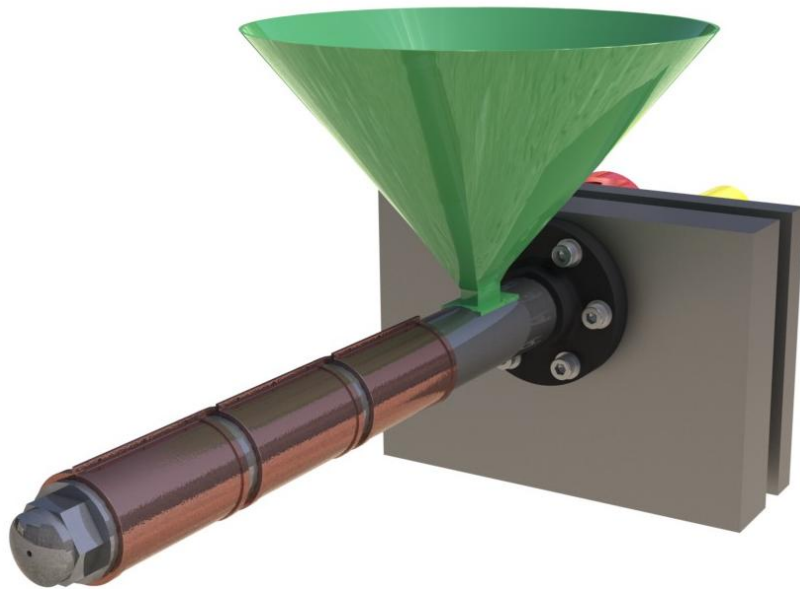


Figura 3-34 Sistema de inyección diseñado.

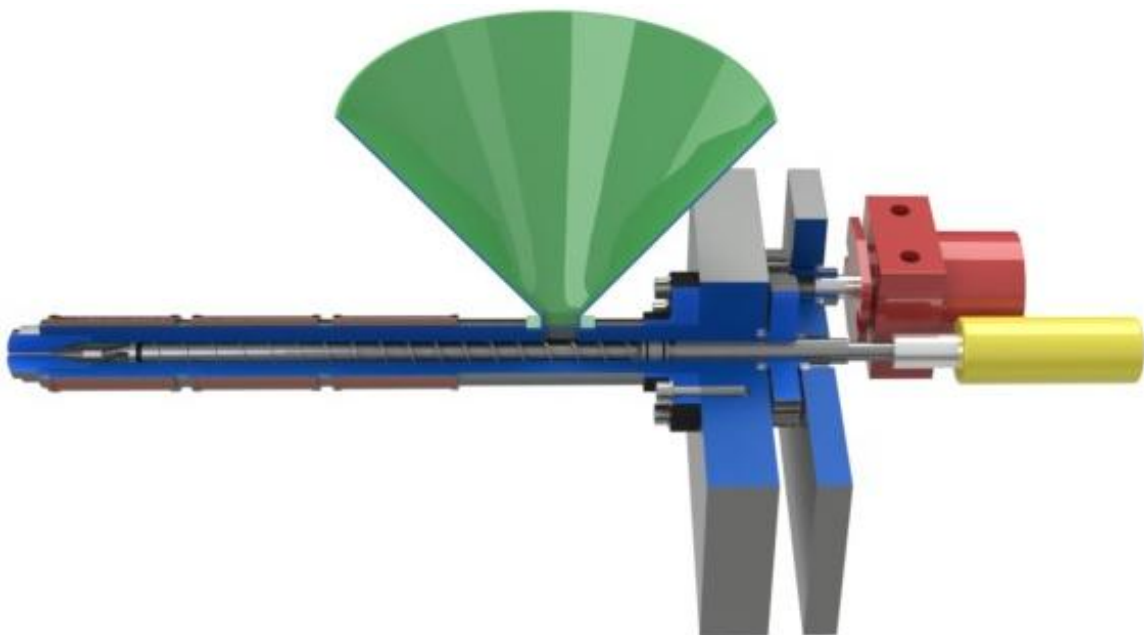


Figura 3-35 Vista seccionada del sistema de inyección.

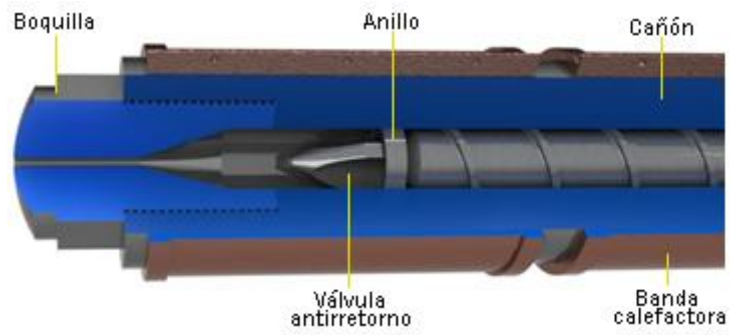


Figura 3-36 Parte anterior del sistema de inyección.

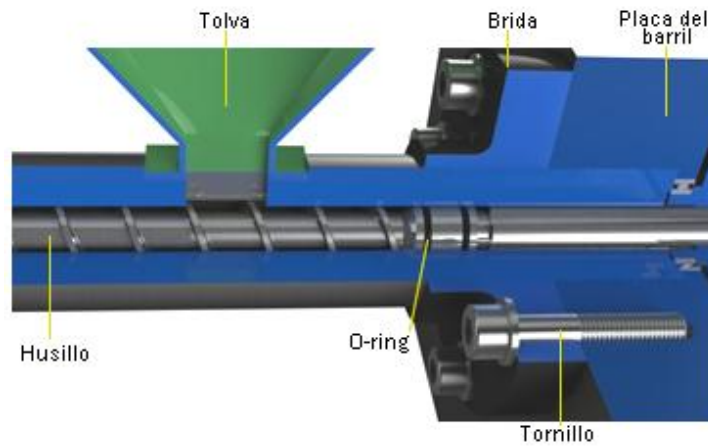


Figura 3-37 Parte media del sistema de inyección.

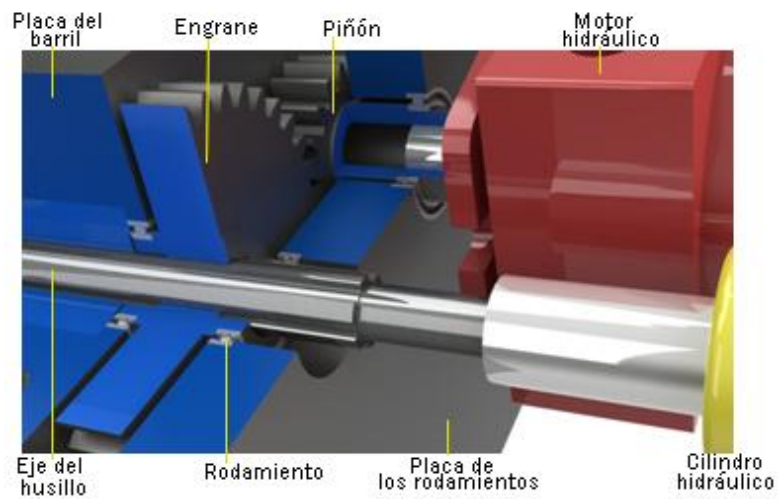


Figura 3-38 Parte posterior del sistema de inyección.

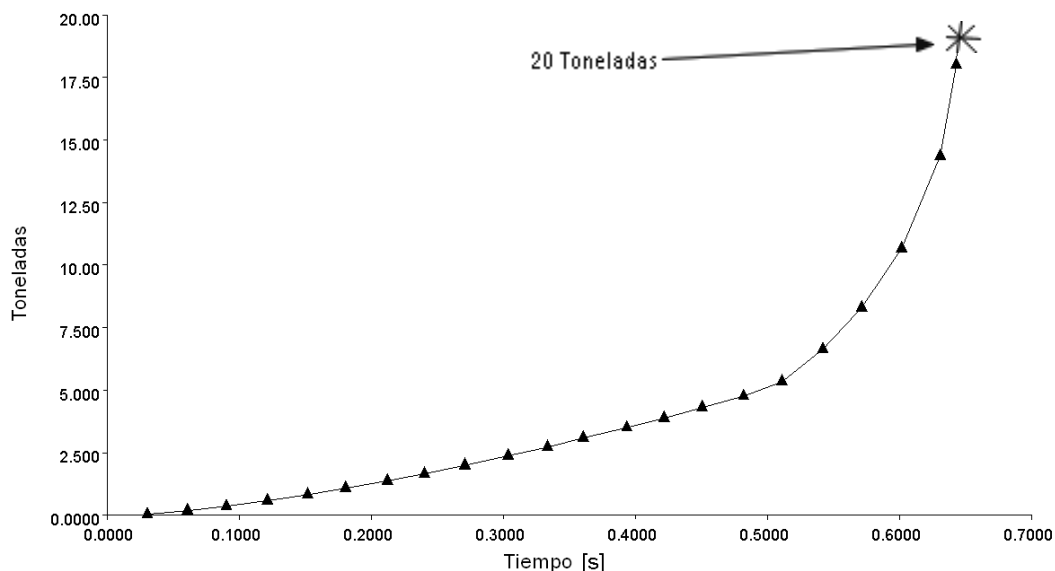
IV

DISEÑO Y ANÁLISIS DEL SISTEMA DE CIERRE

Este sistema está constituido por la placa de la boquilla, la placa de cierre, la placa del cilindro, las columnas guía, los expulsores y el cilindro hidráulico.

El parámetro significativo del sistema de cierre es la fuerza que no permite que se abra el molde mientras el plástico es inyectado. Dicha fuerza es proporcional al área de la sección transversal de la pieza (o piezas) a fabricar, normal al eje de la boquilla.

La fuerza de cierre demandada para moldear el disco de 1 mm es 43 Ton; pero, el tamaño de este molde sería por lo menos 22 x 22 cm (un molde muy grande para esta inyectora). Por otro lado, para fabricar una placa cuadrada de 13 cm por lado con 1.5 mm de espesor la fuerza requerida no rebasaría las 20 Ton (gráfica 4-1); en consecuencia, la fuerza de cierre para esta máquina será de 25 Ton.



Gráfica 4-1 Fuerza de cierre vs Tiempo para moldear la placa de 20 gr.

Para la inyectora diseñada el cierre del molde se efectúa por medio de un pistón (cierre directo), por lo que la fuerza con que el molde se mantiene cerrado es la fuerza del cilindro hidráulico. No se confunda al cilindro hidráulico del sistema de cierre con el cilindro al que se acopla el husillo para la inyección.

El análisis para los componentes de este sistema es realizado con ayuda de una computadora (de esta manera se considera la interacción entre los elementos). Los valores de los esfuerzos son del mismo estudio del ensamblaje, con lo que los esfuerzos máximos no se encuentran necesariamente en todos los componentes.

La simulación del sistema es realizada con la siguiente aclaración pertinente: el cilindro hidráulico se controla de tal manera que una vez el vástago alcanza la carrera deseada, entonces actúan las 25 Ton que impiden la apertura del molde.



IV.1 PLACA DE LA BOQUILLA

Soporta la mitad del molde correspondiente al lado de la boquilla. Sus dimensiones son 30 x 30 x 5.08 cm, y el material con que está diseñada es acero estructural ASTM A36 con límite de fluencia de 250 MPa. Los esfuerzos estimados en esta placa fija en su base (producto de esfuerzos por flexión) se muestran en la figura 4-1, los cuales no alcanzarían los 60 MPa.

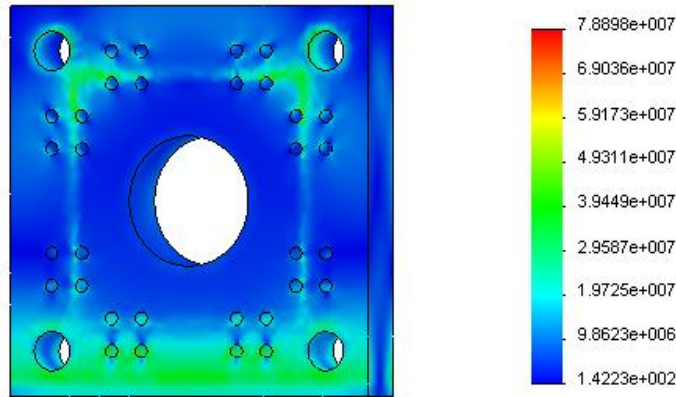


Figura 4-1 Esfuerzos en placa de la boquilla (Pa).

Las distribuciones del factor de seguridad se observan en la figura 4-2. El factor de seguridad mínimo sería 4.32, por lo que el diseño es aceptable.

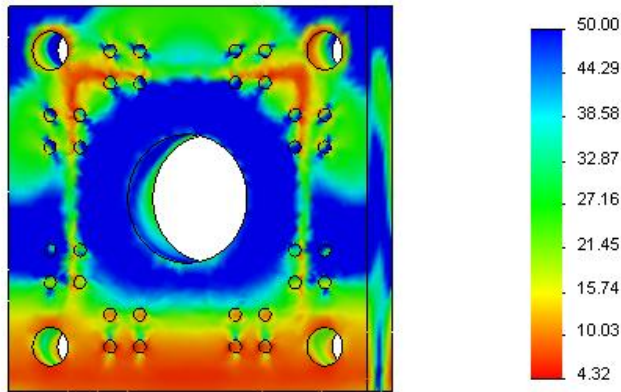


Figura 4-2 Factor de seguridad en placa de la boquilla.

La perforación del centro es por donde la boquilla entra para hacer contacto con el molde. El arreglo de barrenos con diámetro de 10 mm es para sujetar el molde. La placa diseñada se muestra en la figura 4-3.

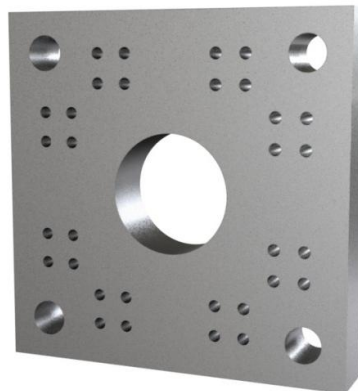


Figura 4-3 Placa de la boquilla diseñada.



IV.2 PLACA DE CIERRE

Esta placa soporta la mitad del molde que abre y cierra. Está diseñada con las mismas dimensiones y material que la placa de la boquilla. Los esfuerzos estimados en esta placa (producto de la compresión por la pieza que la une al vástago del cilindro) se muestran en la figura 4-4, los cuales no superarían los 50 MPa.

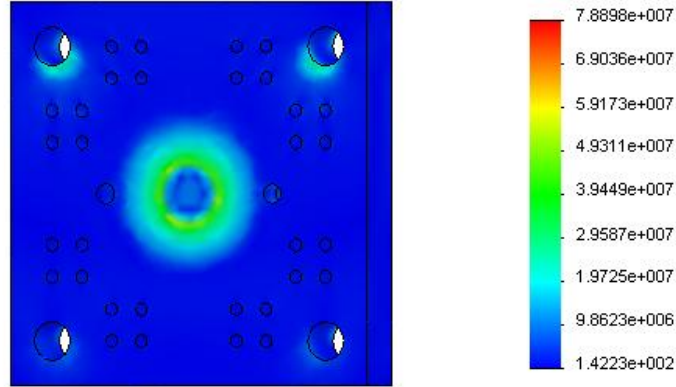


Figura 4-4 Esfuerzos en placa de cierre (Pa).

Las distribuciones del factor de seguridad se observan en la figura 4-5. El factor de seguridad mínimo sería 5.64, por lo que el diseño es aceptable.

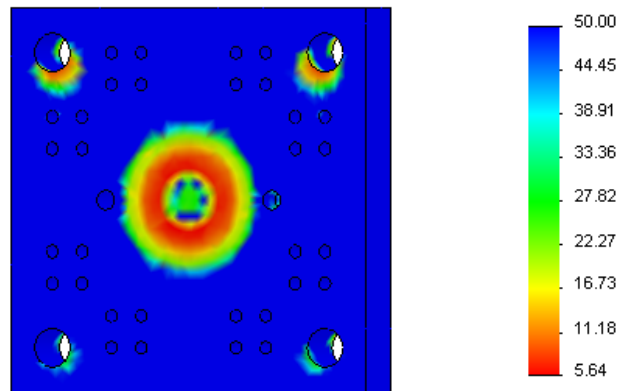


Figura 4-5 Factor de seguridad en placa de cierre.

El arreglo de barrenos con diámetro de 10 mm es para sujetar el molde. El par de perforaciones del centro es para los expulsores. Cada perforación de las columnas guía lleva también alojamiento para dos anillos tóricos con diámetro interior y exterior de 29.51 y 40.17 mm, respectivamente, cuyas dimensiones se especifican en el plano de la pieza. La placa diseñada se muestra en la figura 4-6.

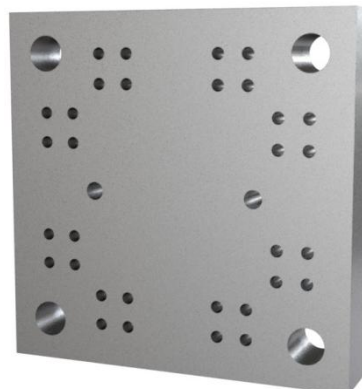


Figura 4-6 Placa de cierre diseñada.



IV.3 PLACA DEL CILINDRO

Esta placa sirve de apoyo al cilindro hidráulico y sostiene los expulsores. Al igual que las otras placas, está diseñada con ASTM A36 y sus dimensiones son 30 x 30 x 5.08 cm. Los esfuerzos estimados en esta placa fija en su base (producto de esfuerzos por flexión) se muestran en la figura 4-7, los cuales no alcanzarían los 80 MPa.

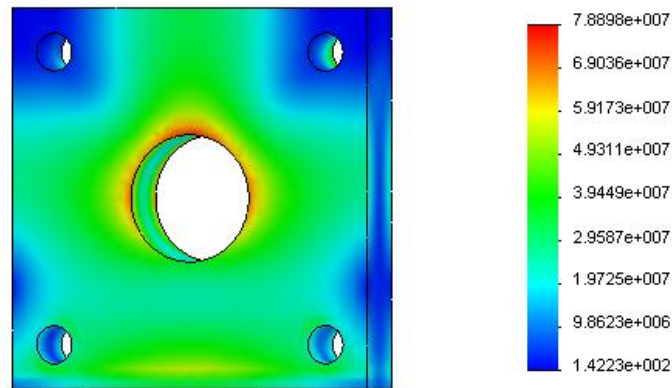


Figura 4-7 Esfuerzos en placa del cilindro (Pa).

Las distribuciones del factor de seguridad se observan en la figura 4-8. El factor de seguridad mínimo sería 3.27, por lo que el diseño es aceptable.

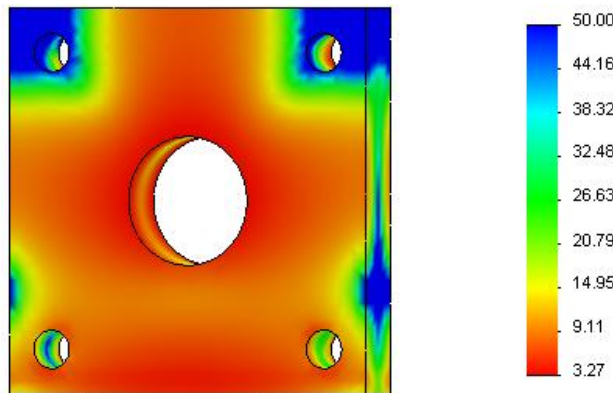


Figura 4-8 Factor de seguridad en placa del cilindro.

La perforación del centro es por donde entra el cilindro hidráulico, que puede variar según las dimensiones de éste. La placa del cilindro diseñada se muestra en la figura 4-9.

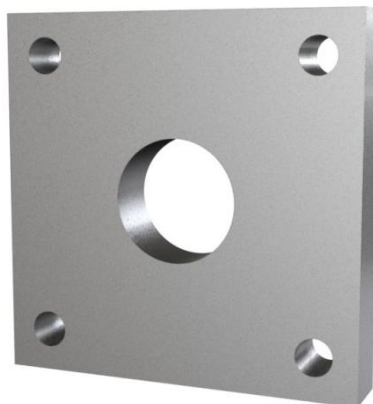


Figura 4-9 Placa del cilindro diseñada.



IV.4 COLUMNAS GUÍA

Son cuatro columnas diseñadas con acero UNS G10200 ($S_y = 351$ MPa) de 3 cm de diámetro con 60 de longitud, y roscadas en los extremos para con tuercas sujetarse a las placas de la boquilla y del cilindro. Estas columnas son las guías de la placa de cierre, restringiendo su movimiento a una sola dirección. Los esfuerzos estimados en las columnas (producto de esfuerzos por la tracción del cilindro hidráulico, y flexión por el peso de la placa de cierre) se muestran en la figura 4-10, los cuales no superarían los 80 MPa.

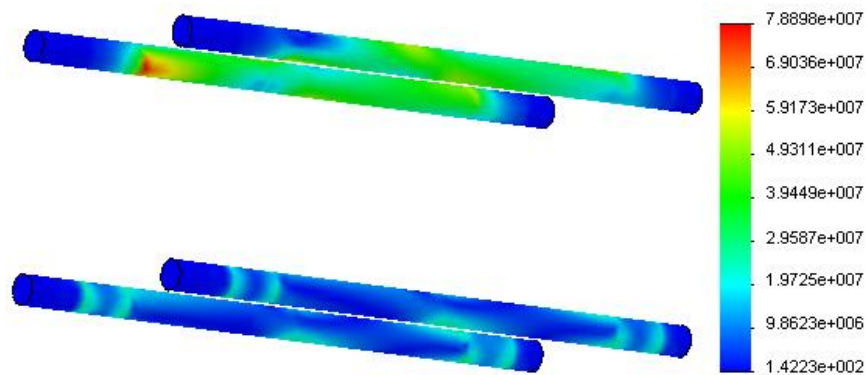


Figura 4-10 Esfuerzos en las columnas guía (Pa).

Las distribuciones del factor de seguridad se observan en la figura 4-11. El factor de seguridad mínimo sería 4.46, por lo que el diseño es aceptable.

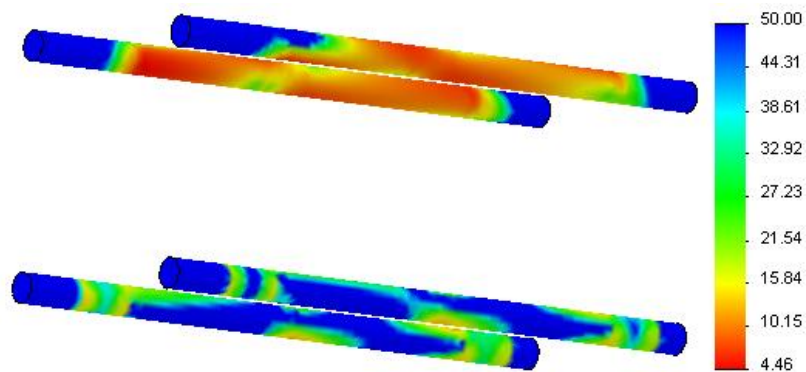


Figura 4-11 Factor de seguridad en columnas guía.

La separación entre cada columna es de 23 cm, por lo que el espacio entre columnas es 20 x 20 cm. Con un molde de 19 x 19 cm es posible moldear una placa cuadrada de 13 cm con 1.5 mm de espesor. Las tuercas para sujetar con las placas son DIN 28674 M30x2. Una columna guía diseñada se muestra en la figura 4-12.



Figura 4-12 Columna guía diseñada.



IV.5 APOYO DEL VÁSTAGO

Es la pieza que conecta el vástago del cilindro hidráulico con la placa de cierre. En realidad sus dimensiones dependen del vástago del cilindro. Para el análisis se consideró que el apoyo tiene 10 cm de diámetro exterior y 5 de diámetro interior. Está diseñado con acero UNS G10200. Sus esfuerzos estimados se muestran en la figura 4-13, los cuales no alcanzarían los 80 MPa.

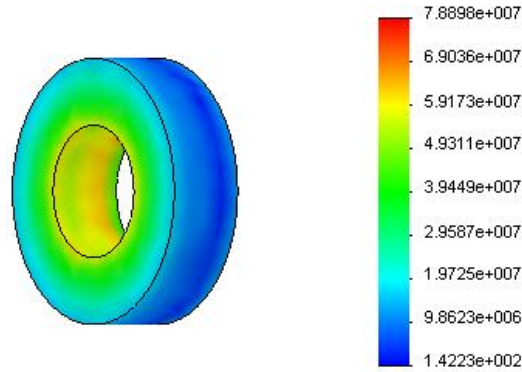


Figura 4-13 Esfuerzos en apoyo del vástago (Pa).

Las distribuciones del factor de seguridad pueden observarse en la figura 4-14. El factor de seguridad mínimo sería 4.6, por lo que el diseño es aceptable.

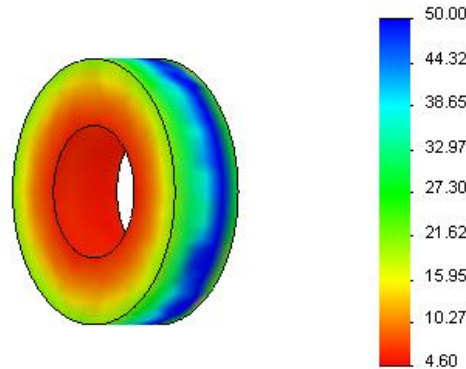


Figura 4-14 Factor de seguridad en apoyo del vástago.

El vástago del cilindro debe tener cuerda macho para sujetarse al apoyo. El factor de seguridad para la rosca M50x1.5 está dado por:

$$FS = \frac{S_y}{F} \frac{\pi}{4} \left(\frac{(D_o - 0.649519p) + (D_o - 1.226869p)^2}{2} \right)$$

$$FS = \frac{(351 \cdot 10^6)}{250000} \frac{\pi}{4} \left(\frac{((0.05 - 0.649519(0.0015)) + (0.05 - 1.226869(0.0015))^2)}{2} \right) = 2.604$$

El factor de seguridad demuestra que la cuerda sería aceptable. El apoyo del vástago diseñado mostrado en la figura 4-15 está soldado a la placa de cierre. Los esfuerzos en la soldadura son mínimos, por ello su cálculo se omite.



Figura 4-15 Apoyo del vástago diseñado.



IV.6 EXPULSORES

Una vez que la pieza inyectada solidifica, la mitad del molde correspondiente a la placa de cierre es abierta por el retorno del vástago del cilindro. Durante el retroceso de la placa de cierre, los expulsores (que permanecen inmóviles) al hacer contacto con el molde activan los botadores en éste. Los esfuerzos en los expulsores se deben a la resistencia que la pieza inyectada presente para separarse del molde.

El sistema de cierre cuenta con dos expulsores. Cada expulsor es una varilla de 12.7 mm de diámetro y 120 mm de longitud soldada en un extremo a una lámina de calibre 6, que a su vez se fija a la placa del cilindro por medio de dos tornillos.

La carga máxima por pandeo que podría soportar cada varilla, considerando un extremo libre y el otro empotrado, es:

$$\text{Carga de Pandeo} = \frac{\pi^2 E I}{4 L^2} = \frac{\pi^2 (207 \cdot 10^9) (0.0127^4 / 64)}{4 (0.15)^2} = 28.988 \text{ KN}$$

La figura 4-16 se observa un expulsor diseñado.

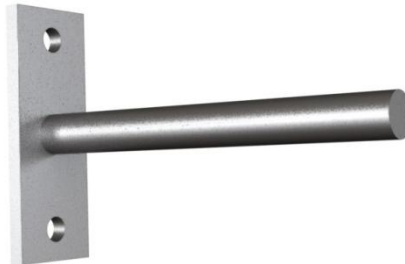


Figura 4-16 Expulsor diseñado.

IV.7 ENSAMBLE DEL SISTEMA DE CIERRE

El análisis completo del sistema de cierre puede observarse en la figura 4-17. El molde usado para el estudio posee las dimensiones máximas que puede tener: 19 x 19 cm con espesor de 20 cm.

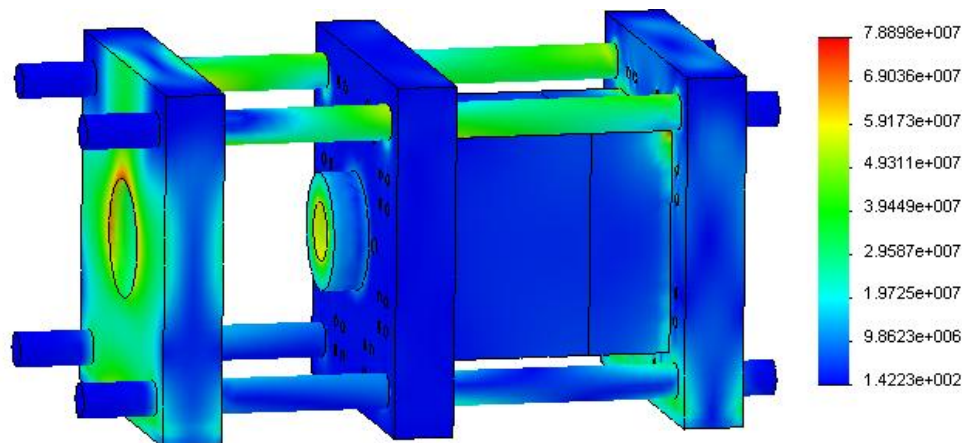


Figura 4-17 Esfuerzos en el sistema de cierre (Pa).

Las características del cilindro hidráulico deben ser: doble acción con carrera de 10 cm y 25 Ton de fuerza. Las figuras 4-18 a 4-20 muestran el sistema de cierre completo.

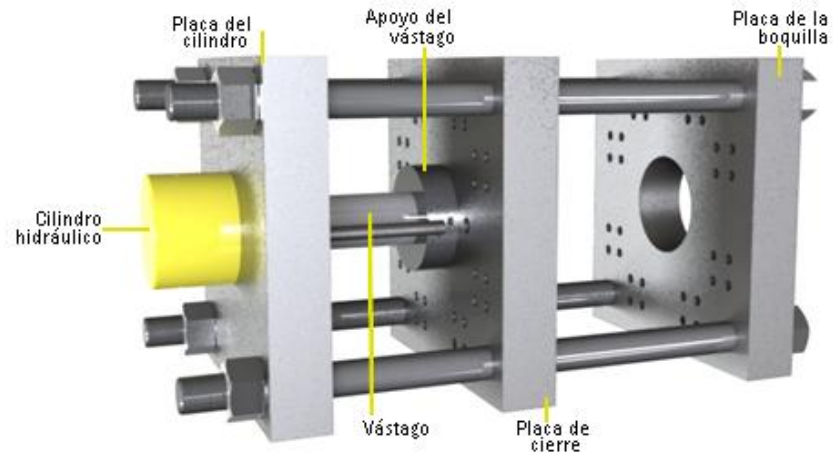


Figura 4-18 Sistema de cierre (vástago extendido).

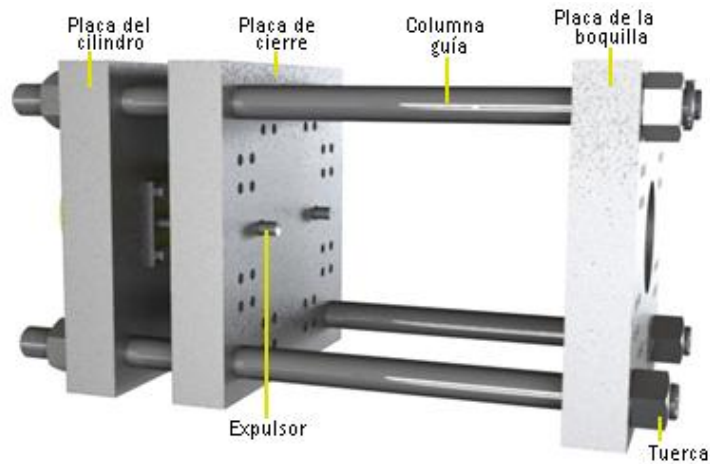


Figura 4-19 Sistema de cierre (vástago contraído).

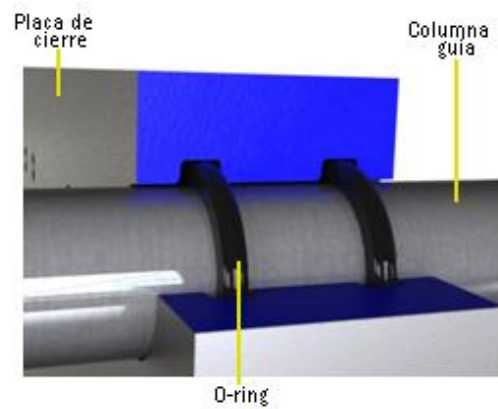


Figura 4-20 Vista seccionada de la placa de cierre.

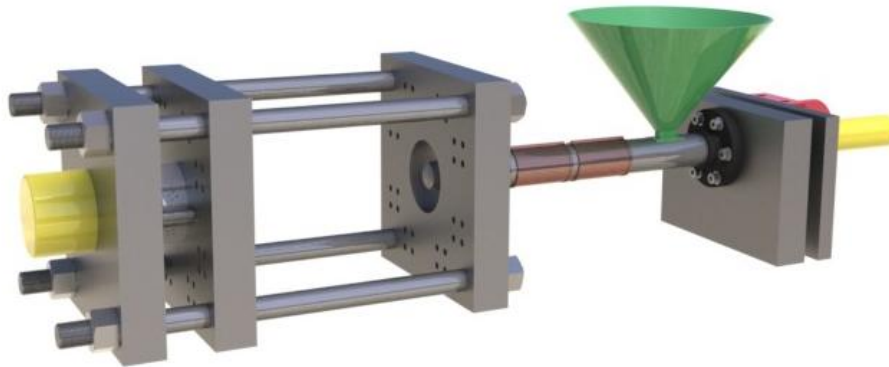
CONCLUSIONES

Gracias a la literatura disponible y los CAD, CAE y CFD, se diseñó el sistema de inyección y el sistema de cierre de una máquina didáctica de inyección de plástico de cámara horizontal. Algunos elementos de la máquina se diseñaron en base a ecuaciones tomadas de libros y manuales. Para el diseño de algunos otros elementos fue indispensable la ayuda de la computadora.

La inyectora diseñada permitirá moldear polietileno de alta densidad; aunque, si se deseara inyectar cualquier otro termoplástico, habría que variar parámetros como: temperatura en el barril de plastificación, velocidad angular del husillo, velocidad de inyección, presión de inyección, por ejemplo.

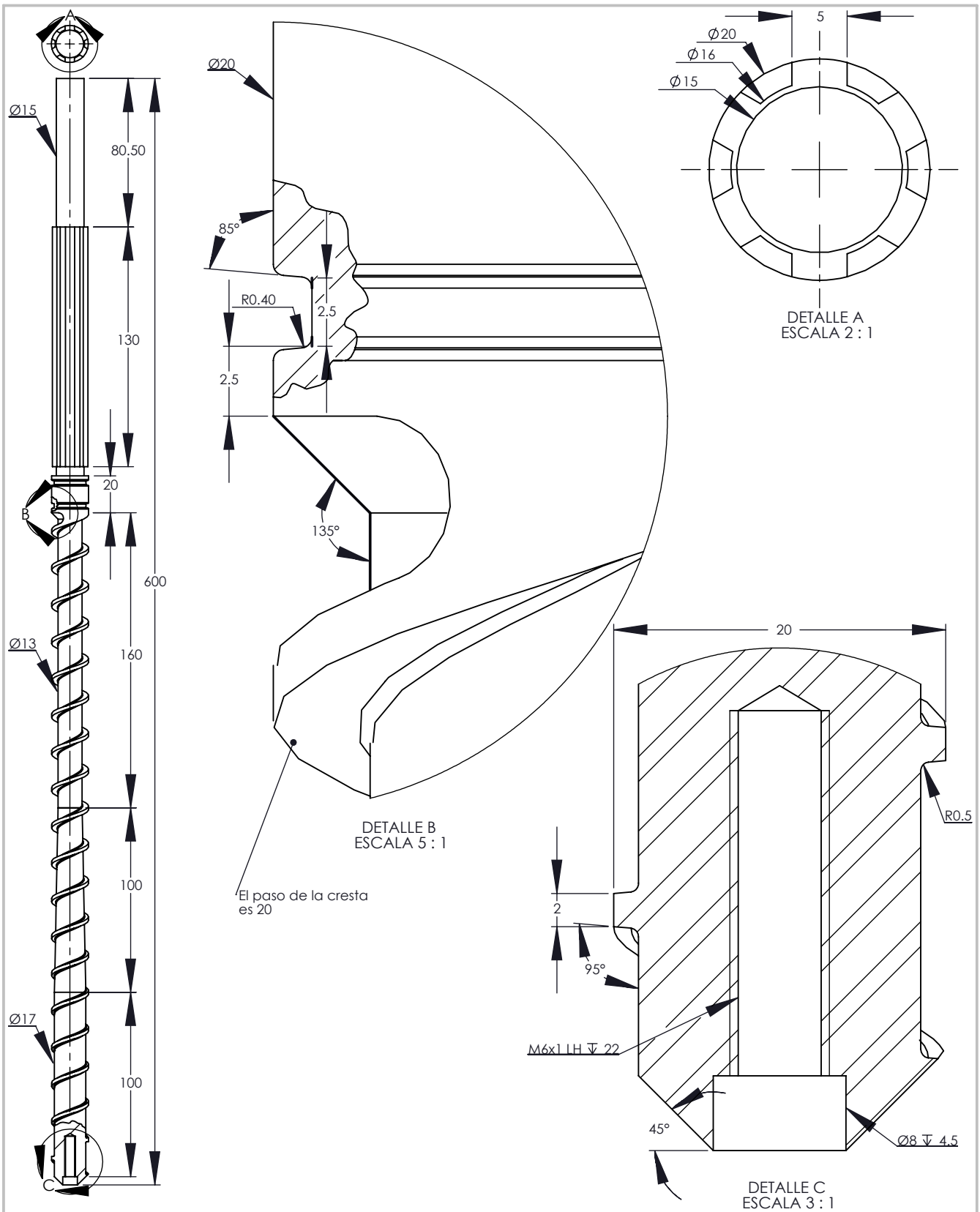
Las propiedades mecánicas de los materiales con que fueron diseñados los componentes de la inyectora fueron tomadas de tablas halladas en libros y manuales. Los materiales con que se diseñó la máquina son económicamente accesibles y pueden ser adquiridos dentro de la República sin necesidad de importación, aunque, los valores de las propiedades de los materiales de fabricación nacional pueden variar con respecto a los valores considerados en esta tesis.

A continuación se muestra la máquina de inyección diseñada y se enlistan algunas características:



Capacidad de disparo	20 g
Máxima presión de inyección	75 MPa
Diámetro del husillo	20 mm
Relación del husillo L/D	18
Carrera del husillo	100 mm
Fuerza de cierre	25 Ton
Carrera de la placa de cierre	100 mm
Diámetro de las columnas guía	30 mm
Distancia entre columnas	200x200 mm
Espesor máximo del molde	200 mm
Ancho de la máquina	300 mm
Alto de la máquina	300 mm (sin tolva)
Longitud de la máquina	≈ 1.5 m (cilindros y motor incluidos)

ANEXO DE PLANOS



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 21 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:3

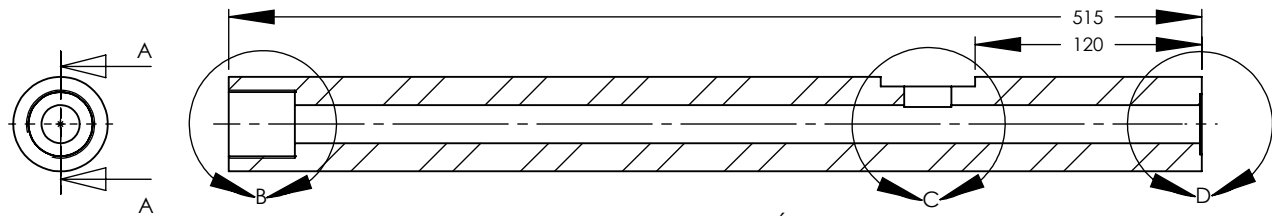
MATERIAL: UNS G4140
NORMALIZADO A 1600°F

TÍTULO:

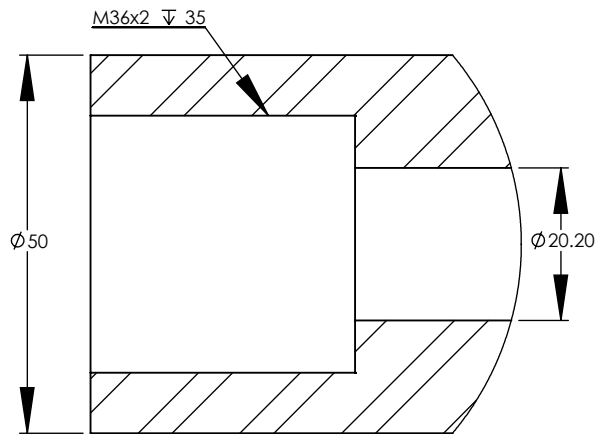
HUSILLO

N.º DE DIBUJO:

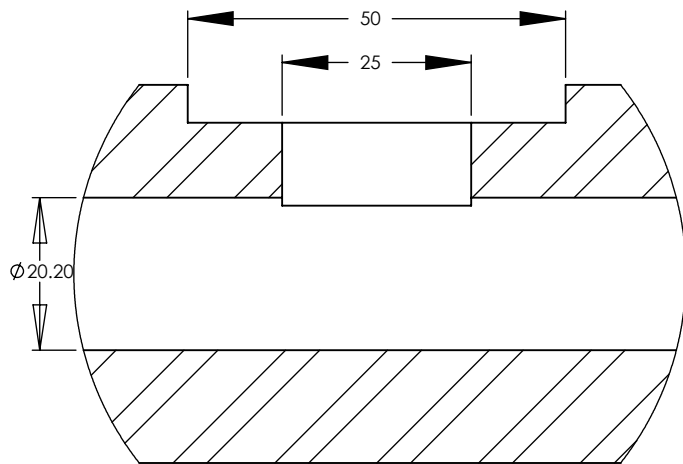
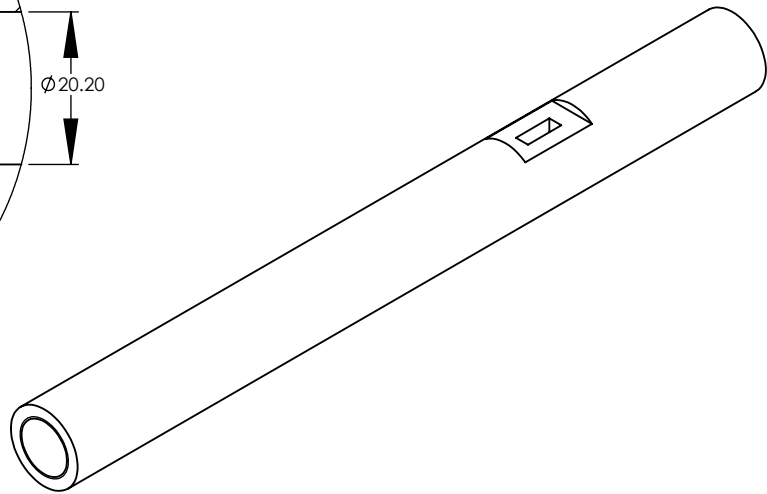
1



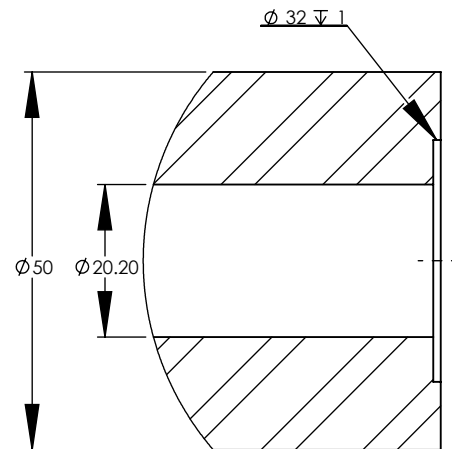
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 4



DETALLE B
ESCALA 1 : 1



DETALLE C
ESCALA 1 : 1



DETALLE D
ESCALA 1 : 1



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 21 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:4

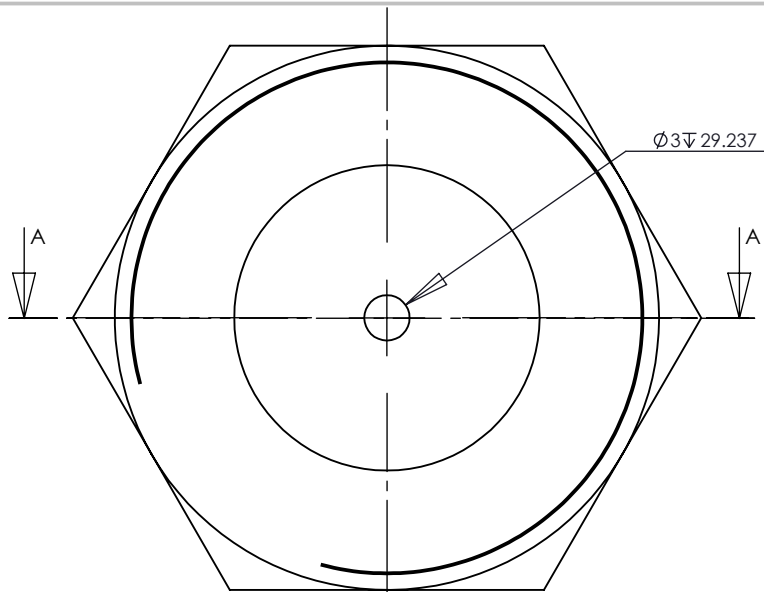
MATERIAL: UNS G4140
RECOCIDO A 1500°F

TÍTULO:

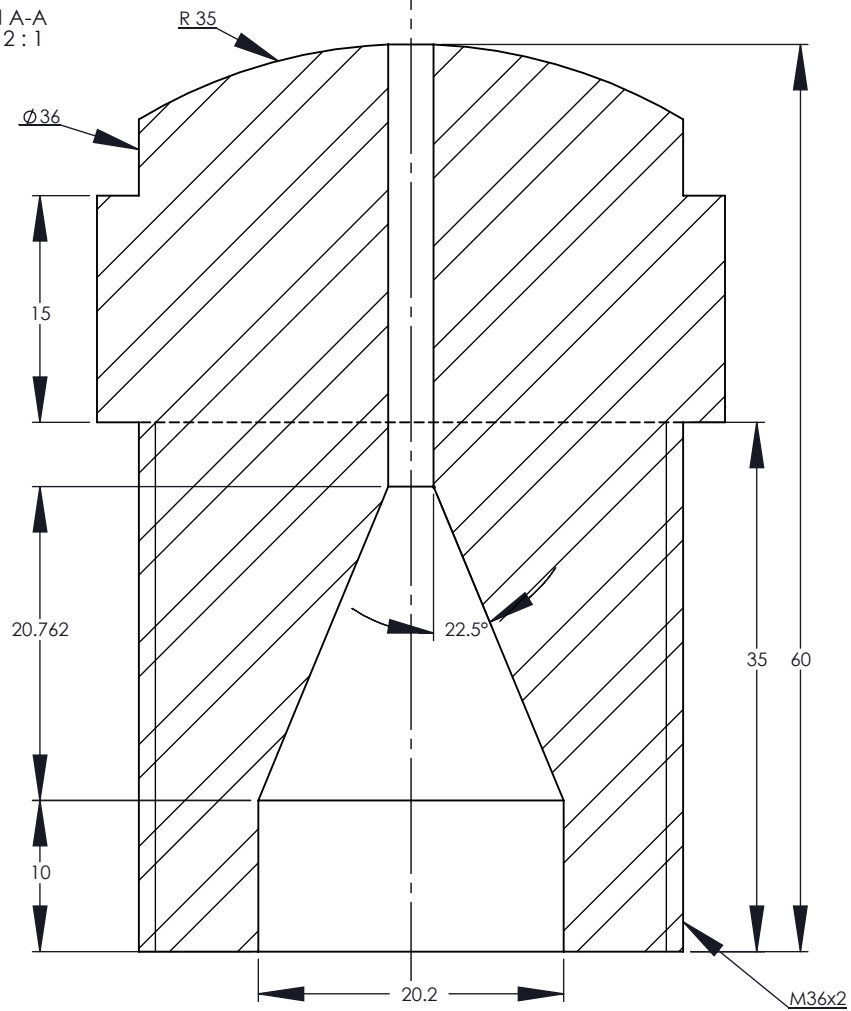
CÁMARA DE
PLASTIFICACIÓN

N.º DE DIBUJO:

2

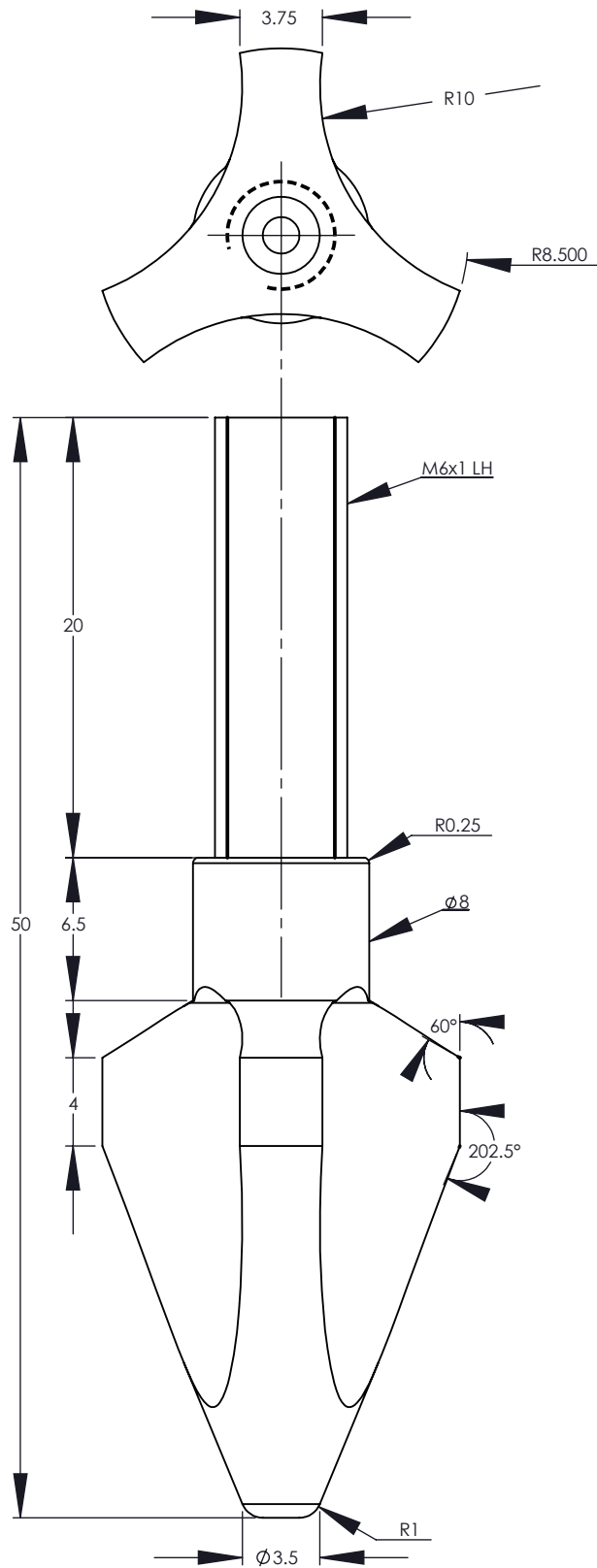


SECCIÓN A-A
ESCALA 2:1



PROYECTO:	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL	
DIBUJÓ:	FECHA:	21 FEB 2010
SAÚL PERALTA NARVÁEZ	ACOTACIONES:	mm
REVISÓ:	ESCALA:	2:1
M. en C. CASSIODORO D.	MATERIAL:	UNS G41400 NORMALIZADO A 1600°F

TÍTULO:	<h1>BOQUILLA</h1>
N.º DE DIBUJO:	



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ: SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ: M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 21 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 3:1

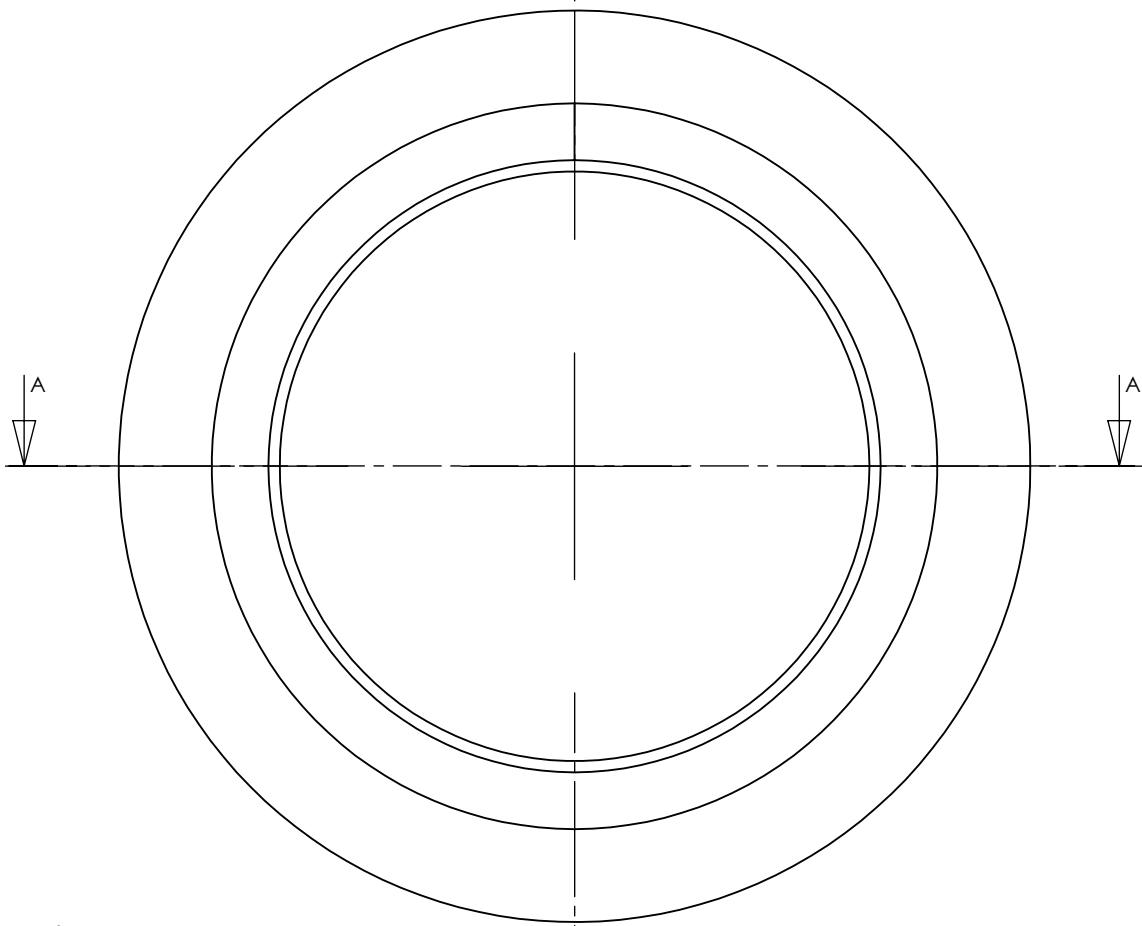
MATERIAL: UNS G41400
NORMALIZADO A 1600°F

tÍTULO:

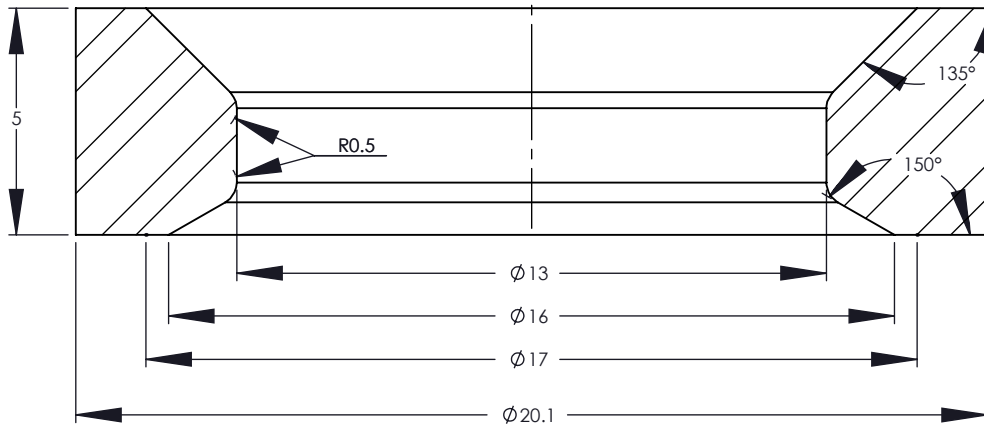
VÁLVULA ANTIRRETORNO

N.º DE DIBUJO:

4



SECCIÓN A-A
ESCALA 6 : 1



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

TÍTULO:

ANILLO

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 6:1

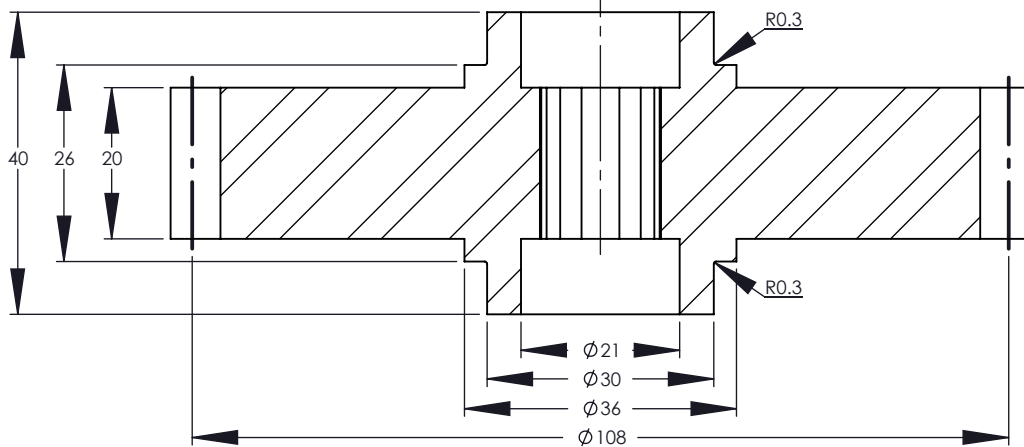
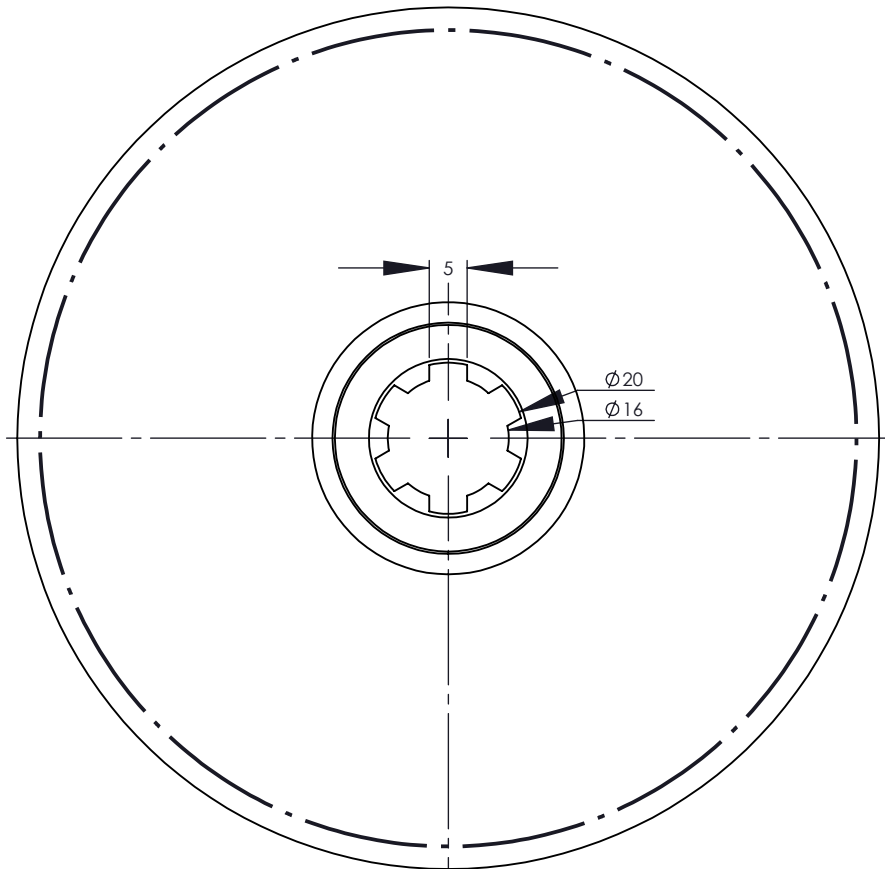
REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

MATERIAL: UNS G41400
NORMALIZADO A 1600°F

N.º DE DIBUJO:

5

Módulo	3
Ángulo de presión	20°
Número de dientes	36
Diámetro de paso	108
Addendum	3
Dedendum	3.75
Altura total	6.75
Diámetro exterior	114
Número de ranuras	6



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

TÍTULO:

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:1

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

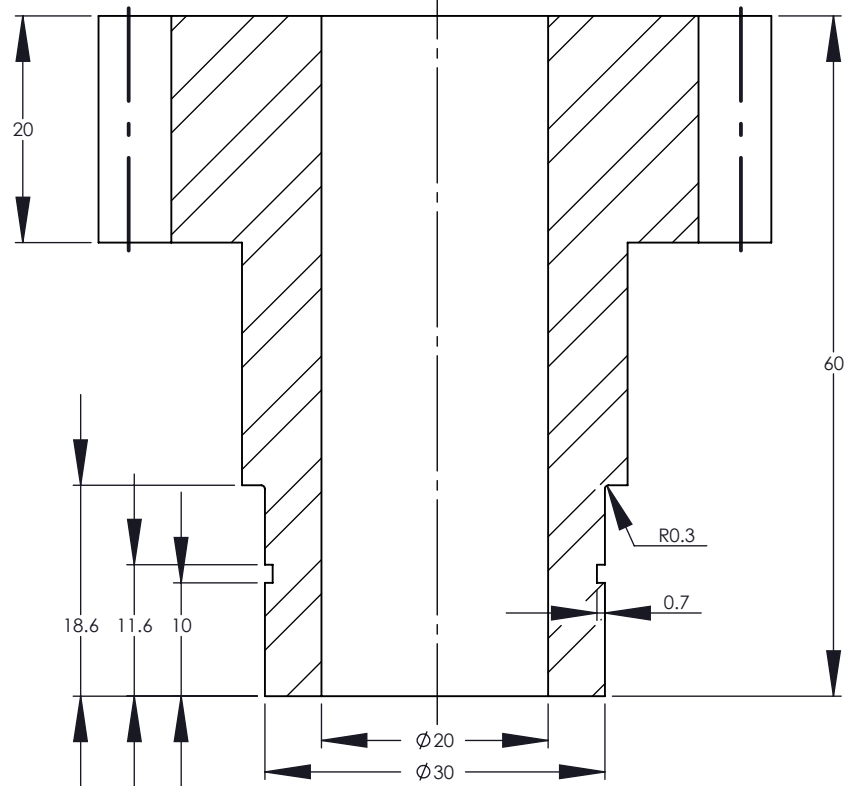
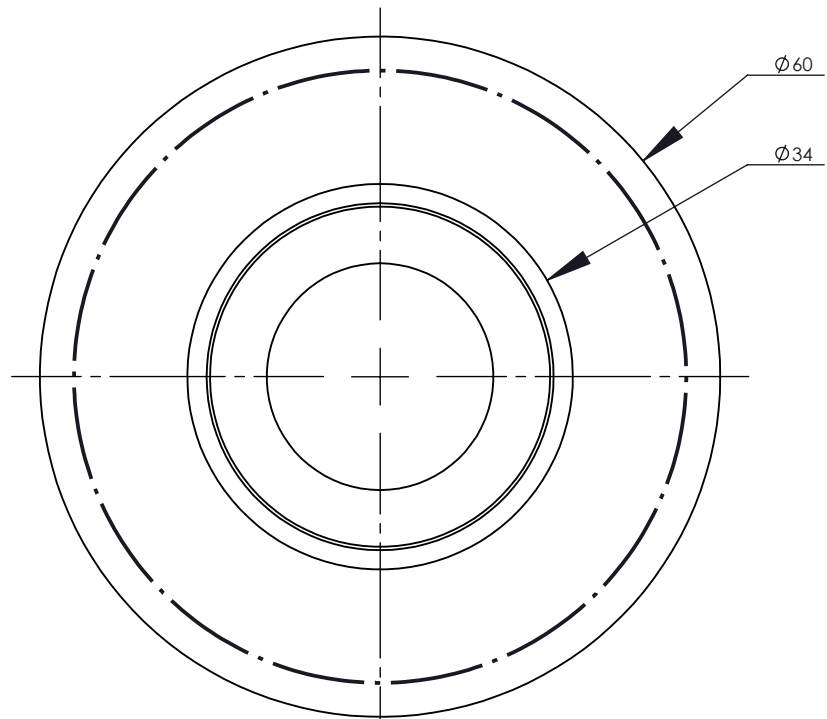
MATERIAL: MATERIAL CON $S_y > 500\text{MPa}$

N.º DE DIBUJO:

ENGRANE

6

Módulo	3
Ángulo de presión	20°
Número de dientes	18
Diámetro de paso	54
Addendum	3
Dedendum	3.75
Altura total	6.75
Diámetro exterior	60



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

TÍTULO:

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1.5:1

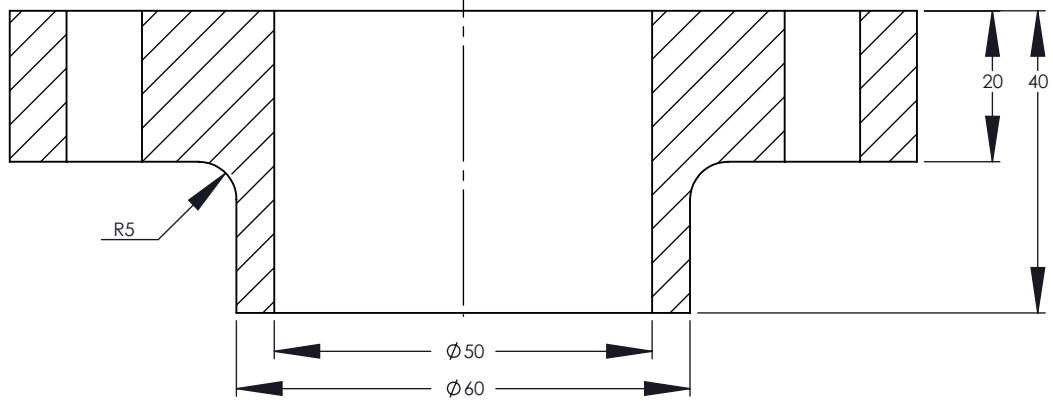
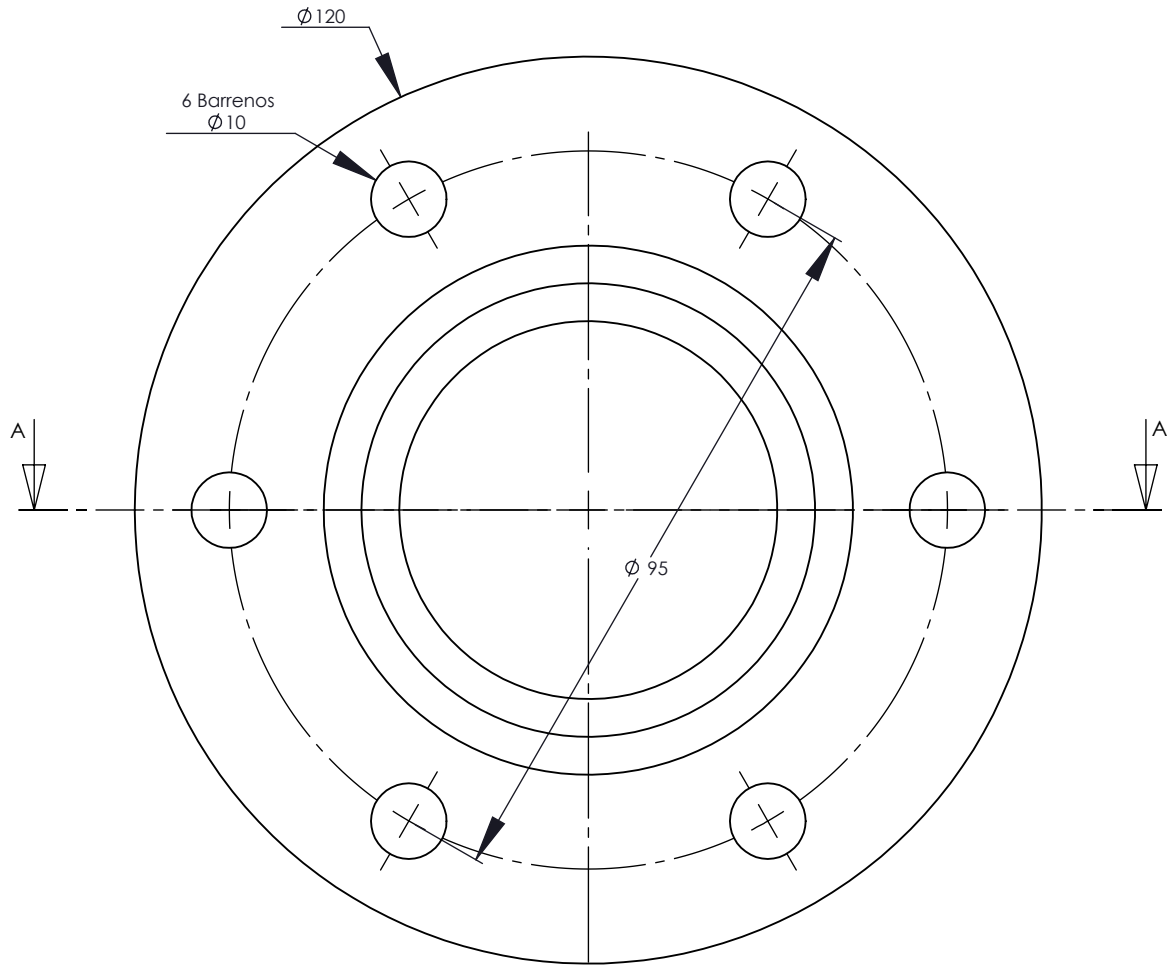
REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

MATERIAL: MATERIAL CON $S_y > 500 \text{ MPa}$

N.º DE DIBUJO:

PIÑÓN

7



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

TÍTULO:

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:1

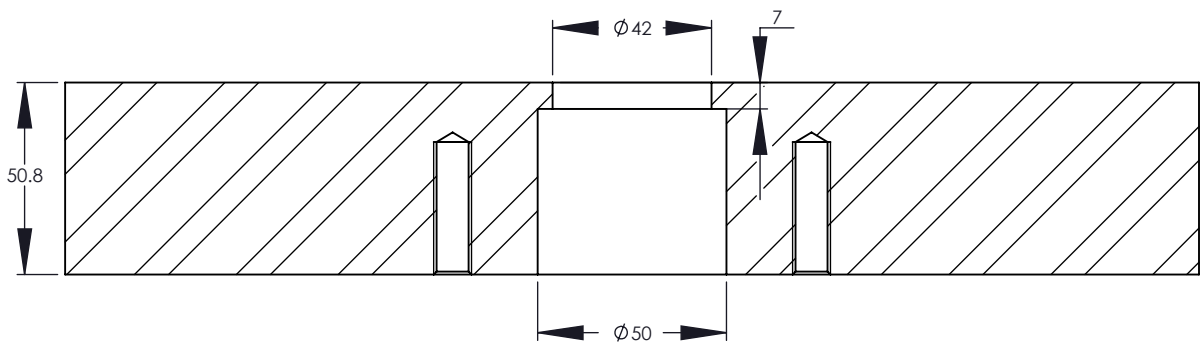
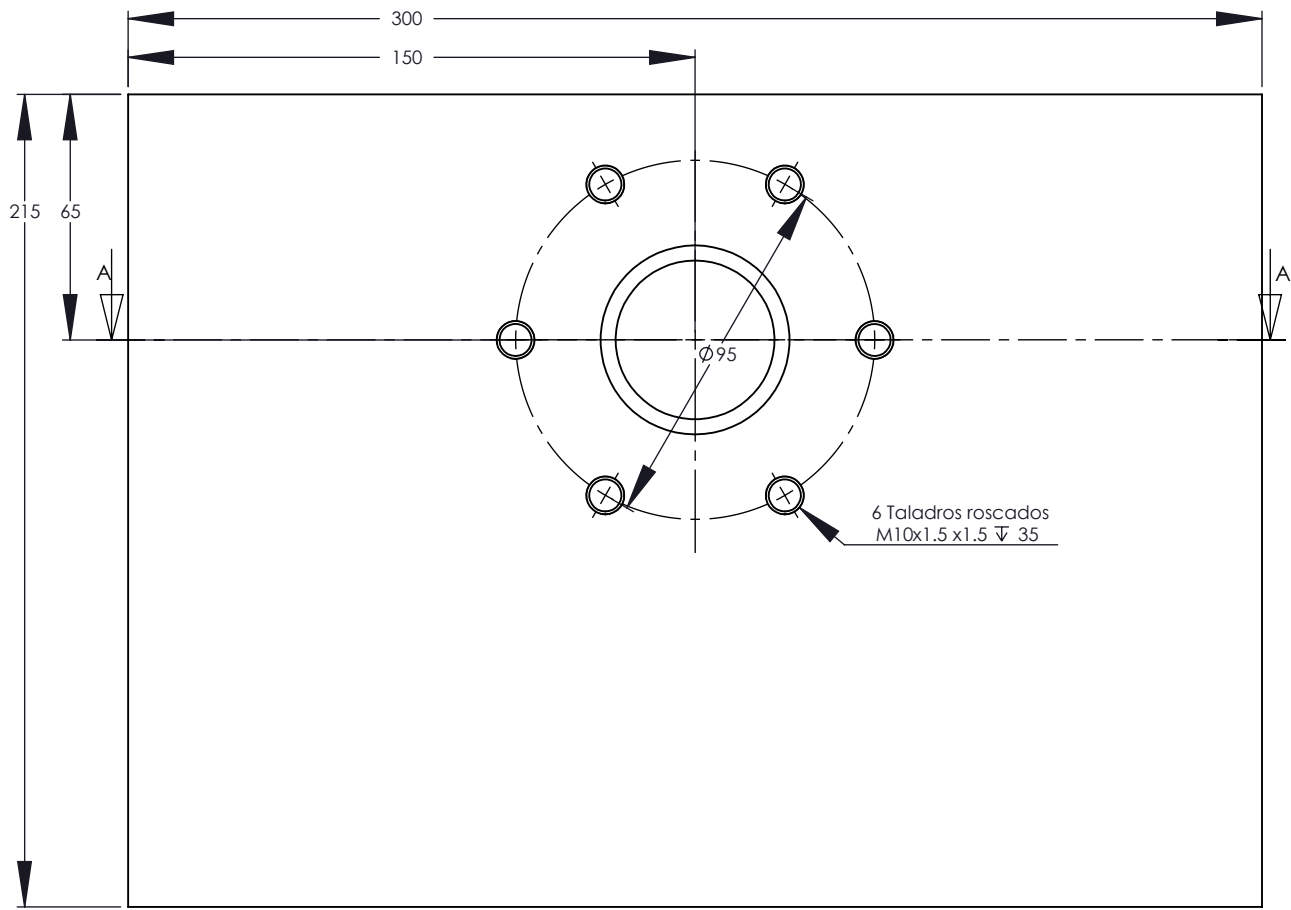
REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

MATERIAL:
FUNDICIÓN GRIS

N.º DE DIBUJO:

BRIDA

8

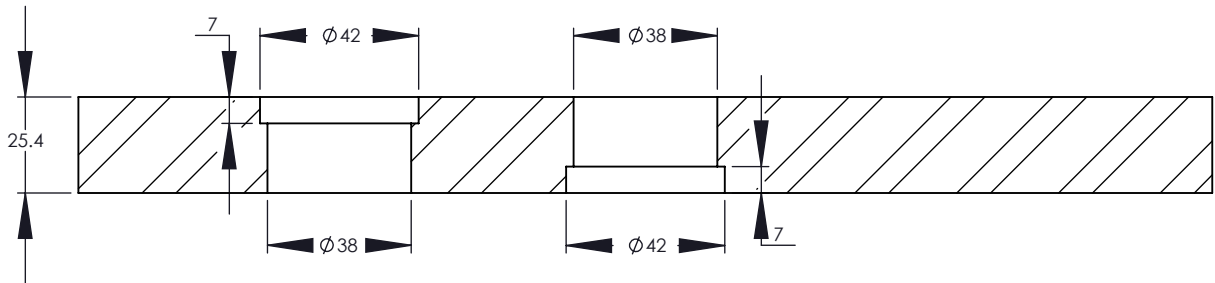
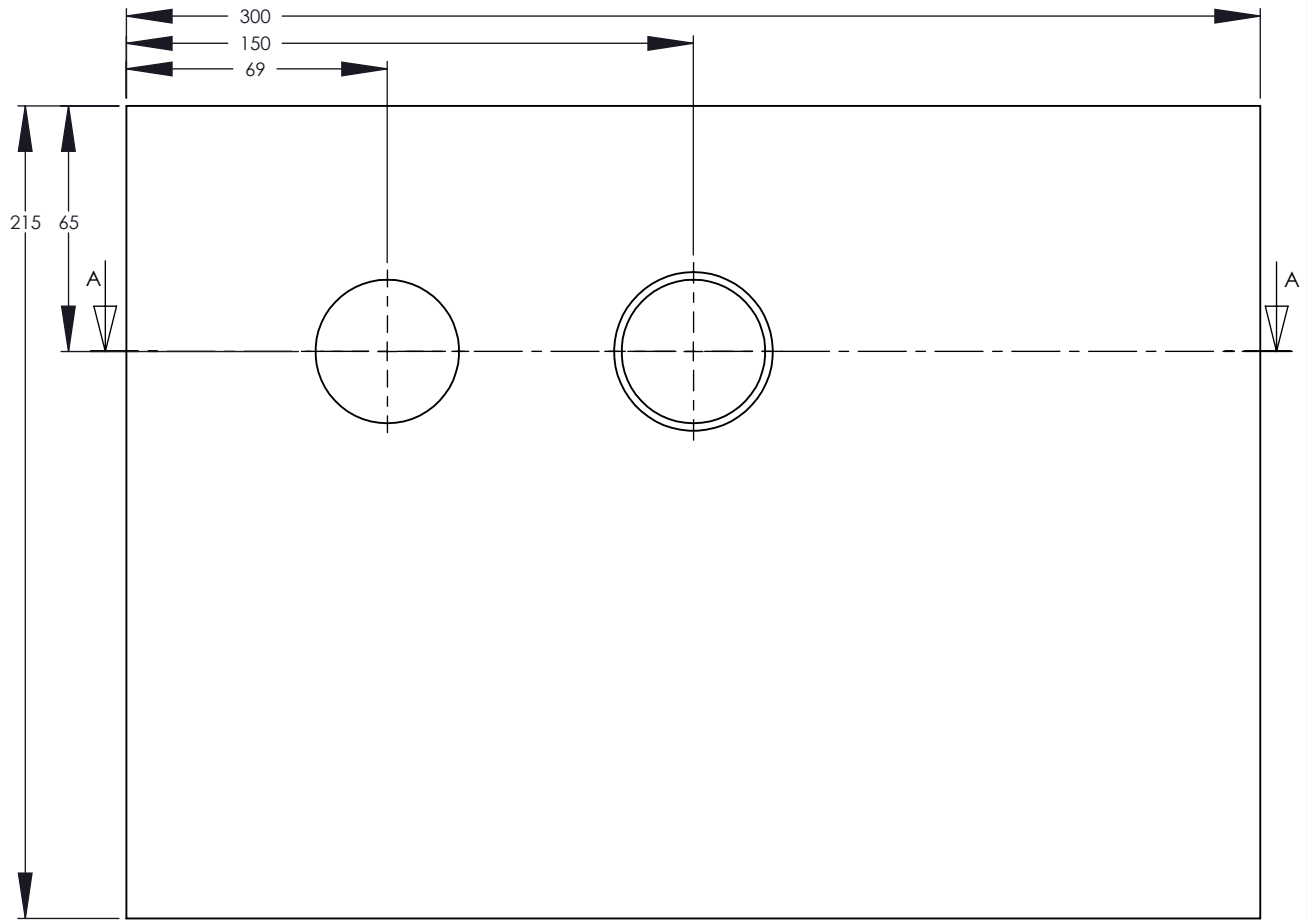


SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



PROYECTO:	DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL	
DIBUJÓ:	SAÚL PERALTA NARVÁEZ	FECHA: 22 FEB 2010
REVISÓ:	M. en C. CASSIODORO D.	ACOTACIONES: mm
		ESCALA: 1:2
		MATERIAL: ASTM A36

tÍTULO:	PLACA DEL BARRIL
N.º DE DIBUJO:	



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

TÍTULO:

PLACA DE LOS RODAMIENTOS

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

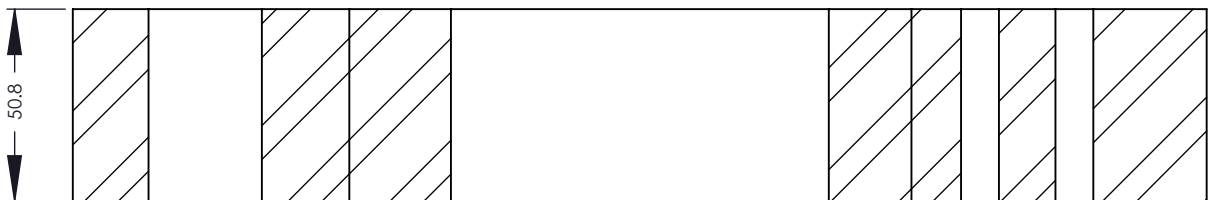
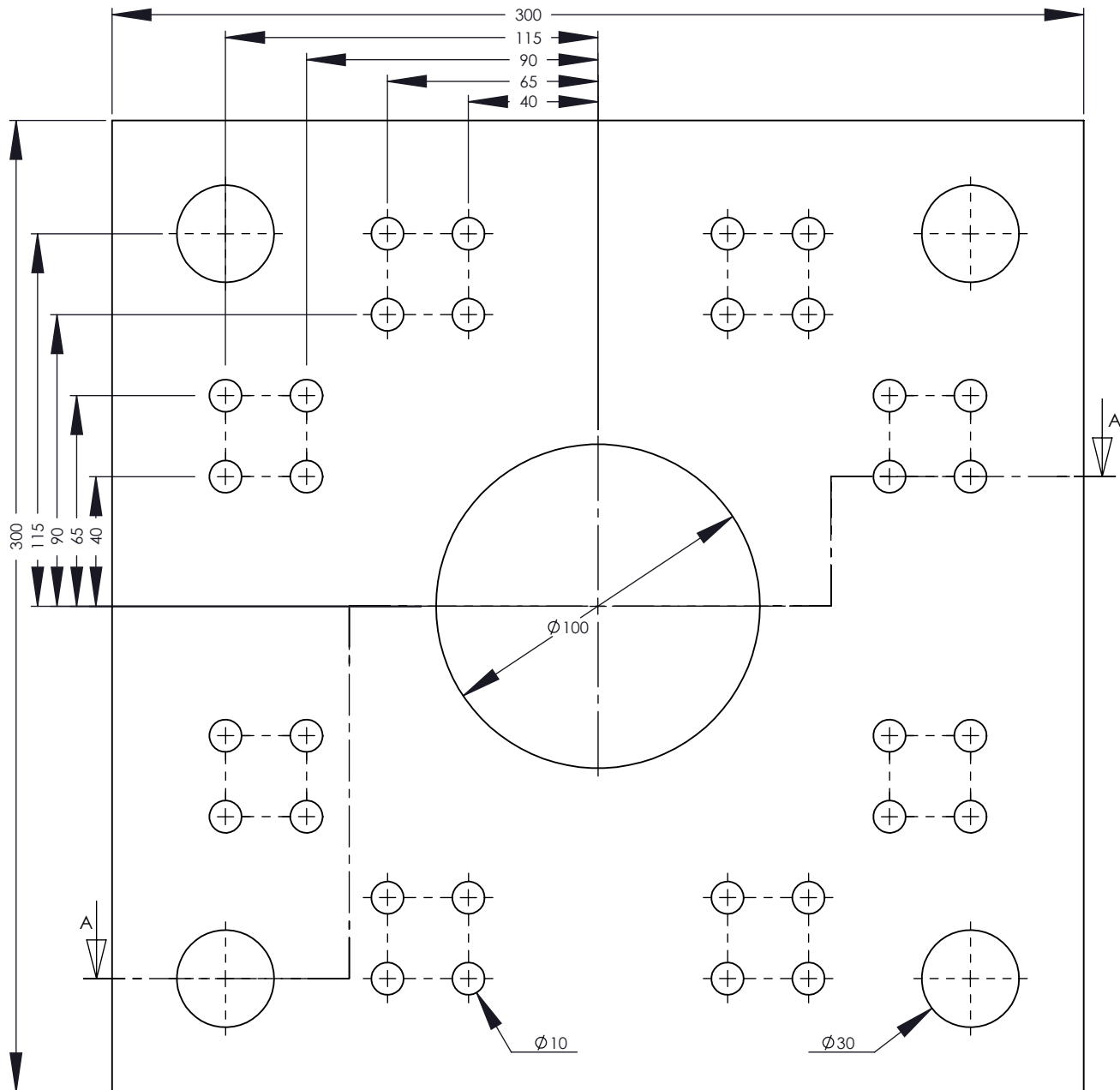
ESCALA: 1:2

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

MATERIAL: ASTM A36

N.º DE DIBUJO:

10



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:2

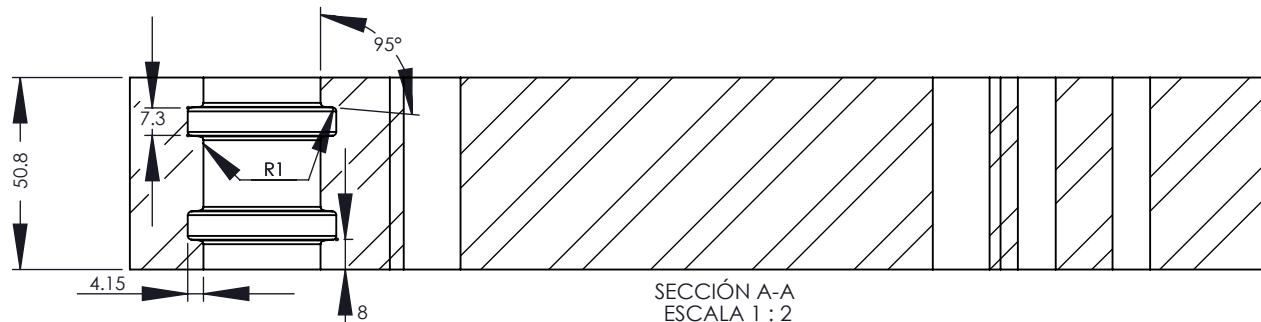
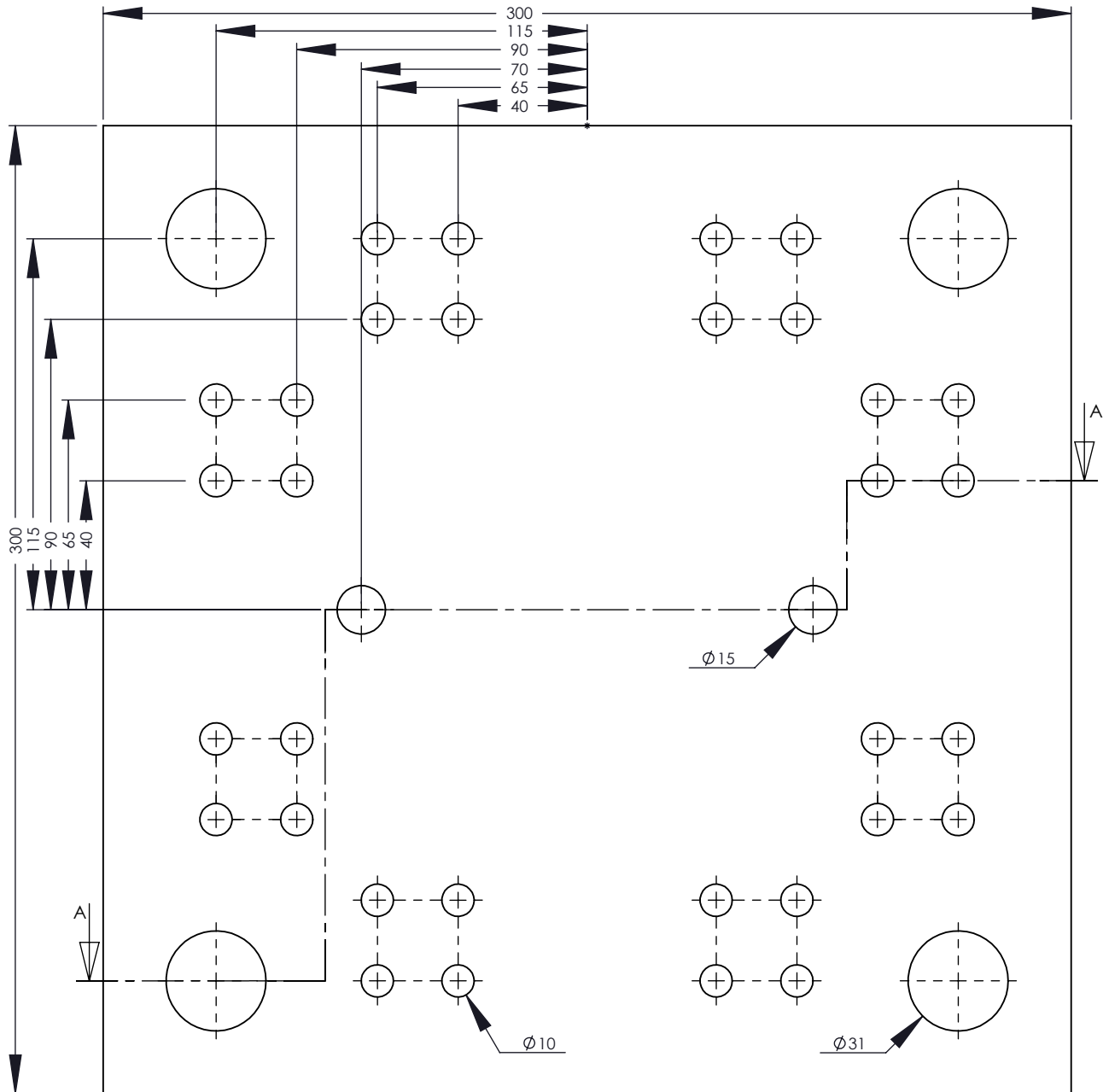
MATERIAL: ASTM A36

TÍTULO:

PLACA DE LA
BOQUILLA

N.º DE DIBUJO:

11



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:2

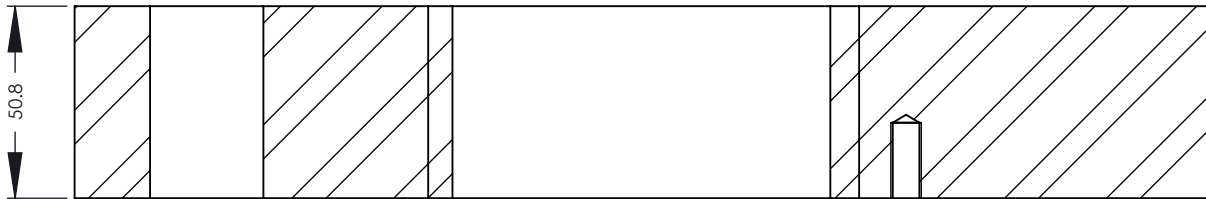
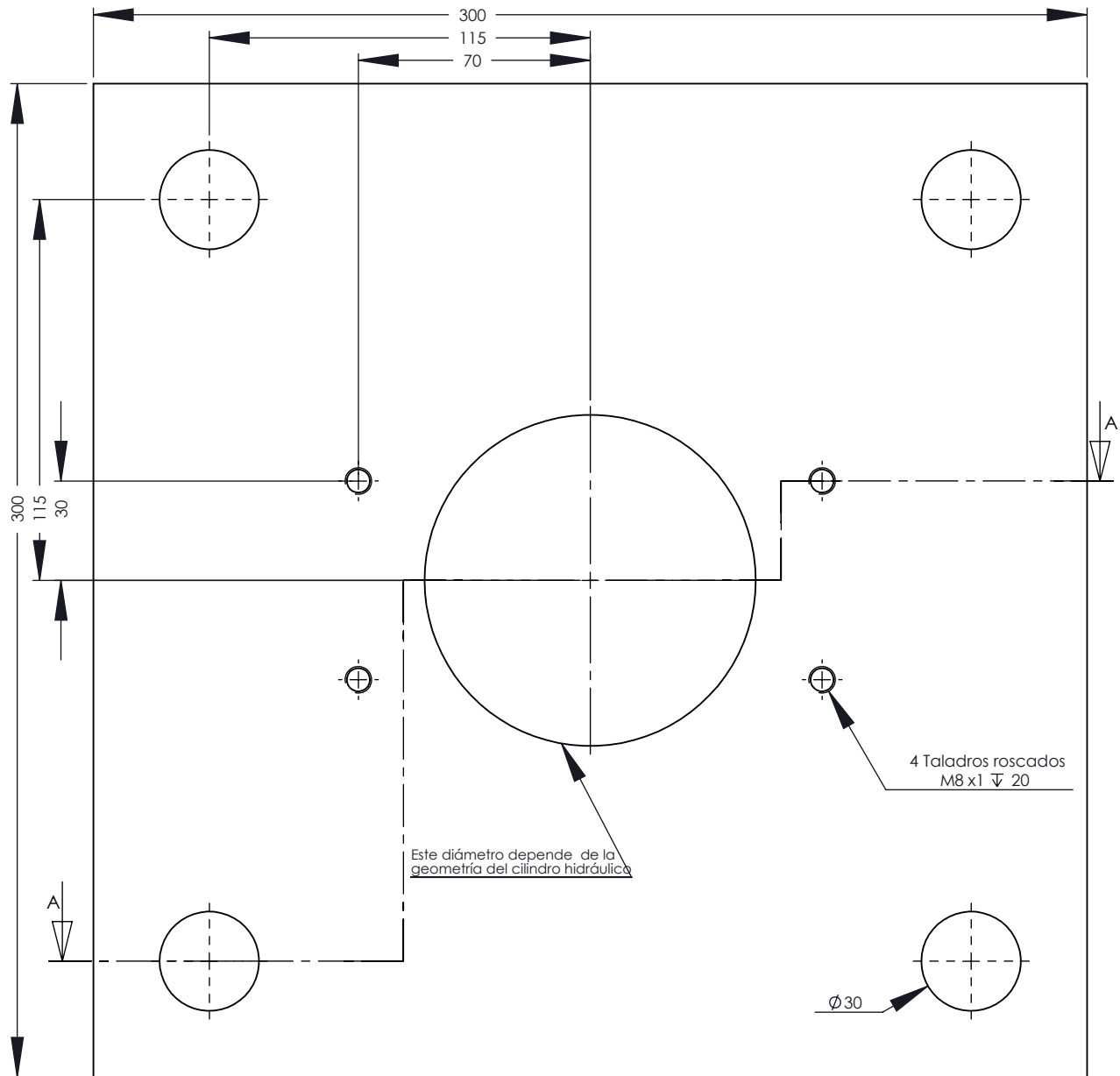
MATERIAL: ASTM A36

TÍTULO:

**PLACA DE
CIERRE**

N.º DE DIBUJO:

12



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 2



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:2

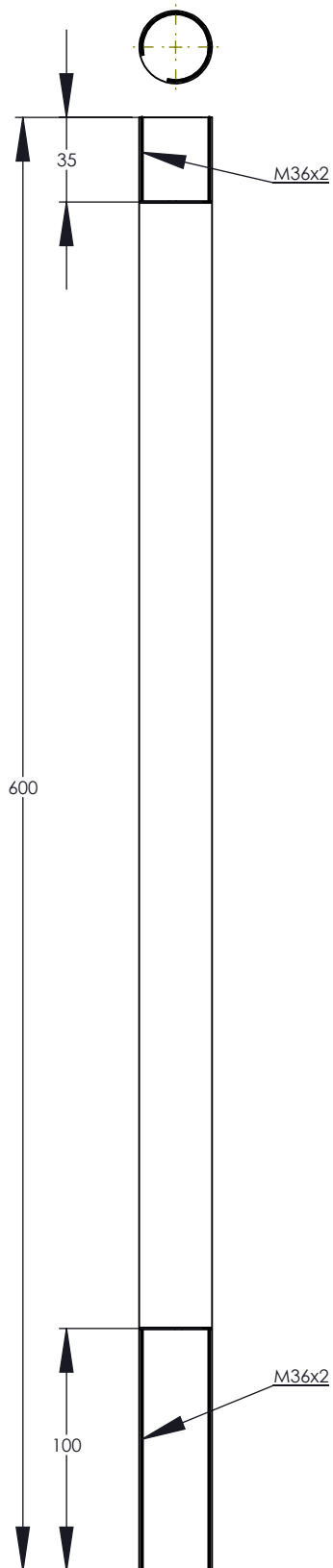
MATERIAL: ASTM A36

TÍTULO:

PLACA DEL
CILINDRO

N.º DE DIBUJO:

13



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 22 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:3

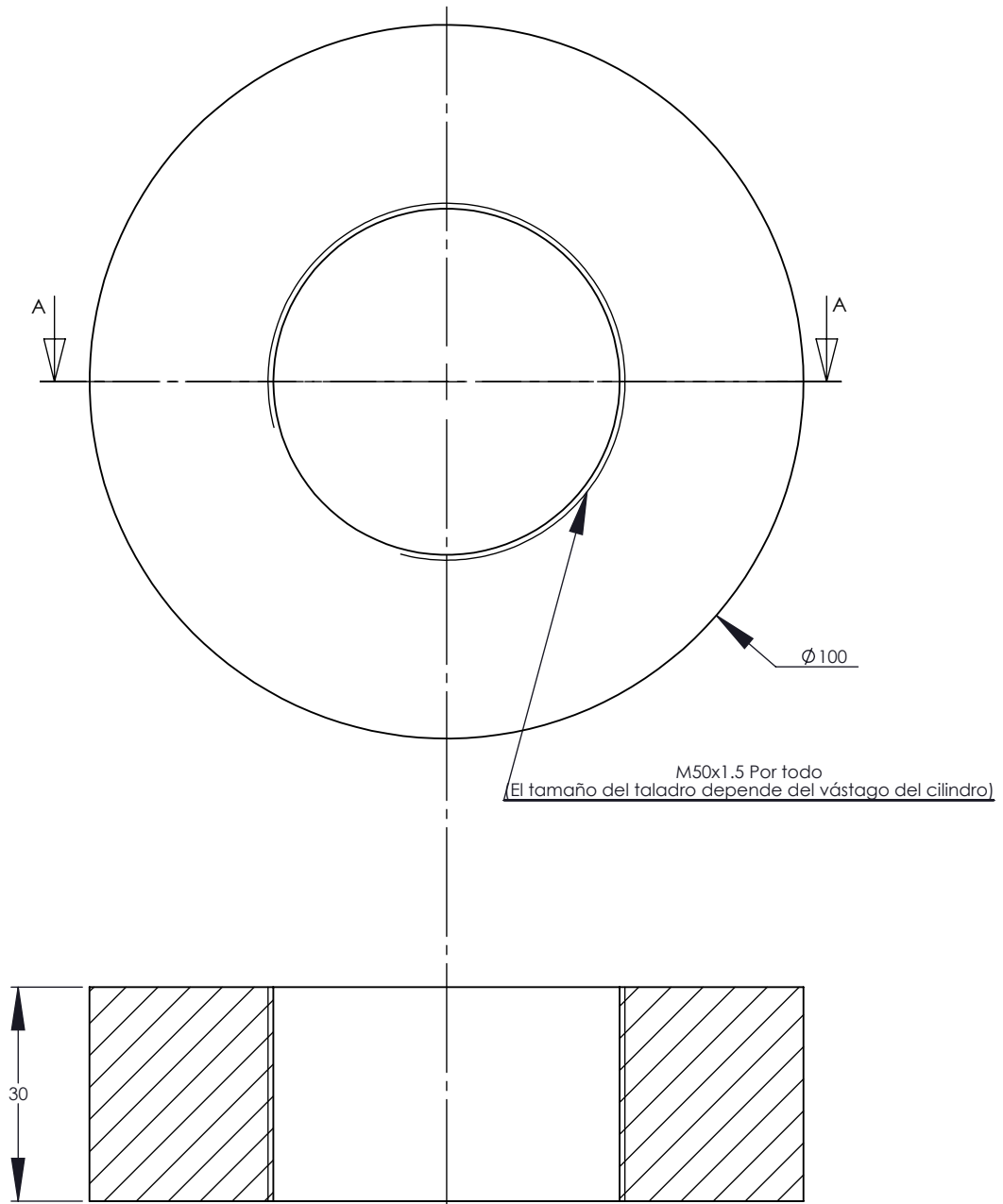
MATERIAL: UNS G10200

TÍTULO:

COLUMNA GUÍA

N.º DE DIBUJO:

14



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ: SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ: M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:1

MATERIAL: UNS G10200

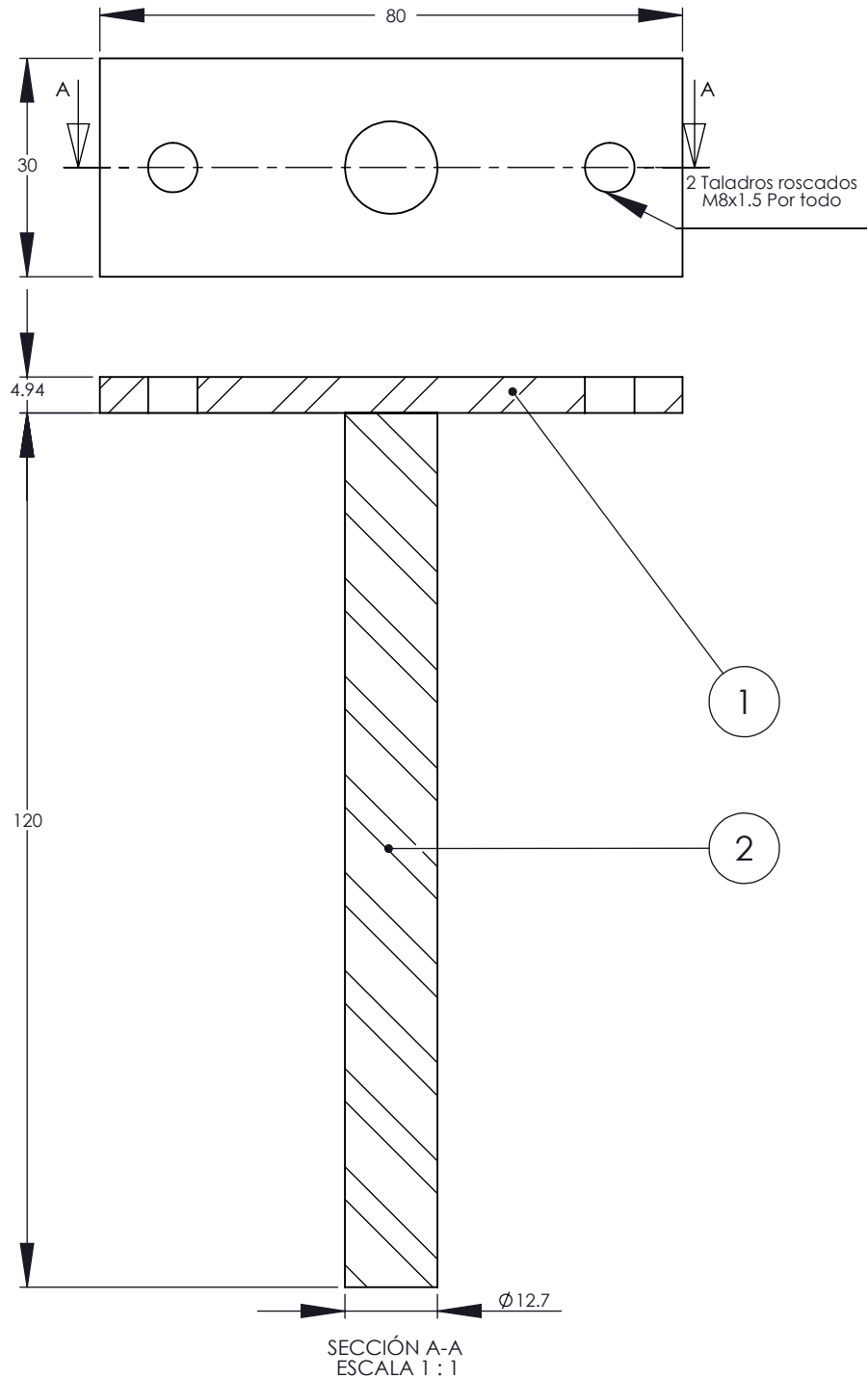
TÍTULO:

**APOYO DEL
VÁSTAGO**

N.º DE DIBUJO:

15

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
1	Lámina	1	Calibre 6
2	Varilla	1	1/2 pulgada



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:1

MATERIAL:

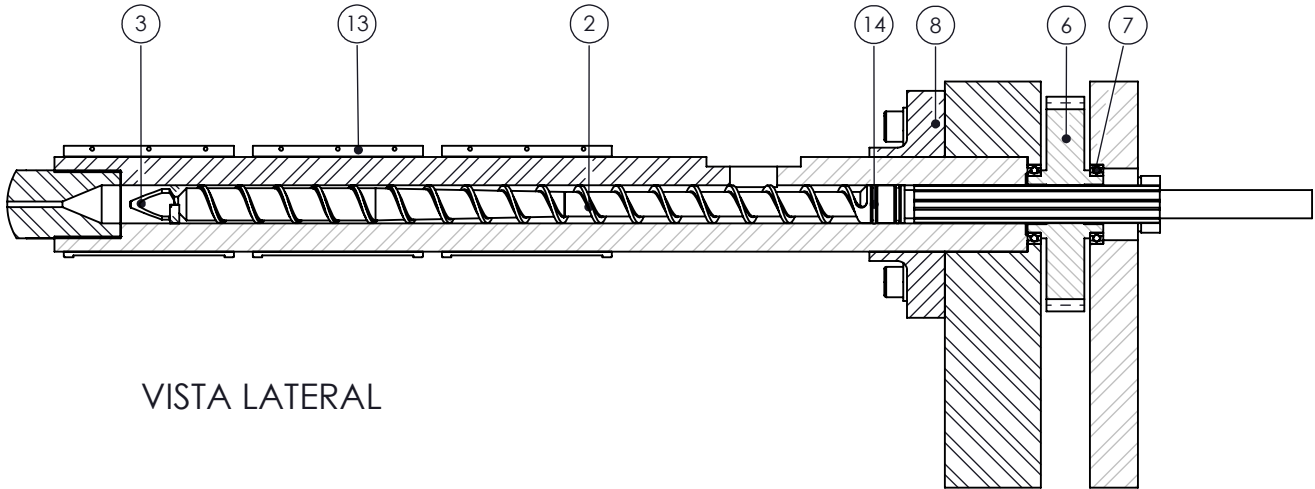
TÍTULO:

EXPULSOR

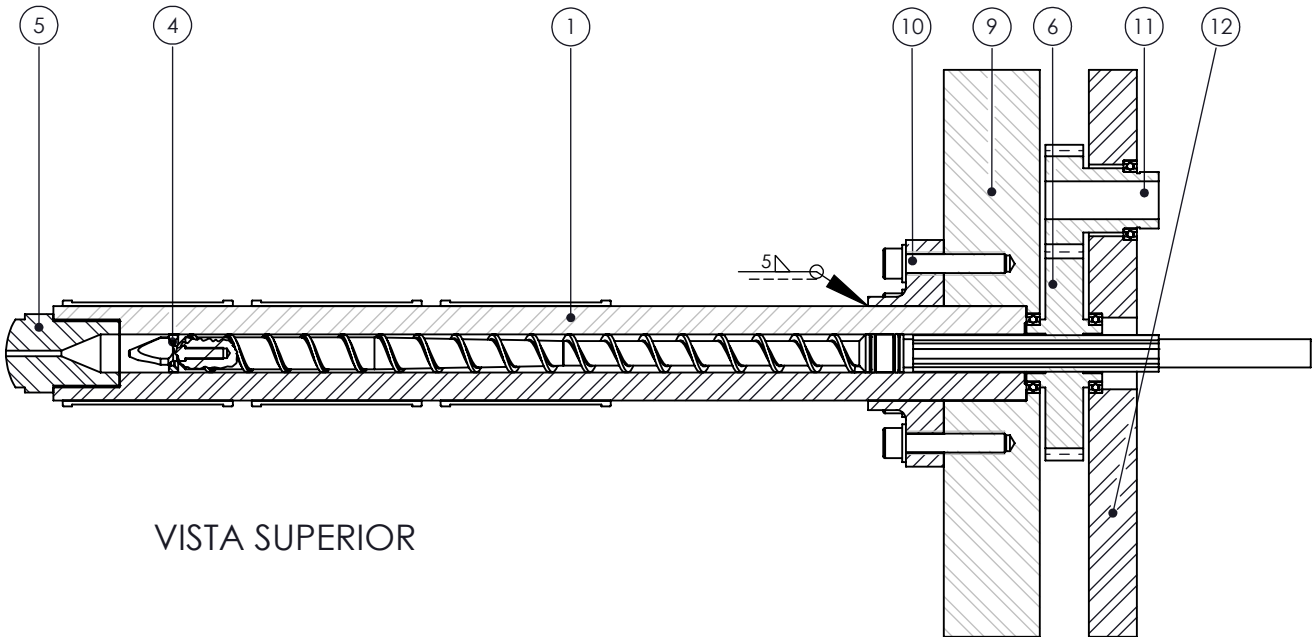
N.º DE DIBUJO:

16

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cámara de plastificación	1
2	Husillo	1
3	Válvula antirretorno	1
4	Anillo	1
5	Boquilla	1
6	engrane	1
7	Rodamiento de bolas	3
8	Brida	1
9	Placa del barril	1
10	Tornillo hexagonal DIN 912 - M10 x 55 y roldana DIN 125-A 10.5	6
11	Piñón	1
12	Placa de los rodamientos	1
13	Banda calefactora	3
14	Anillo tórico	2



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ: SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ: M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:4

MATERIAL:

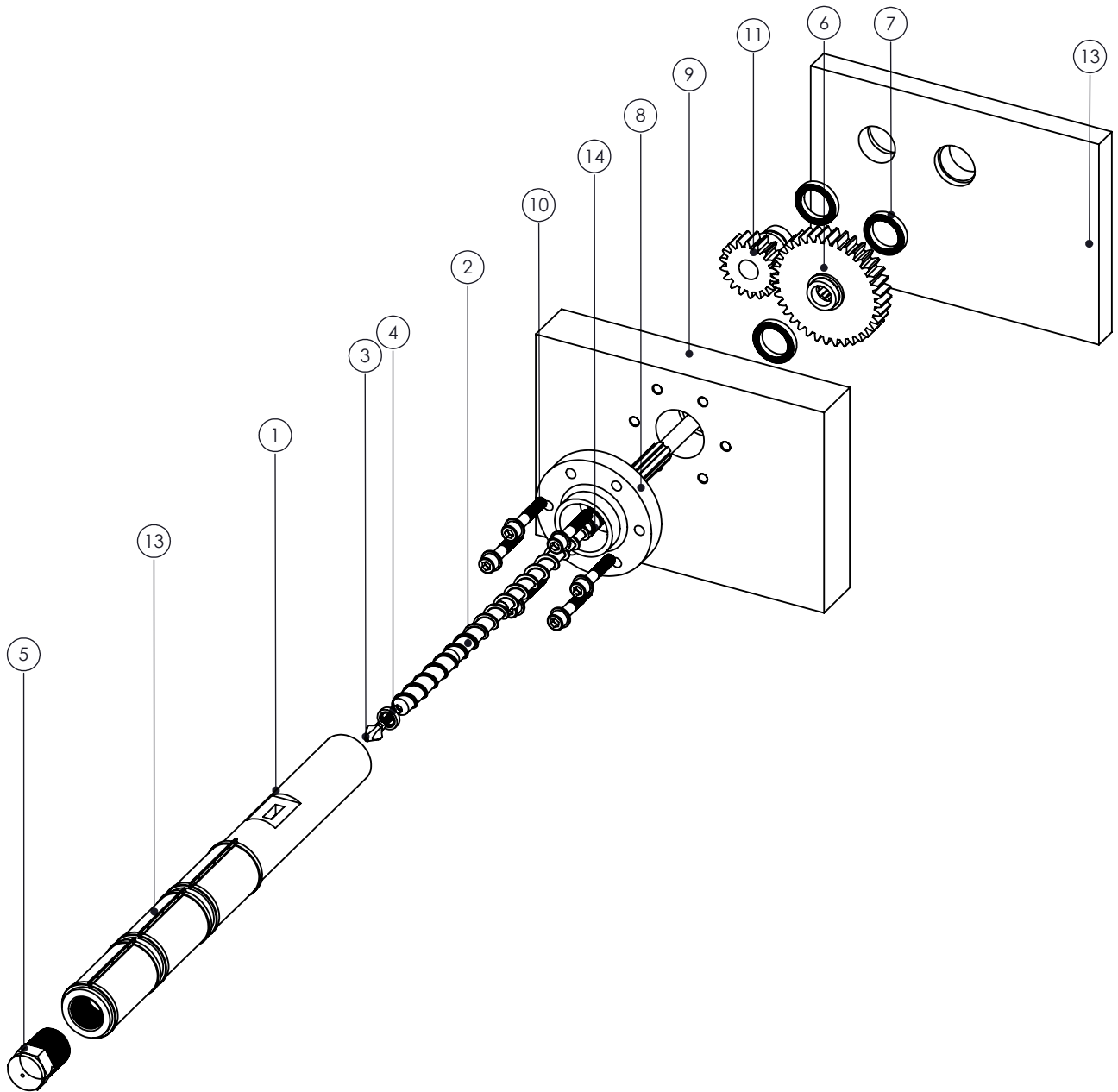
TÍTULO:

ENSAMBLE DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

N.º DE DIBUJO:

17

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD
1	Cámara de plastificación	1
2	Husillo	1
3	Válvula antirretorno	1
4	Anillo	1
5	Boquilla	1
6	Engrane	1
7	Rodamiento de bolas	3
8	Brida	1
9	Placa del barril	1
10	Tornillo hexagonal DIN 912 -M10 x 55 y roldana DIN 125-A 10.5	6
11	Piñón	1
13	Placa de los rodamientos	1
13	Banda calefactora	3
14	Anillo tórico	2



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:6

MATERIAL:

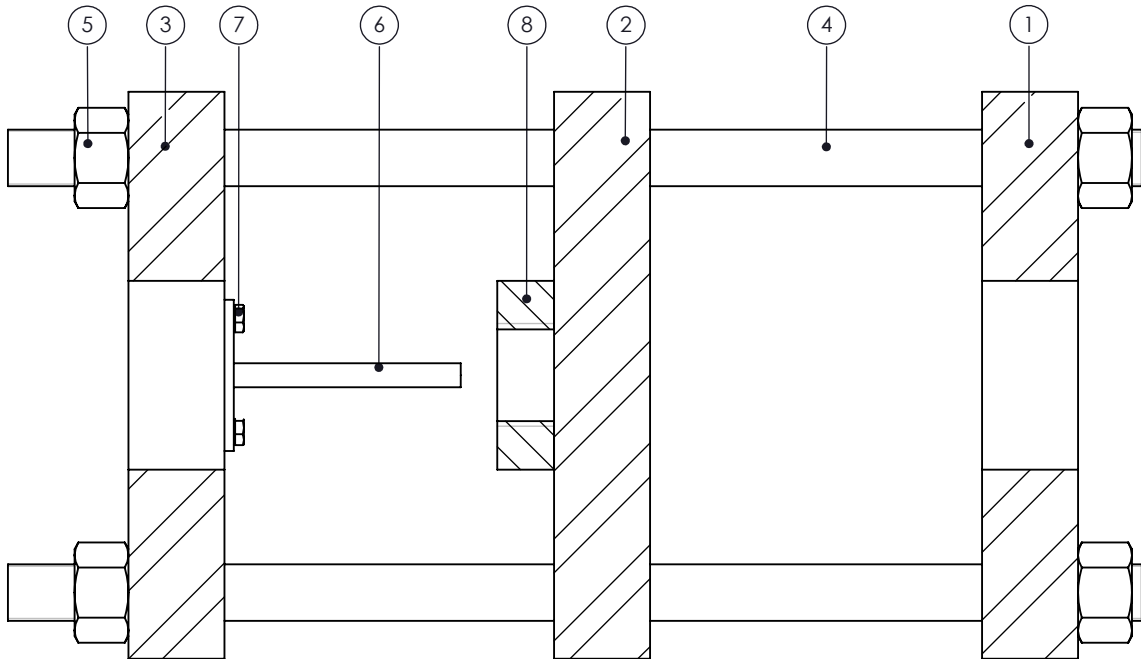
TÍTULO:

EXPLOSIVO DEL SISTEMA DE INYECCIÓN

N.º DE DIBUJO:

18

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD
1	Placa de la boquilla	1
2	Placa de cierre	1
3	Placa del cilindro	1
4	Columna guía	4
5	Tuerca hexagonal DIN 28674 M30x2	8
6	Apoyo del vástago	2
7	Tornillo hexagonal DIN 24017 M8 x1.5	4
8	Apoyo del vástago	1



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1: 4

MATERIAL:

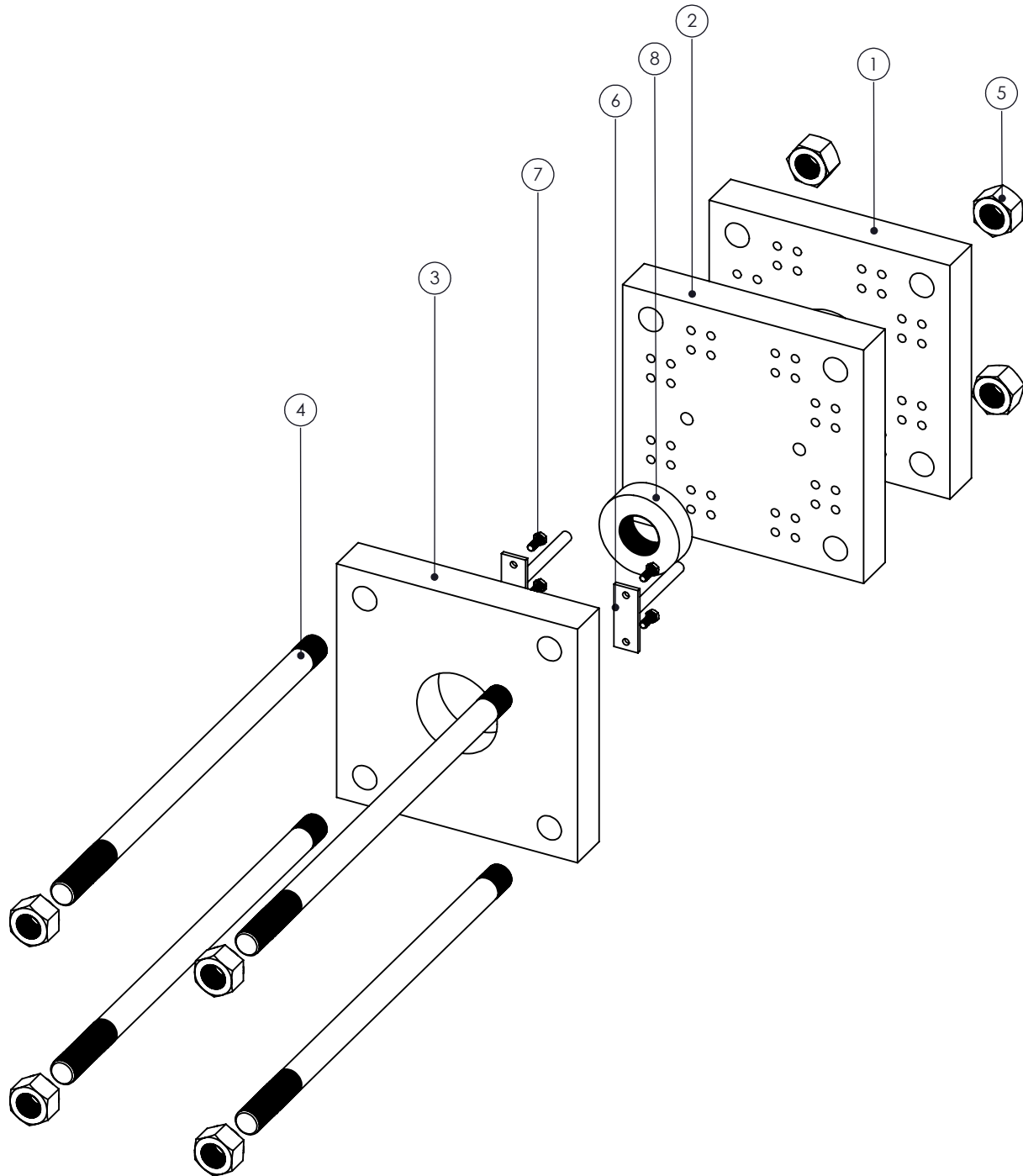
TÍTULO:

ENSAMBLE DEL
SISTEMA DE CIERRE

N.º DE DIBUJO:

19

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA	CANTIDAD
1	Placa de la boquilla	1
2	Placa de cierre	1
3	Placa del cilindro	1
4	Columna guía	4
5	Tuerca hexagonal DIN 28674 M30x2	8
6	Expulsor	2
7	Tornillo hexagonal DIN 24017 M8 x1.5	4
8	Apoyo del vástago	1



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ:
SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ:
M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:7

MATERIAL:

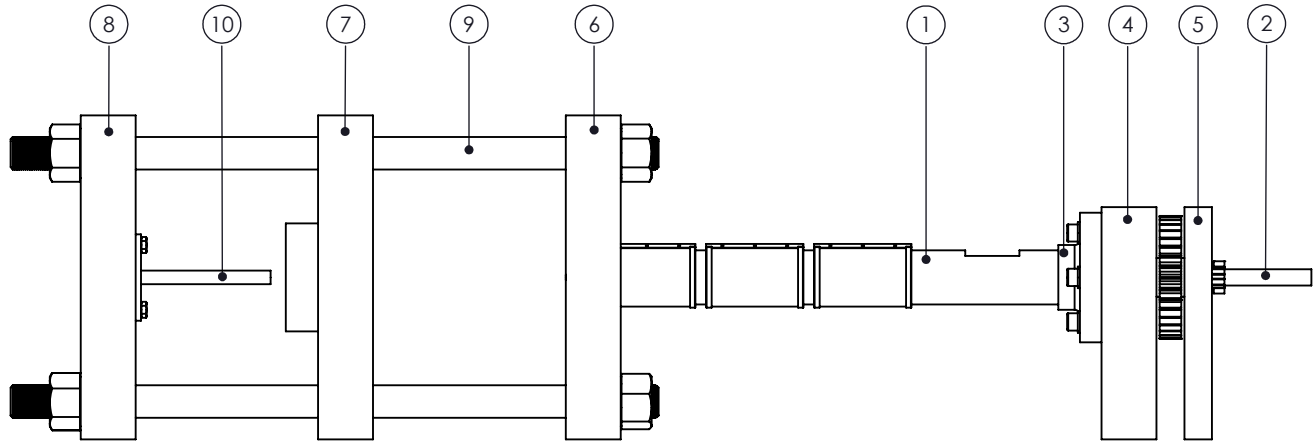
TÍTULO:

EXPLOSIVO DEL SISTEMA DE CIERRE

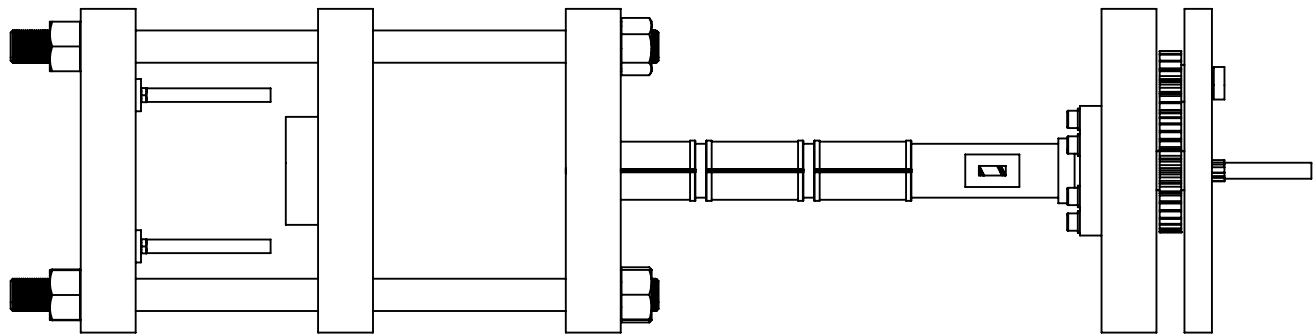
N.º DE DIBUJO:

20

N.º DE ELEMENTO	NOMBRE DE PIEZA
1	Barril
2	Husillo
3	Brida
4	Placa del barril
5	Placa de los rodamientos
6	Placa de la boquilla
7	Placa de cierre
8	Placa del cilindro
9	Columna guía
10	Expulsor



VISTA LATERAL



VISTA SUPERIOR



PROYECTO: DISEÑO DE UNA MÁQUINA DIDÁCTICA DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO DE CÁMARA HORIZONTAL

DIBUJÓ: SAÚL PERALTA NARVÁEZ

REVISÓ: M. en C. CASSIODORO D.

FECHA: 23 FEB 2010

ACOTACIONES: mm

ESCALA: 1:7

MATERIAL:

TÍTULO:

ENSAMBLE DE LA INYECTORA

N.º DE DIBUJO:

21

REFERENCIAS

- ALGER, R. M. J., H. V. C. *Síntesis Creadora en el Diseño*. Herrero Hermanos sucesores, México, 1969.
- AVALLONE, A. E., y B. T. *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. McGraw-Hill, USA 1996.
- BODINI, G. *Moldes y Máquinas de Inyección Para la Transformación de Plásticos*. McGraw-Hill, México, 1993.
- CROSS, N. *Métodos de Diseño, Estrategias Para el Diseño de Productos*. Limusa, México, 1999.
- FAIRES, M. V. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Montaner y Simon, España, 1977.
- HARPER, A. C. *Modern Plastics Handbook*. McGraw-Hill, USA, 2000.
- JONES, C. *Métodos de diseño*. Gustavo Gili, España, 1982.
- MINK, S. W. *Inyección de Plásticos*. Gustavo Gili, España, 1977.
- MOTT, L. R. *Diseño de Elementos de Máquinas*. Prentice Hall, México, 1995.
- NORTON, L. R. *Diseño de Máquinas*. Prentice Hall, México, 1999.
- OBERG, E., J. D. F., H. L. H. y R. H. H. *Machinery's Handbook*. Industrial Press Inc., USA, 2004.
- PYTEL, A., S. L. F. *Resistencia de Materiales*. Alfaomega, México, 2004.
- ROSATO, V. D., R. V. D. y R. G. M. *Injection Molding Handbook*. Kluwer Academic Publishers, USA, 2000.
- RUBIN, I. I. *Materiales Plásticos, Propiedades y Aplicaciones*. Limusa, México, 1999.
- SÁNCHEZ, V.S., Y. F. I., R. F. O. *Moldeo por Inyección de Termoplásticos*. Limusa México, 2006.
- SAVGORODNY, V. K. *Transformación de Plásticos*. Gustavo Gili, España, 1978.