



**UNIVERSIDAD CENTRAL "MARTA ABREU" DE LAS VILLAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA E INDUSTRIAL
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA**

TRABAJO DE DIPLOMA

**TÍTULO: DISEÑO Y SIMULACIÓN DEL MOLDE PARA INYECCIÓN DE
PLÁSTICO DE UNA PRÓTESIS INTERNA DE RODILLA.**

Autor: Ángel Joaquín Cabrera Pérez

**Tutor: Dr.C. -Ing. YUDIESKI BERNAL AGUILAR
Dr.C. -Ing. RICARDO ALFONSO BLANCO**

**Santa Clara
2016**



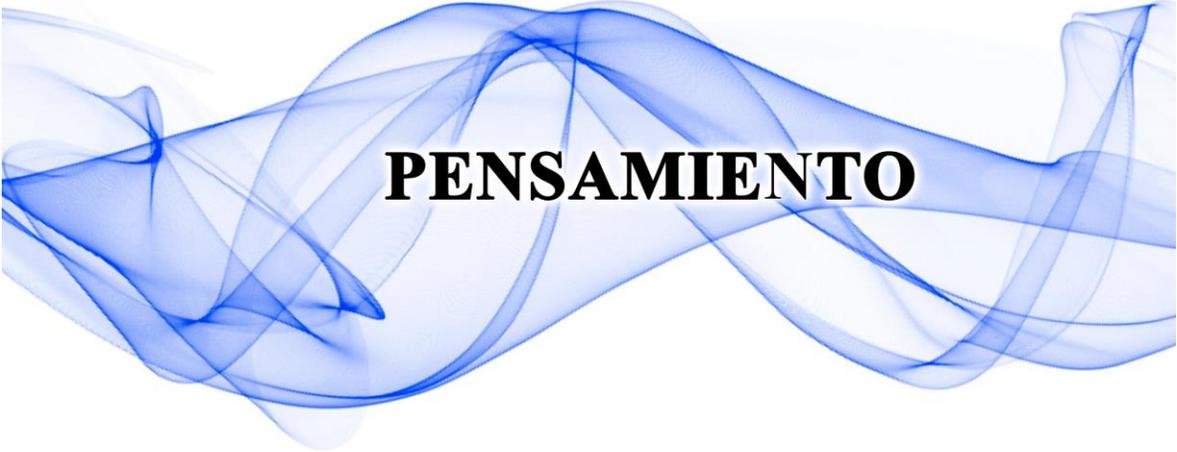
Hago constar que el presente trabajo de diploma fue realizado en la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas como parte de la culminación de estudios de la especialidad de Ingeniería Mecánica, autorizando a que el mismo sea utilizado por la institución, para los fines que estime conveniente, tanto de forma parcial como total y que además no podrá ser presentado en eventos, ni publicados sin autorización de la Universidad.

Firma del Autor

Los abajo firmantes certificamos que el presente trabajo ha sido realizado según acuerdo de la dirección de nuestro centro y el mismo cumple con los requisitos que debe tener un trabajo de esta envergadura referido a la temática señalada.

Firma del Tutor

Firma del Jefe de Departamento
donde se defiende el trabajo

The image features a central graphic of several overlapping, translucent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. These lines are set against a plain white background. The word "PENSAMIENTO" is printed in a bold, black, sans-serif font, centered horizontally and partially overlaid by the blue graphic.

PENSAMIENTO

*En la ciencia el reconocimiento se concede al hombre que convence
al mundo, no a aquel a quien se le ocurre la idea.*

William Osler

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are horizontal and flow across the middle of the page.

DEDICATORIA

El ser humano durante el transcurso de su vida experimenta una diversidad de formas de cariño hacia sus seres más cercanos, que unidas en una sola palabra significan **“FAMILIA”**:

- ∞ *Fueron 9 meses en un vientre rodeado de la mujer que durante toda mi vida me ha dado su amor, su apoyo incondicional y toda una serie de sacrificios para guiarme por el mejor camino, esa es mi mamá Lily.*
- ∞ *Al nacer, me cría, me educa, me enseña a transmitir cariño, una “viejita” que, a pesar de su avanzada edad, todo lo anota, todo lo guarda, ¡¡¡Y MIRA QUE GUARDA!!!! durante tantos años mi corazón para que nadie le haga daño, esa es mi abuelita Olga y a mi abuelo Joaquín que Dios lo tenga en la gloria.*
- ∞ *Mientras voy creciendo me encuentro con un percance, o mejor una gran dicha, que, a pesar de sus diferencias, se han arrancado la piel para darme día a día su apoyo y sus consejos, esos son mis dos padres Ángel y Gustavo.*
- ∞ *Inolvidable se ha vuelto aquel encuentro, cuando tome de la mano a la mujer más hermosa y especial de mi vida, que me ha acompañado en todo momento y circunstancia y le prometí que le cumpliría su deseo más grande, el cual lleva en su vientre, algo que parecía imposible se convirtió en una bendición, a nuestro bebé y a mi mujer Adriana.*
- ∞ *La distancia nos separó algunos años, pero me acompañaron en todo momento al advertirme del mundo que me rodea, a mi tía Sandra y mi primo Ricardito.*
- ∞ *Imprescindibles fueron y serán los consejos que me ha dado, indispensable es el cariño que me ha brindado, rodeada de una familia como jamás la he encontrado, esa es mi suegra Raiza*
- ∞ *A lo largo de varios años bailan, comparten sentimientos, me permiten ayudarles, y salen a la luz como mis verdaderos amigos.*

A todos ustedes les dedico mi esfuerzo...

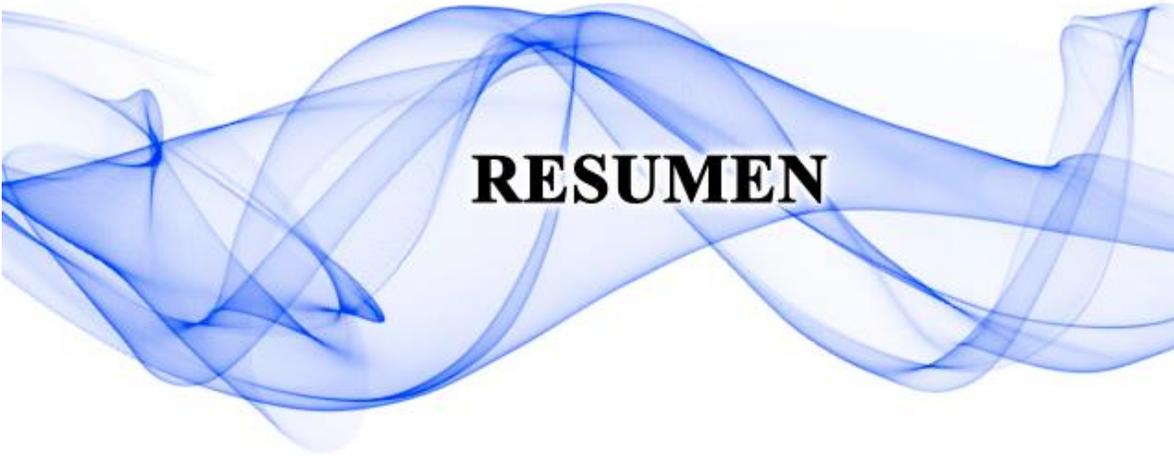
A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are centered horizontally and extend across most of the page width.

AGRADECIMIENTOS

Mi sincera gratitud:

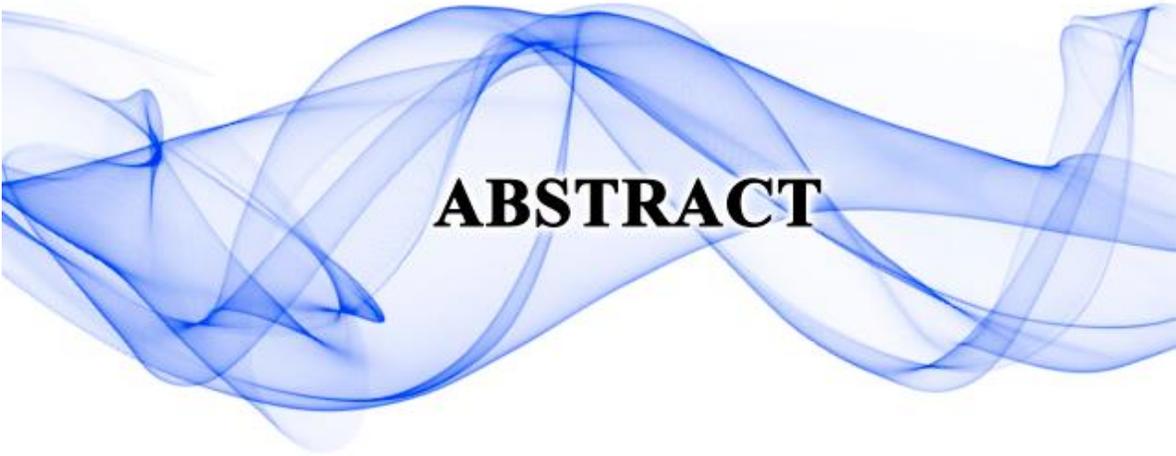
- ❖ *Al tutor Dr. Yudieski Bernal Aguilar por su contribución y guía para concretar este trabajo.*
- ❖ *Al segundo tutor Dr. Ricardo Alfonso Blanco.*
- ❖ *A la facultad de Ingeniería Mecánica e Industrial por inculcarme los conocimientos adecuados para llevar a cabo mi desempeño como estudiante.*
- ❖ *Al Departamento de Ingeniería Mecánica.*
- ❖ *A mis padres, mi abuelita, mi mujer y mi suegra por su apoyo y preocupación constantes.*

Gracias.

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of motion and depth. The lines are centered horizontally and extend across most of the page width.

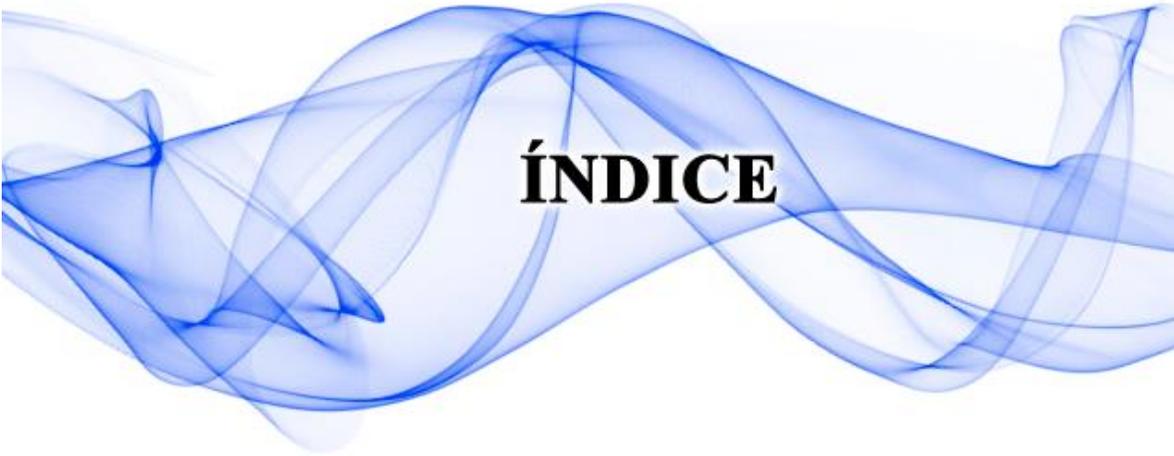
RESUMEN

En el presente trabajo se ilustra el estado actual del diseño de moldes para la inyección de plástico a nivel internacional. Se estudian y comparan las principales variantes de prótesis interna de rodilla que han surgido en los últimos años, así como también algunos de los métodos que más se utilizan para la producción de prótesis con sus ventajas y desventajas. A partir del análisis de la bibliografía consultada, así como de algunos aportes realizados por el autor se organizó información dispersa y se desarrolló un procedimiento de cálculo de moldes para polietileno de prótesis interna de rodilla. Con el empleo de una metodología desarrollada a partir de varias fuentes de investigación se diseñó un molde, lo cual permitió obtener muestras y medir el efecto real de la contracción sobre algunos parámetros geométricos de la cavidad. Luego se toman en cuenta los defectos y soluciones que debemos conocer al trabajar con un molde para inyección de plástico. Basado en lo anterior se decide utilizar el *Método de Elementos Finitos* (MEF) para simular el proceso de contracción durante el enfriamiento después de solidificada la pieza, el tiempo de enfriamiento, las líneas de soldadura, los atrapamientos de aire, agregando las presiones que influyen tanto en el molde como en la cavidad. Como resultado del proceso anterior se pudo determinar, una coincidencia entre los elementos moldeados y lo simulado por el MEF. Todo este proceso favoreció, en gran medida, la realización de una correcta evaluación económica financiera de la propuesta del molde para el producto.

An abstract graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are horizontal and flow across the middle of the page.

ABSTRACT

Presently work is illustrated the current state of the design of molds for the prosthesis injection at international level. They are studied and they compare the main variants of internal prosthesis of knee that have arisen in the last years, as well as some of the methods that more they are used for the prosthesis production with their advantages and disadvantages. Starting from the analysis of the consulted bibliography, as well as of some contributions carried out by the author was organized dispersed information and a procedure of calculation of molds was developed for polyethylene of internal prosthesis of knee. With the employment of a developed methodology starting from several investigation sources a mold was designed, that which allowed to obtain samples and to measure the real effect of the contraction on some geometric parameters of the cavity. Then they take into account the defects and solutions that we should know when working with a mold of injection of plastic. Based on the above-mentioned that decides to use the Method of Finite Elements (MFE) to simulate the contraction process during the cooling after having solidified the piece, the time of cooling, the welding lines, the air traps, adding the pressures that influence as much in the mold as in the cavity. As a result of the previous process you could determine, a coincidence among the modeled elements and that simulated by the MFE. This whole process favored in great measure to carry out a correct financial economic evaluation of the proposal of the mold for the product.

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are centered horizontally and extend across most of the page width.

ÍNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS.

Fig. No.	Título	Página
1.1	La nueva generación de válvulas cardíacas de tres alas.....	7
1.2	Elemento guía miniaturizado, empleado en cirugía mínimamente invasiva.....	8
1.3	Fabricación de prótesis por impresión 3D.....	11
1.4	Polietileno moldeado por compresión.....	11
1.5	Prótesis interna de rodilla tipo SHIERS.....	12
1.6	Modelos Endo-Model con y sin sustitución femoropatelar.....	13
2.1	Partes de una prótesis interna de rodilla.....	23
2.2	Colocación de la prótesis de rodilla.....	23
2.3	Geometría de la pieza.....	24
2.4	Distribución Molecular del PEAD.....	25
2.5	Simbología del PEAD.....	25
2.6	Superficies de partición.....	28
2.7	Distribución de áreas para el diseño de cavidades.....	29
2.8	Fuerzas que actúan en el proceso de inyección a presión.....	30
2.9	Distribución de cavidades utilizando el software Autodesk Inventor.....	35
2.10	Molde prefabricado.....	36
2.11	Molde prefabricado. Placa H.....	36
2.12	Molde prefabricado. Placa M y L.....	37
2.13	Molde prefabricado. Placas G.....	37
2.14	Molde prefabricado. Placa J.....	38
2.15	Molde prefabricado. Placa E.....	39
2.16	Detalle de la Cavidad. Placa E.....	39
2.17	Molde prefabricado. Placa F.....	40
2.18	Molde prefabricado. Placa F.....	40
2.19	Molde prefabricado. Vista Explosionada.....	41
2.20	Bebedero acoplada a la anilla de sujeción.....	43
2.21	Compuerta de alimentación puntiforme (Pin Point).....	45
2.22	Compuerta de alimentación lateral (Edge).....	45
2.23	Compuerta de alimentación de abanico (Fan).....	45
2.24	Compuerta de alimentación submarina (Submarine).....	46
2.25	Radio de los canales de alimentación.....	46
2.26	Enfriamiento uniforme.....	47
2.27	Tipos de circuitos de refrigeración.....	47
2.28	Posicionamiento de los canales de refrigeración.....	49
3.1	Resultados del tiempo de ciclo	59
3.2	Progreso del plástico en la cavidad.....	60
3.3	Distribución de presiones en la pieza.....	61
3.4	Temperatura del frente del flujo.....	62
3.5	Líneas de unión.....	63
3.6	Atrapamientos de aire.....	64
3.7	Contracción volumétrica.....	65
3.8	Orientación de la piel.....	66

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla No.	Título	Página
1.1	Plásticos más utilizados.....	17
2.1	Valores aproximados de contracción.....	32
2.2	Tipos de refrigeración.....	48
2.3	Espesores de pared recomendados para materiales termoplásticos....	50
2.4	Propiedades Térmicas del PEAD.....	50
2.5	Propiedades Físicas del PEAD.....	51
3.1	Resultados de la simulación.....	59
3.2	Resultados del cálculo de la fuerza de cierre.....	59

ÍNDICE DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.

Abreviaturas y siglas	Descripción
EMI:	Empresa Militar Industrial
CNC:	Control Numérico Computacional
PEAD:	Polietileno de alta densidad
HDPE:	Hight Density Polyetylene
UM:	Unidad de medida
PP:	Polipropileno
CAM:	Computer-Aided Manufacturing (Manufactura Asistida por Computadora)
CAE:	Computer-Aided Engineering (Ingeniería Asistida por Computadora)
Temp:	Temperatura
Mold:	Molde
Exp:	Expansión
ABS:	Acrilonitrilo-butadieno-estireno
Máx:	Máximo
Mín:	Mínimo
AISI:	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano del Hierro y el Acero)
CAD:	Computer-Aided Design (Diseño Asistido por Computadora)
PEBD:	Polietileno de baja densidad
PI:	Presión de Inyección
PS:	Poliestireno
PMMA:	Polimetilmetacrilato
PVC:	Policloruro de vinilo
PET:	Politereftalato de etileno
PTFE:	Politetrafluoretileno o Teflón

ÍNDICE GENERAL.

Pensamiento

Dedicatoria

Agradecimientos

Resumen

Abstract

	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1: Fundamentación teórica sobre los moldes para prótesis.	
1.1 Generalidades.....	5
1.2 Métodos de fabricación de prótesis.....	9
1.3 Reseña histórica de prótesis de rodilla.....	11
1.4 Materiales más utilizados en el proceso de inyección de plástico.....	13
1.5 Selección de materiales para prótesis.....	18
1.6 Materiales para el diseño de moldes	19
1.7 Conclusiones parciales.....	21
Capítulo 2: Diseño del molde para inyección de plástico de la prótesis interna de rodilla.	
2.1 Descripción de la pieza.....	23
2.2 Análisis de la muestra prototipo o plano de la pieza.....	24
2.3 Cálculo y diseño del molde de inyección.....	26
2.4 Defectos y soluciones comunes.....	53
2.5 Conclusiones parciales.....	56
Capítulo 3. Simulación de la pieza aplicando el software Autodesk Moldflow Simulation.	
3.1 Descripción del software.....	57
3.2 Simulación.....	57
3.3 Evaluación económica financiera de la propuesta del molde para el producto: Prótesis interna de rodillas.....	66
3.4 Conclusiones parciales.....	68
Conclusiones	69
Recomendaciones	70
Bibliografía	71
Anexos.	

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are centered horizontally and extend across most of the page width.

INTRODUCCIÓN

Hoy en día no cabe duda de que los plásticos juegan un papel fundamental en nuestras vidas. Desde que se inventasen en el siglo XIX los primeros plásticos, estos se han desarrollado y convertido en un material con múltiples aplicaciones. En nuestra vida cotidiana los podemos encontrar en la mayoría de objetos a nuestro alrededor. Tienen una gran variedad de tamaños, colores y texturas gracias a los cuales se convierten en el material más versátil para fabricar cualquier objeto. Es quizás por su abundancia que muchas veces no nos paramos a pensar en los procesos que hacen que, partiendo de polímeros, ya sea en forma de gránulos o polvo, obtengamos todo tipo de piezas y además con un alto nivel de producción. [20]

El diseño de una pieza o artículo de plástico es un proceso de gran complejidad en el que el diseñador, además de conocer los requerimientos funcionales de la pieza, debe conocer y estar familiarizado con las propiedades de los materiales plásticos, el proceso de transformación, así como las condiciones a que estará sometida la pieza durante su vida en servicio. En el lanzamiento al mercado de un nuevo producto, deben seguirse una serie de etapas, todas ellas interrelacionadas. Esto incluye básicamente todos los pasos esenciales en la vía para obtener piezas de gran calidad como diseño de la pieza, diseño del molde, mecanizado del molde e inyección de las piezas. A medida que las piezas inyectadas han ido ganando más y más campo en el ámbito de la ingeniería, ha ido creciendo la necesidad de incrementar la calidad de los productos transformados. Todo ello hace que los requisitos que se piden a las piezas y al proceso de inyección sean cada vez más exigentes. La distribución del material dentro del molde, así como las orientaciones de flujo, y los diferentes grados de contracción que pueden producirse deben calcularse, y en su caso estimarse antes de la construcción del molde. De todo ello se deriva la complejidad del diseño y el completo conocimiento del proyecto que debe tener el diseñador, pues cada cambio producido puede afectar y condicionar a todos los demás, sufriendo así el proyecto diversas iteraciones y replanteamientos en las diferentes etapas, lo que requiere un cierto grado de experiencia, así como el empleo de criterios conservadores en las estimaciones efectuadas, antes de proceder a la construcción del molde, determinar la fiabilidad de la pieza transformada y pasar al proceso de fabricación en serie. [2]

La industria que da forma a los plásticos ha evolucionado enormemente y se han producido grandes avances en lo referente a la mejora de la calidad de los productos y a los tiempos de

ciclo de producción. Esto último ha sido posible especialmente gracias al desarrollo de software de simulación de las condiciones que se producen en los moldes, dejando a un lado el sistema prueba-fallo-prueba tan costoso por el tiempo y dinero necesarios para obtener resultados óptimos. [20]

Mediante la simulación se pueden reproducir todos los estados desde que comienza la inyección hasta que las piezas se enfrían y están dispuestas a ser expulsadas del molde. De esta forma se pueden modificar los parámetros que entran en juego en el proceso hasta dar con las condiciones óptimas para reproducirlas en la realidad. [20]

Actualmente en Cuba existe capacidad y experiencia para el diseño de moldes para inyección plástica, por lo tanto, es necesario realizar el diseño de una pieza tipo inserto para prótesis interna de rodilla la cual dispone de un precio elevado por su importación. Esta pieza cumple con la función de sustitución de la rótula insertada a otro dispositivo metálico. El trabajo propone eliminar su importación y a consecuencia de esto propiciar un ahorro económico para el país con respecto al tema en cuestión.

Problema científico: ¿Cómo realizar el diseño y simulación de moldes para inyección de plástico en la elaboración de la pieza tipo implante, prótesis interna de rodilla?

Objetivo general:

Desarrollar el diseño y simulación del molde para inyección de plástico, evaluando el comportamiento de los parámetros tecnológicos para el inserto de prótesis interna de rodilla.

Objetivos específicos:

1. Realizar un estudio bibliográfico profundo referente al diseño de moldes para prótesis, enfatizando en los métodos de fabricación y en los materiales más utilizados en la construcción de moldes y en el proceso de inyección de plástico.
2. Desarrollar un procedimiento para el diseño de moldes para inyección de plástico, utilizando el software *Autodesk Inventor*, de la prótesis interna de rodilla.
3. Simular la pieza mediante el software *Autodesk Modflow Simulator Adviser* para verificar con antelación el proceso de inyección del material plástico en el molde.

4. Llevar a cabo una correcta evaluación económica financiera de la propuesta del molde para la prótesis interna de rodilla.

Preguntas de investigación

1. ¿Cuáles son los métodos de fabricación, los materiales más utilizados en la construcción de moldes y en el proceso de inyección de plástico?
2. ¿Cuáles son los aspectos generales a tener en cuenta en el desarrollo de un procedimiento para el diseño de moldes para inyección de plástico?
3. ¿Cómo verificar con antelación el proceso de inyección del material plástico en el molde?
4. ¿Cómo realizar un estudio económico de la propuesta del molde para la prótesis interna de rodilla?

Hipótesis:

“Si se realiza un adecuado estudio de la metodología para el diseño y generación del molde para inyección, será posible mediante este parámetro fundamental desarrollar cualquier tipo de pieza dentro del campo de moldes para inyección de plásticos.”

Justificación:

La investigación desarrollada en este proyecto sirve de guía fundamental para proponer un sistema de inyección de moldes plásticos para la pieza a elaborar, favoreciendo de tal manera la construcción del mismo a través del proceso de inyección. Por lo tanto, nuestro país se ahorraría la tarea de importar ese componente y favorecería el aspecto económico en gran medida

Viabilidad de la investigación:

La investigación es viable ya que se cuenta con profesionales y estudiantes de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas capacitados para llevar a cabo la investigación. La dirección de la EMI de Santa Clara se encuentra abierta a la cooperación para llevar adelante este estudio.

Estructura del trabajo:

El presente trabajo consta de un resumen, introducción, tres capítulos, así como conclusiones, recomendaciones, bibliografía y anexos.

Capítulo I: Se realiza una revisión bibliográfica de los antecedentes, estado actual y perspectiva del diseño de moldes para inyección de plástico, tanto en el ámbito nacional como internacional. Además, se analizan los diferentes materiales más utilizados en la inyección de plásticos y específicamente los más resistentes para el diseño de implantes de prótesis interna de rodilla.

Capítulo II: En este capítulo se desarrolla detalladamente todo el diseño del molde para inyección plástica para la pieza de polietileno en el software Autodesk Inventor, partiendo de una metodología, se llevan a cabo una serie de pasos como los cálculos de cavidades, dimensionamiento del portamolde, canales de alimentación y enfriamiento, selección de materiales para el molde y su tratamiento térmico respectivo.

Capítulo III: Se lleva a cabo la simulación de la pieza moldeada, analizando como primer paso el punto de inyección y el material a inyectar, para luego determinar todos los resultados pertinentes como la presión de inyección, la temperatura de frente del flujo, la variación de temperatura, variación del tiempo de enfriamiento, tiempo de llenado, confianza de llenado, entre otros. Todo este proceso se realiza mediante el software Autodesk Modflow Simulator Adviser.



CAPÍTULO 1

**FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA SOBRE LOS
MOLDES PARA PRÓTESIS**

1.1.Generalidades.

El moldeo para inyección ha sido una de las herramientas de fabricación más importantes para la industria del plástico desde que se patentó la máquina de tornillo recíproca en 1956. En la actualidad es prácticamente imposible hacer algo sin partes moldeadas por inyección. [3]

El antecedente más importante para el diseño del molde estudiado es el trabajo realizado por Figueroa y Müller-Karger (2007), que consistió en el diseño de una prótesis para amputaciones transtibiales, es decir, por debajo de la rodilla. Para obtener un prototipo ideal de prótesis se comenzó por estudiar una serie de consideraciones clínicas, y luego se generó, con la ayuda de una computadora, un modelo en 3D de la pieza. Con este modelo paramétrico, se procedió a realizar el análisis de esfuerzos, con lo cual se estimó su capacidad de almacenar y liberar energía con la finalidad de calificarlo o no como prótesis de comportamiento dinámico. Además, con los resultados obtenidos de los valores de esfuerzo máximo, peso, desplazamiento máximo y resistencia a la fatiga se realizaron las optimizaciones necesarias para obtener el modelo final. [4] [5]

Por otro lado, Candal y Morales (2006) en un estudio relacionado con el diseño de moldes para piezas de espesor mayor a 5 mm, encontraron que el empleo del factor de forma (relación calculada a partir del área superficial y del volumen de la pieza) es sumamente importante para obtener resultados similares a la realidad en el programa comercial de simulación del proceso de inyección C-MOLD. [4] [5]

En el área de moldeo por inyección se han realizado otros trabajos como el de Candal et al. (2004), que consistió en el diseño de un molde de inyección para tapas de seguridad de uso farmacéutico. Las tapas están compuestas por una parte interna y una externa y se hicieron simulaciones del proceso de inyección probando distintos diseños de molde y sistemas de refrigeración para producir piezas en un tiempo de ciclo adecuado. Luego de las simulaciones y de la evolución de los diseños, finalmente se presentaron dos propuestas para el molde, una con 4 cavidades con postizos intercambiables y otra con 8 cavidades para producir ambas piezas a la vez. El sistema de refrigeración escogido consistió en canales pasantes, circulares y “baffles”. Este trabajo sirvió como modelo por la metodología empleada para el diseño de

un molde para la fabricación de una pieza empleada en el área médica, pero de pared delgada. [4] [5]

En el caso específico de las prótesis, Picón et al. (2009) desarrolló un trabajo relacionado con el diseño de tres modelos de cajas intersomáticas para fusión lumbar. Una vez diseñadas las piezas, el proyecto continuó avanzando hasta lograr el diseño del molde para su producción con un material polimérico, pero por lo pronto, ya se obtuvieron los primeros prototipos nacionales en acero inoxidable por medio del proceso de mecanizado. [4] [5]

Dos factores principales que condicionan el comportamiento del polietileno en las prótesis totales de rodilla son el diseño y los materiales. Gracias a su diseño, el inserto tibial de polietileno de Optetrak permite una congruencia optimizada y un menor stress de contacto. La mejora de los materiales permite potenciar el excelente rendimiento de Optetrak. Sus insertos tibiales de polietileno fabricados por moldeo por compresión directa no mecanizado, actúan sobre la superficie articular. ¿El resultado? Menor desgaste del polietileno y menor erosión que los insertos tibiales mecanizados. [6]

La propuesta de pie protésico, desarrollada por el Grupo de Biomecánica de la Universidad “Simón Bolívar” conforma un bloque sólido de aproximadamente 400 cm³ de Polióxido de Metileno (POM), algo poco común en piezas plásticas inyectadas y que exige requerimientos particulares fuera de las normas convencionales para el diseño correcto de un molde de inyección. Esta pieza si no es enfriada correctamente podría sufrir serios problemas de contracción volumétrica, alabeo y presencia de rechupes, que van en detrimento de las propiedades mecánicas de la pieza y la calidad de la geometría esperada. Este trabajo, describe la metodología utilizada para modelar el comportamiento del molde diseñado durante el proceso de inyección del prototipo de prótesis de pie por aproximación numérica. El diseño del conjunto de piezas que constituyen el molde y su ensamblaje se realizaron con la herramienta CAD comercial Solidworks 2010, y su estudio se ejecutó bajo un modelo tridimensional de elementos tetraédricos empleando la herramienta comercial de ingeniería asistida por computador, CAE, del inglés. [4]

Hekuma GmbH, de Eching (Alemania), presentó a finales de 2009 una garra de extracción apta para sala limpia y extremadamente rápida. La que según el fabricante es la extracción

más rápida que existe actualmente para las puntas de pipetas, logra con su eje lineal valores de aceleración de hasta 10 g, así como velocidades de desplazamiento de hasta 1.200 mm/s. Esta garra de extracción llega al útil de moldeo por inyección, toma las pipetas del útil de 32 cavidades, realiza un control de presencia y sale de nuevo en 0,25 segundos. [7]

Por supuesto, los útiles de moldeo por inyección utilizados en la fabricación a gran escala para la tecnología médica deben ser también altamente precisos, aptos para sala limpia y económicos. Además de lograr productos con paredes lo más finas posible para el ahorro de material y de tiempos de ciclo, se requieren gran cantidad de cavidades y sistemas de refrigeración optimizados. El constructor de moldes suizo Schöttli AG de Diessenhofen construye, por ejemplo, útiles de pisos con 192+192 cavidades y vende sus moldes aptos para sala limpia para fabricar piezas de tecnología médica destinadas, en un 90%, al mercado extranjero. [7]

La empresa Roscardioinvest de Moscú fabrica una nueva generación de válvulas cardiacas de tres aletas con una poliamida modificada. La válvula cardiaca mecánica, de sólo 0,25 gramos de peso, planteó enormes exigencias a sus diseñadores. El desafío fundamental fue diseñar la herramienta de modo que las válvulas no tuviesen marcas de mazarota ni de expulsión. Esto es imprescindible para que no se formen sedimentos (trombos) ni coágulos de sangre en la válvula, ni aparezcan remolinos circulatorios. Hasta ahora, con las válvulas cardiacas mecánicas, esto sólo podía lograrse mediante un pulido posterior. [7] (Figura 1.1).



Figura 1.1: La nueva generación de válvulas cardiacas de tres alas se puede fabricar con herramientas de moldeo de inyección de Köbelin.

Köbelin Formenbau GmbH, de Eichstetten, ha desarrollado y fabricado el primer útil existente en el mercado mundial para el moldeo por inyección automático y sin retoques posteriores de este tipo de aletas para válvulas cardíacas. La recepción del útil para la producción en serie se realizó el pasado año. [7]

Muchas otras piezas de alta precisión se utilizan de otros modos en el cuerpo humano. Esto incluye componentes para el uso en la cirugía mínimamente invasiva. Este tipo de piezas funcionales son cada vez más pequeñas, complejas y precisas. La tendencia a la miniaturización impulsa enormemente la tecnología médica. La empresa suiza BCR Plastics AG de Vallorbe fabrica, por ejemplo, elementos de guía miniaturizados para stents, que deben ser vistos mediante lentes de aumento. [7]

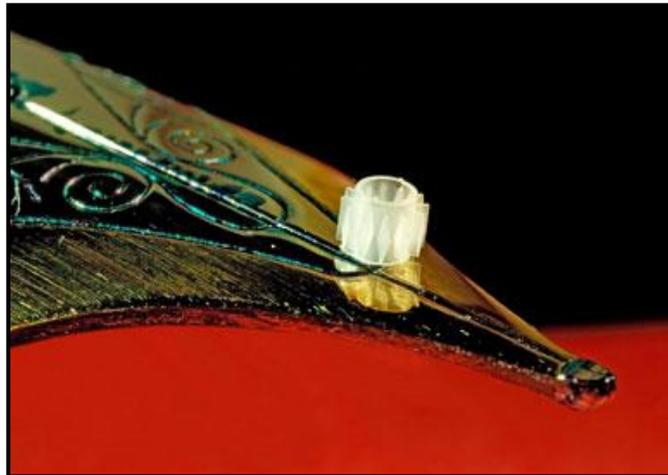


Figura 1.2: Elemento guía miniaturizado, empleado en cirugía mínimamente invasiva. Está colocado sobre el plumín de una estilográfica para comparar tamaños.

Actualmente el uso de impresoras en 3D parece bastante prometedor, hoy en día está creciendo mucho el uso de las impresoras en 3D, tanto para usos domésticos como industriales, aunque aún sigue siendo una forma precaria de fabricación, los materiales empleados por las impresoras son limitados, el cual se imprimirá en un material llamado ABS, es un tipo de material resistente y duro, que permite ser lijado, pulido, taladrado, pintado, y pegado con acetona, esto ayuda más fácil el uso manejable del material, esto ayuda mucho a la construcción de piezas mecánicas. Para la fabricación de prótesis, es necesario hacer el diseño en cualquier programa de CAD, hacer la simulación donde se analiza las

secciones donde se aplica la mayor parte de concentración de esfuerzos. La ventaja de la construcción de prótesis impresas en 3D es si al paciente se le llega a dañar su prótesis, o esta se quiebra, o simplemente quiere otro color, o cambiar el diseño, se puede hacer rápido, eficiente, y sobre todo a bajo costo. [8]

En el 2006 se construye la primera máquina del tipo SLS (Sintetización de Láser Selectivo) viable. Básicamente, este tipo de máquina utiliza un láser para fundir materiales en el proceso de impresión 3D. Este descubrimiento abre las puertas a la personalización masiva y a la demanda de fabricación de piezas industriales, y más tarde, prótesis médicas. [8]

Materialise, una empresa belga de aparatos médicos, hace implantes, por ejemplo, más ligeros que los mecanizados, sin pérdida de dureza y diseñados para adaptarse de forma precisa al paciente. [9]

Avinent, del grupo Vilardell Purí, de Santpedor, tiene una alianza tecnológica con el grupo internacional CORE3D, que abraza todas las fases de la elaboración de prótesis dentales personalizadas en la era digital: escanear digitalmente con escáneres intraorales, diseñar y producir con tecnología 3D y nuevos materiales. [9]

No sólo los implantes dentales o los aparatos de ortodoncia necesitan la personalización que facilita la impresión en 3D, sino también otro tipo de prótesis, como las auditivas o las de extremidades. En el Fab Lab de San Diego han desarrollado prótesis personalizadas para piernas amputadas por debajo de la rodilla o manos con dedos articulados. Hay varias empresas catalanas que ya trabajan con tecnología propia y que exportan a todo el mundo GAES, prótesis auditivas; PHIBO, prótesis dentales; INDO, gafas. [9]

Las prótesis han potencializado su evolución con la impresión 3D, sin dudas. Desde muletas mucho más anatómicas por la posibilidad de las impresiones curvas y adaptadas al tamaño adecuado hasta cubiertas para prótesis que permiten el diseño personalizado, prótesis de manos con movimientos más naturales e intuitivos a través de conjuntar impresión 3D, robótica y electrónica. [10]

1.2. Métodos de fabricación de prótesis.

➤ **Fabricación de prótesis por impresión 3D.**

Las prótesis impresas en 3D son algo que cada vez está tomando más fuerza en el mercado y en el mundo de la medicina y rehabilitación. Estos dispositivos se están implementando en países de primer mundo en este ámbito como los son Estados Unidos, España y Brasil. La empresa e-NABLE está incursionando en Brasil haciendo prótesis de este tipo para niños con la finalidad de estudiar su funcionalidad y si realmente hay algún cambio en su estilo de vida. Estas prótesis son impresas como la mayoría de objetos hechos de esta misma forma. Estas impresoras funcionan como las impresoras de chorro de tinta, que, en lugar de utilizar tinta, depositan el material deseado (ya sea resina o cualquier tipo de plástico) en una serie de capas sucesivas para crear un objeto procedente de un formato digital. Los dentistas usan impresoras 3D para crear réplicas de quijadas y dientes, así como otros implantes médicos.

Su aplicación se ha manifestado más por necesidad que por el ego y el reconocimiento. Un ejemplo de esto es el hecho de que la impresión en 3D permitió salvar a tres bebés que sufrían de las vías respiratorias, con un riesgo permanente de morir asfixiados. También se utilizó en Nueva York para la reconstrucción facial de un hombre. En países europeos como Francia, se está pensando en utilizar la bio-impresión para hacer tejidos o partes de tejidos celulares (piel, córnea...) para implementarlos en operaciones delicadas o riesgosas. [11]

Las prótesis impresas en 3D han aparecido poco a poco metiéndose en el mercado prostético con gran facilidad ya que aportan al paciente una gran movilidad gracias al manejo de materiales, haciéndolas muy resistentes para soportar el peso y hasta golpes sin dejar de lado la facilidad de su manejo ya que son muy ligeras. [11]

Retomando esto, es necesario destacar los beneficios que aportan estos dispositivos y el cómo cambiarían el estilo de vida de muchas personas haciéndolas mucho más independientes y funcionales para la sociedad con ayuda de la tecnología y que sin duda es uno de los factores y será un parteaguas para el futuro de la medicina y las bioingenierías.

Las prótesis impresas en 3D son algo revolucionario que sin duda debe de estar al alcance de todos por sus beneficios físicos y estructurales, así como por su costo y la ayuda que aportarían a todas las personas que las necesiten. [11]

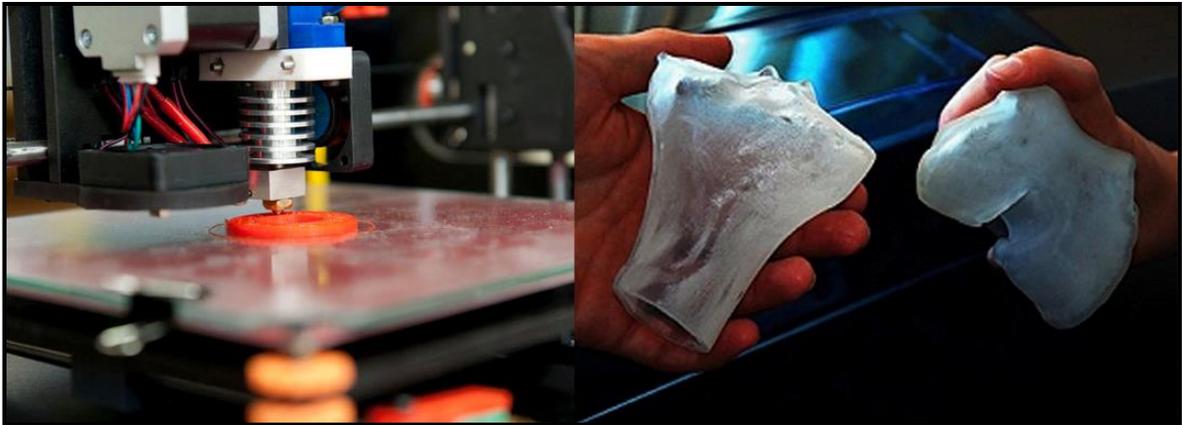


Figura 1.3: Fabricación de prótesis por impresión 3D.

➤ **Fabricación de polietileno mediante moldeo por compresión directa.**

Este proceso es una variación sobre el sistema de moldeo tradicional en el que se crea un molde pequeño que representa la forma exacta de la pieza. Se coloca una cantidad de resina exactamente calibrada en un molde, que es calentado y enfriado en una prensa controlada por ordenador. Esto nos da la forma exacta de la superficie articular del inserto tibial final con una uniformidad excepcional de las propiedades de los materiales. La figura 1.4 demuestra el proceso. [6]

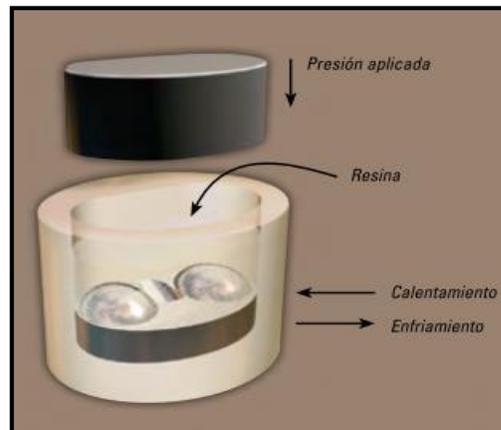


Figura 1.4: Polietileno moldeado por compresión.

1.3. Reseña histórica de prótesis de rodilla.

A partir de la creación de la primera prótesis interna de rodilla se han realizado diferentes diseños, variando diferentes materiales y dimensiones para lograr una mayor aceptación por

el paciente. A continuación, se muestra una comparación entre una de la primera prótesis de rodilla y la más reciente con mayor avance tecnológico fabricada hasta la actualidad.

➤ **Prótesis Interna de rodilla tipo SHIERS.**

En el año 1953 del siglo pasado se implantó la primera PTRTB de Shiers. Estaba fabricada en molibdeno y acero. Presentaba una superficie de rotación posterior evitando el “impingement” de partes blandas junto con vástagos femorales y tibiales de 15 cm. de longitud. Ambos componentes femoral y tibial se unían mediante un perno de bloqueo y no presentaban angulación varo-valgo (el mismo modelo servía para derecha e izquierda). Permitía una extensión máxima de 180° [12] (Fig. 1.2).

Diferentes series, incluyendo la del propio Shiers, destacaron en el alivio de la sintomatología, pero referían fracturas por fatiga del material, infección profunda con necrosis cutánea por presión del material protésico que obligaba a amputación del miembro, luxaciones del perno de bloqueo, fracturas periprotésicas a la altura de los vástagos femoral y tibial, déficit de extensión. [11] [12]

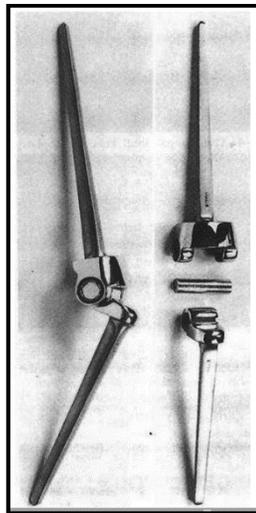


Figura 1.5: Prótesis interna de rodilla tipo SHIERS.

➤ **Prótesis de rodilla tipo charnela ENDO-MODEL®.**

Este modelo protésico hecho de Aleación de cromo-cobalto-molibdeno y polietileno UHMW y la base del presente estudio, dispone de dos versiones y cuatro tamaños de implante (izquierda y derecha). (Fig. 1.3)

A) Modelo sin superficie rotuliana para implantación primaria conservando la articulación ósea femoropatelar.

B) Modelo con superficie rotuliana que se utiliza cuando se sustituye la superficie rotuliana y en las cirugías de revisión. [11]

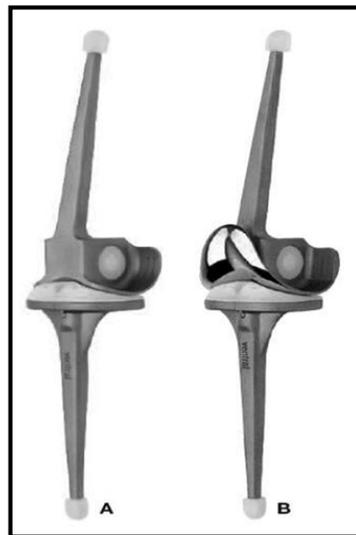


Figura 1.6: Modelos Endo-Model con y sin sustitución femoropatelar.

La inclusión del polietileno de alta densidad molecular en las prótesis de rodilla representa un paso importante en los implantes a nivel mundial ya que permite una mayor vida útil y un mejor funcionamiento en la rodilla del paciente.

1.4. Materiales más utilizados en el proceso de inyección de plástico.

Los plásticos son sustancias químicas sintéticas denominados polímeros, de estructura macromolecular que puede ser moldeada mediante calor o presión y cuyo componente principal es el carbono. Estos polímeros son grandes agrupaciones de monómeros unidos mediante un proceso químico llamado polimerización. Los plásticos proporcionan el balance

necesario de propiedades que no pueden lograrse con otros materiales, por ejemplo: color, poco peso, tacto agradable y resistencia a la degradación ambiental y biológica.

De hecho, plástico se refiere a un estado del material, pero no al material en sí: los polímeros sintéticos habitualmente llamados plásticos, son en realidad materiales sintéticos que pueden alcanzar el estado plástico, esto es cuando el material se encuentra viscoso o fluido, y no tiene propiedades de resistencia a esfuerzos mecánicos. Este estado se alcanza cuando el material en estado sólido se transforma en estado plástico generalmente por calentamiento, y es ideal para los diferentes procesos productivos ya que en este estado es cuando el material puede manipularse de las distintas formas que existen en la actualidad. Así que la palabra plástico es una forma de referirse a materiales sintéticos capaces de entrar en un estado plástico, pero plástico no es necesariamente el grupo de materiales a los que cotidianamente hace referencia esta palabra.

Las propiedades y características de la mayoría de los plásticos (aunque no siempre se cumplen en determinados plásticos especiales) son éstas:

- Fáciles de trabajar y moldear.
- Tienen un bajo costo de producción.
- Poseen baja densidad.
- Suelen ser impermeables.
- Buenos aislantes eléctricos.
- Aceptables aislantes acústicos.
- Buenos aislantes térmicos, aunque la mayoría no resisten temperaturas muy elevadas.
- Resistentes a la corrosión y a muchos factores químicos.
- Algunos no son biodegradables ni fáciles de reciclar, y si se queman, son muy contaminantes.

➤ **Termoplásticos.**

Un termoplástico es un plástico que, a temperatura ambiente, es plástico o deformable, se derrite cuando se calienta y se endurece cuando se enfría lo suficiente. La mayor parte de los termoplásticos son polímeros de alto peso molecular, los cuales poseen cadenas asociadas por medio de débiles fuerzas Van der Waals (polietileno); fuertes interacciones dipolo-dipolo

y enlace de hidrógeno, o incluso anillos aromáticos apilados (poliestireno). Los polímeros termoplásticos difieren de los polímeros termoestables en que después de calentarse y moldearse pueden recalentarse y formar otros objetos, mientras que en el caso de los termoestables o termoduros, después de enfriarse la forma no cambia y arden. [12]

Sus propiedades físicas cambian gradualmente si se funden y se moldean varias veces (historial térmico), generalmente disminuyen estas propiedades. Los más usados son: el polietileno (PE), el polipropileno (PP), el poliestireno (PS), el polimetilmetacrilato (PMMA), el policloruro de vinilo (PVC), el politereftalato de etileno (PET), el teflón (o politetrafluoretileno, PTFE) y el nylon (un tipo de poliamida). [12]

Se diferencian de los termoestables (baquelita, goma vulcanizada) en que éstos últimos no funden al elevarlos a altas temperaturas, sino que se queman, siendo imposible volver a moldearlos. Muchos de los termoplásticos conocidos pueden ser resultado de la suma de varios polímeros, como es el caso del vinilo, que es una mezcla de polietileno y polipropileno.

Propiedades generales: Presentan un punto de fusión bajo, son más suaves y flexibles.

Usos típicos: las botellas, envolturas de comida, los juguetes.

Ejemplos:

Polietileno: para empaquetados, como aislamiento eléctrico, para embotellar leche y agua.

Polipropileno: Fibras de alfombra, parachoques de automóviles, los recipientes de la microonda, el cuerpo de las prótesis.

Cloruro de Polivinilo (PVC): Envainando para los cables eléctricos, suelo y techado de la pared, las tarjetas de crédito, los tableros de los automóviles.

Los métodos más comunes de procesar plásticos para fabricar las partes plásticas son similares a los métodos que nosotros tenemos para metales y vasos. Éstos incluyen expulsión, el molde para inyección y el moldeo por soplado. El molde para inyección es el más significativo para la industria local, casi todas compañías de fabricación usan partes que son el molde para inyección, ellos fabrican juguetes, casas, aparatos electrónicos o partes eléctricas, los relojes, las computadoras, entre otros productos de importancia.

➤ **Termoestables.**

Los plásticos termoestables son aquellos que una vez moldeados no pueden reblandecerse con el calor, ya que experimentan una transformación química llamada *fraguado*; por este proceso las moléculas se enlazan permanentemente y el polímero queda rígido. Antes del fraguado, los productos termoestables son líquidos pastosos o sólidos, pero capaces de adquirir la forma adecuada mediante la aplicación de calor y de presión. A estos plásticos, una vez fraguados, no es posible darles otra forma ni someterlos a temperaturas elevadas puesto que sus moléculas se degradan por el calor. [12]

Propiedades Generales: Presentan una mayor durabilidad, así como una mayor dureza y ligereza.

Usos típicos: En partes automovilísticas, en materiales de la construcción.

Ejemplos:

- Los poliésteres no saturados: Las lacas, barnices, los cascos de barcos, el mobiliario.
- Epoxies y resinas: Las colas, cubiertas de circuitos eléctricos, los materiales compuestos como fibra de vidrio usada en las hojas del helicóptero.

➤ **Elastómeros.**

Los elastómeros son aquellos polímeros que muestran un comportamiento elástico. El término, que proviene de polímero elástico, es a veces intercambiable con el término goma, que es más adecuado para referirse a vulcanizados. Cada uno de los monómeros que se unen entre sí para formar el polímero está normalmente compuesto de carbono, hidrógeno, oxígeno y/o silicio. Los elastómeros son polímeros amorfos que se encuentran sobre su temperatura de transición vítrea o T_g , de ahí esa considerable capacidad de deformación. A temperatura ambiente las gomas son relativamente blandas ($E \sim 3\text{MPa}$) y deformables. Se usan principalmente para cierres herméticos, adhesivos y partes flexibles. Comenzaron a utilizarse a finales del siglo XIX, dando lugar a aplicaciones hasta entonces imposibles (como los neumáticos de automóvil). [12]

Propiedades generales: Estos son termoestables, y contienen caucho dentro de sus propiedades.

Usos típicos: Las máscaras médicas, los guantes.

Ejemplos:

Poliuretano: Colchones, cojines, aislamientos, juguetes.

Silicones: Guantes quirúrgicos, máscaras de oxígenos en las aplicaciones médicas y otras.

Tabla 1.1: Plásticos más utilizados.

Nombre	Uso principal	Abreviatura (opcional)	Nº. de identificación
Tereftalato de Polietileno	Producción de botellas para bebidas. A través de su reciclado se obtiene principalmente fibras para relleno de bolsas de dormir, alfombras, cuerdas y almohadas.	PET o PETE	1
Polietileno de alta densidad	Se utiliza en envases de leche, detergente, aceite para motor, etc. El HDPE tras reciclarse se utiliza para macetas, contenedores de basura y botellas de detergente.	PEAD o HDPE	2
Policloruro de vinilo o Vinilo	Botellas de champú, envases de aceite de cocina, artículos de servicio para casas de comida rápida, etc. El PVC puede ser reciclado como tubos de drenaje e irrigación.	PVC o V	3
Polietileno de baja densidad	Bolsas de supermercado, de pan, plástico para envolver. El LDPE puede ser reciclado como bolsas de supermercado nuevamente.	PEBD o LDPE	4
Polipropileno	Se utiliza en la mayoría de recipientes para yogurt, sorbetes, tapas de botella, etc. El PP tras el reciclado se utiliza como viguetas de plástico, peldaños para registros de drenaje, cajas de baterías para autos.	PP	5
Poliestireno	Tazas desechables de bebidas calientes y bandejas de carne. El PS puede reciclarse en viguetas de plástico, cajas de cintas para casetes y macetas.	PS	6
Otros	Botellas de catsup para exprimir, platos para hornos de microondas, etc.	Otros	7

(El código de Identificación es adoptado en México el 25 de noviembre de 1999 en la NMX-E-232-SCFI-1999 basado en la identificación de Europa y países de América). [1]

1.5. Selección de materiales para prótesis.

El cuerpo humano es un ambiente químico hostil para los materiales externos por lo que las propiedades mecánicas y biológicas de éstos pueden ser alteradas drásticamente por sus fluidos. Las concentraciones de pH de la sangre producen corrosión e ionización de algunos materiales, esto a su vez produce una respuesta biológica que puede degenerar en inflamaciones crónicas e inclusive en cambios severos en la morfología de las células que rodean al material deteriorado. [13]

Los biomateriales se clasifican según su respuesta biológica y su grado de toxicidad, en bio-tolerantes, bio-inertes y bio-activos. Los bio-tolerantes se caracterizan por la formación de una delgada capa de tejido fibroso a su alrededor producto de la irritación causada por los químicos generados por el material en su proceso de desgaste. Los bio-inertes no generan intercambio químico entre el material y el tejido y fluidos que lo rodean. Los bio-activos forman enlaces químicos con el tejido que los rodea. [10]

Los materiales usados actualmente para las prótesis de rodilla son aleaciones de cromo, cobalto y titanio con insertos de polímeros de ultra alto peso molecular. Es importante mencionar que los materiales además de poseer características de resistencia, corrosión y desgaste adecuados deben cumplir con requisitos de bio-compatibilidad exigidos por entes internacionales. [13]

➤ Polímeros.

Los polímeros tienen algunas propiedades mecánicas indeseables como su tendencia a la fluencia lenta aún a temperatura ambiente y pequeñas cargas estáticas. Algunos absorben agua, se hinchan y disminuyen su resistencia al pasar el tiempo. Los polímeros más utilizados son el metacrilato usado como cemento de fijación y como material de transición entre el implante y el hueso; el poliuretano de ultra alto peso molecular que se utiliza para la fabricación de los sectores de los implantes donde hay articulación para evitar el roce entre componentes metálicos. El poliuretano de ultra alto peso molecular será utilizado para la parte superior del componente tibial. Este material posee un bajo coeficiente de fricción, un

módulo elástico de 873 ± 30 MPa, un módulo de Poisson de $0,439 \pm 0,01$, un esfuerzo de fluencia de 22 MPa y una densidad de 0,94 gr/cm³. [13]

➤ **Polímeros olefínicos (Polietileno de alta densidad).**

El polietileno de alta densidad se sintetiza por medio de un procedimiento encontrado por el profesor Karl Ziegler, en los años 1949-1955, llamado polimerización de Ziegler-Natta. Se trata de un proceso de polimerización catalítica (catalizador de Ziegler-Natta) a baja presión (la presión de fabricación del HDPE está por debajo de 14 MPa).

Cuando se inyecta etileno en una suspensión de etilato de aluminio y éster titánico en un aceite, se polimeriza el etileno con desprendimiento de calor, el cual es absorbido por el disolvente, y forma un producto macromolecular.

También se puede obtener con la polimerización del etileno a presiones relativamente bajas, con un óxido metálico sobre sílice o alúmina como catalizador (catalizadores tipo Phillips). Son los llamados procesos de Phillips y Standard Oil y son responsables de la fabricación de más de un tercio de todo el polietileno que se distribuye a nivel mundial.

El polietileno de alta densidad se produce normalmente con un peso molecular que se encuentra en el rango de 200.000 y 500.000, pero puede ser mayor. La distribución de pesos moleculares del HDPE es en gran parte controlada por el tipo de catalizador usado en la polimerización y por el tipo de proceso de fabricación empleado. [14]

1.6. Materiales para el diseño de moldes.

Para la transformación de polímeros mediante el proceso de inyección, son indispensables moldes de gran calidad con una elaboración muy precisa, y que sean muy resistentes para que tengan una vida útil larga. Estos moldes se fabrican actualmente en aceros, metales no férricos como el aluminio, materiales de colada no metálica, obtenidos galvánicamente u otros a base de materiales cerámicos. Anexo 3[27]

El tipo de molde con el que se pretende fabricar piezas de plástico depende de varios factores como son:

- Las exigencias que se le piden a la pieza.

- Los costes de fabricación del molde.
- El tiempo de ciclo.
- El número de piezas que se quiere fabricar con el molde (vida útil). [27]

Escoger el mejor material que se adapte a las necesidades del molde, asegura la calidad final de este desde la etapa inicial. Por ejemplo, los materiales con buenas propiedades térmicas presentan generalmente propiedades mecánicas menos buenas. Por esta razón, es importante que las diferentes partes que intervienen en el proceso productivo de un molde tengan en cuenta la opinión de los aceristas y de los talleres especializados en tratamientos térmicos y termoquímicos desde la fase de desarrollo.

➤ **Aceros.**

Para obtener un buen rendimiento del molde, es esencial seleccionar el acero adecuado, un buen diseño y un correcto tratamiento térmico, además de tener que satisfacer las condiciones impuestas a la pieza acabada y los esfuerzos que tiene que soportar el molde. [27]

Teniendo todo esto en cuenta, las propiedades que tienen que tener los aceros son las siguientes:

- **Facilidad en el mecanizado:** Es imprescindible una buena facilidad de mecanizado del material con el que se construye el molde para una rápida elaboración, ya que el plazo de entrega de un molde suele ser corto.
- **Buena capacidad para el pulido:** Para conseguir acabados superficiales de calidad para piezas con grandes exigencias estéticas.
- **Alta resistencia al desgaste:** Hay piezas de plástico que debido a sus especificaciones deben realizarse en materiales plásticos que vienen acompañados de fibra de vidrio, materiales minerales, que aumentan la rigidez de dicha pieza pero que son altamente abrasivos para el molde. Por esta razón es muy importante escoger el material o recubrimiento idóneo para el molde.
- **Alta resistencia a la corrosión:** También hay materiales plásticos que vienen acompañados con productos químicos como por ejemplo los materiales ignífugos, que son altamente corrosivos para la superficie del molde. Por lo tanto, es aconsejable utilizar aceros de alta resistencia a la corrosión o con recubrimientos en la superficie como por ejemplo cromo.

- **Alta resistencia a las deformaciones:** Existen plásticos que deben inyectarse a temperaturas elevadas que alcanzan fácilmente los 250°C. En estos casos, deben utilizarse aceros con una elevada temperatura de revenido. De no tener en cuenta estas exigencias, se pueden producir cambios en la estructura del molde y como consecuencia un cambio en las medidas de la pieza que se desea fabricar.

Cuando un producto tiene unas especificaciones muy exigentes, por ejemplo, buen acabado superficial, medidas exactas, elevada velocidad de producción, gran número de piezas, etc., los moldes se elaboran exclusivamente por arranque de ferrita o por prensado en frío. Además, para la construcción de estos moldes se utilizan bloques de acero refinado, forjado o laminado o materiales cerámicos. En estos casos se aceptan mayores costes de fabricación del molde en comparación con moldes con menos exigencias. Por otro lado, cuando solo desea realizar tiradas de piezas más pequeñas, los materiales utilizados en la construcción del molde suelen ser más económicos y con métodos de fabricación más sencillos. Un ejemplo sería, en la construcción de moldes "prototipo" en la que solo se desean unas pocas piezas. Estos moldes "prototipo" se construyen casi siempre en aluminio ya que es más fácil de mecanizarlo, pero en cambio, tienen una vida útil muy corta ya que el aluminio es un material blando y se desgasta más rápidamente. La experiencia de muchos años y colaboración entre fabricantes de acero y fabricantes de moldes, ha facilitado el desarrollo de una gran variedad de aceros destinados a la fabricación de estos. Dependiendo de la función de cada componente dentro del molde, precisaremos de un acero con características diferentes. Hoy en día, los aceros se dividen en 5 grandes grupos con características diferentes:

- Aceros de cementación.
- Aceros bonificados.
- Aceros resistentes a la corrosión.
- Aceros de revenido total.
- Aceros de nitruración.

1.7. Conclusiones parciales.

En este capítulo se realizó un estudio exhaustivo de varios temas fundamentales acerca de los moldes para inyección de plásticos para prótesis internas de rodilla, así como los

materiales para su diseño. También se analizan los materiales plásticos más utilizados en el proceso de inyección.

1. Según la reseña histórica realizada de la amplia gama de diseños de moldes por inyección de plásticos para prótesis, varios de los autores enfrascados en esta rama llegan a conclusiones diferentes, enfocadas mayormente en la construcción de moldes con cavidades intercambiables por la diversidad de anatomía en los pacientes, en los canales de alimentación y refrigeración, así como también el número de cavidades para una mayor producción en serie.
2. Los diferentes métodos para la fabricación de prótesis en el mundo, están dadas mayormente por el avance tecnológico, al punto de crear desde un molde por compresión de resina plástica hasta un diseño computarizado de modelos protésicos con las medidas exactas del paciente en una impresora 3D.
3. Los materiales poliméricos son usados en variedad de estructuras y formas, pero para la fabricación de insertos de prótesis internas se utiliza el polietileno de alta densidad molecular (HDPE), el cual por sus propiedades permite alargar la vida útil de estos implementos médicos siendo un material más resistente al desgaste como principal factor en la venta de estos productos en el mercado mundial.



CAPÍTULO 2

**DISEÑO DEL MOLDE PARA INYECCIÓN
DE PLÁSTICO DE LA
PRÓTESIS INTERNA DE RODILLA**

2.1. Descripción de la pieza.

Partiendo de varios modelos de prótesis internas de rodilla, se realizará el diseño de uno de sus componentes. Esta pieza se encuentra insertada en la parte superior del componente tibial, permitiendo la función de apoyo para el componente femoral y soportar la presión y desgaste superficial ejercido por el mismo. Como ejemplo, a continuación, se muestran varias imágenes de diferentes modelos de prótesis internas de rodilla, mostrándose en rojo la pieza como objetivo fundamental.

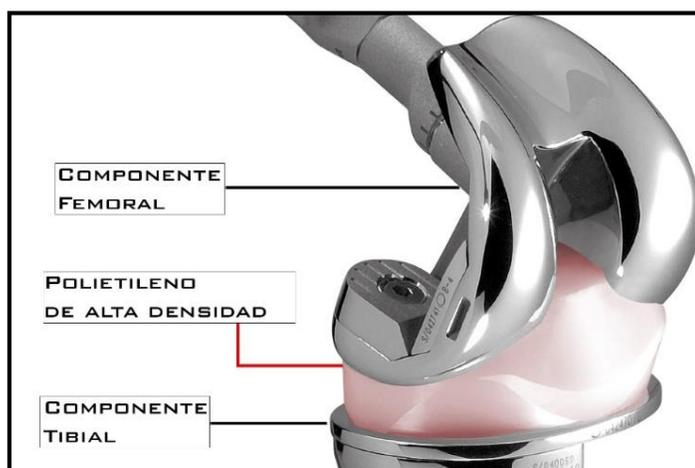


Figura 2.1: Partes de una prótesis interna de rodilla.
(Elaboración propia)

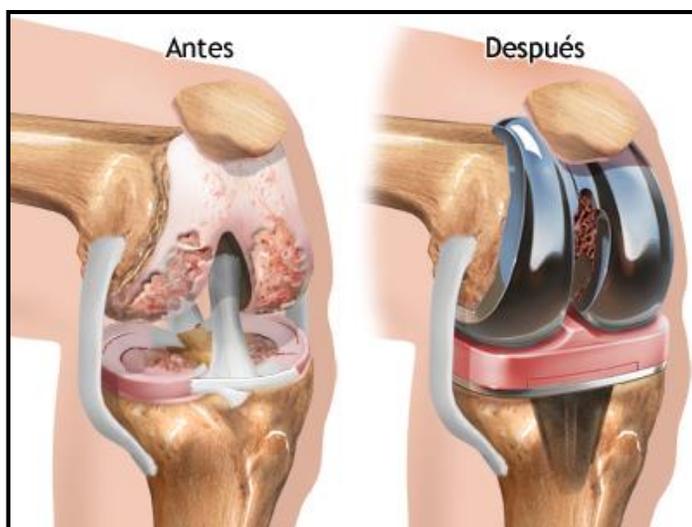


Figura 2.2: Colocación de la prótesis de rodilla.
(Elaboración propia)

2.2. Análisis de la muestra prototipo o plano de la pieza.

La geometría real se obtuvo mediante superficies no representativas generadas previamente en un software CAD (Autodesk Inventor). No fue necesaria su reparación una vez exportada ya que se llevó a cabo en el propio sistema CAD, la pieza se representa en la Figura 2.3. El material a inyectar será un polietileno de alta densidad molecular. El software Autodesk Inventor permite analizar gráficamente los negativos y desmoldes aplicados en la pieza. Tras realizar un estudio de la geometría de la pieza se pudo definir el punto de inyección (lateral).

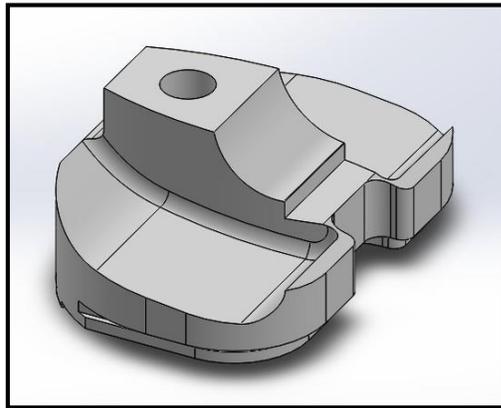


Figura 2.3: Geometría de la pieza. (Elaboración propia)

➤ Material de fabricación de la pieza.

Normalmente para la elección del material con el que fabricar la pieza se suele escoger después de analizar varios tipos según las características y requisitos que se necesitan. En el mercado existen muchos tipos de plásticos con características diferentes y que se pueden clasificar según sus prestaciones y estructura interna. En el caso de esta pieza, se va a utilizar el polietileno de alta densidad ya que es el más usado para este tipo de componente que conforman la prótesis interna de rodilla. [30]

➤ Definición.

El polietileno de alta densidad o PEAD (*HDPE* en inglés) es un polímero de cadena lineal no ramificada, por lo cual su densidad y las fuerzas intermoleculares son altas. (Figura 2.4).

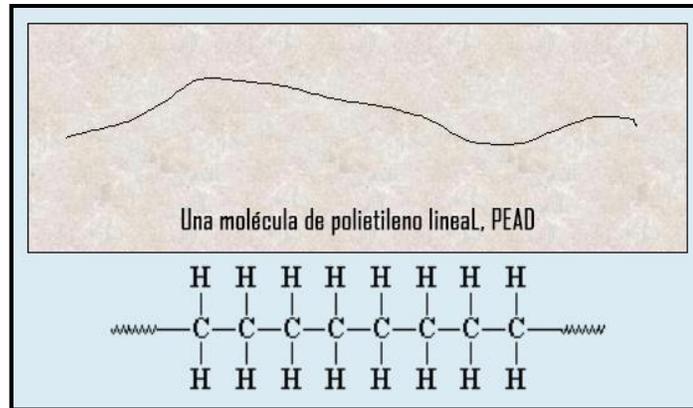


Figura 2.4: Distribución Molecular del PEAD.

Los objetos fabricados con HDPE se identifican, en el sistema de identificación americano SPI (Society of the Plastics Industry), con el siguiente símbolo en la parte inferior o posterior:

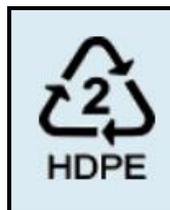


Figura 2.5: Simbología del PEAD.

➤ **Propiedades.**

- El HDPE es un material termoplástico parcialmente amorfo y parcialmente cristalino. El grado de cristalinidad depende del peso molecular, de la cantidad de comonomero presente y del tratamiento térmico aplicado.
- Presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) y mejor resistencia química y térmica que el polietileno de baja densidad, debido a su mayor densidad. Además, es resistente a las bajas temperaturas, impermeable, inerte (al contenido), con poca estabilidad dimensional y no tóxico.
- También presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. No resiste a fuertes agentes oxidantes como ácido nítrico, ácido sulfúrico fumante, peróxidos de hidrógeno o halógenos. [30]

➤ **Clasificación del artículo a producir de acuerdo a su tamaño.**

Los artículos se clasifican en:

- Pequeños.
- Medianos.
- Grandes.

Para la clasificación del artículo se tienen en cuenta dos aspectos fundamentalmente, estos son el espesor de pared y el peso del artículo siendo este último el que predomina. [32]

Artículos pequeños.

- Espesor de pared < 1.2 mm
- Peso del artículo < 50 g

Artículos medianos.

- Espesor de pared entre 1.2 y 5 mm
- Peso del artículo entre 50y 300 g

Artículos grandes.

- Espesor de pared > 5 mm
- Peso del artículo > 300 g 6.

2.3. Cálculo y diseño del molde de inyección.

Para realizar el diseño de un molde de inyección hay que tener en cuenta muchas variables, como el número de placas, la situación del punto de inyección, tipos de canales, el sistema de expulsión que se irán viendo más detenidamente a lo largo de este capítulo. No hace falta tener mucha experiencia en el diseño de moldes para darse cuenta de que la variable que más influirá en el diseño del molde es la geometría de la pieza a inyectar. Ésta nos condicionará todos los elementos del molde. [31]

Para poder diseñar correctamente un molde primero deben saberse cuáles son las funciones básicas que desempeña dentro del proceso de moldeo por inyección. Éstas se pueden resumir en:

- Recibir el material fundido de la unidad de inyección.
- Proporcionar la forma final a la pieza con las tolerancias y acabados superficiales que se necesitan.

- Enfriar el material hasta que solidifique.
- Soportar todo el conjunto de presiones y fuerzas que intervienen.
- Enfriar la pieza hasta que se presente el mayor número de contracciones posibles.
- Expulsar la pieza de forma que no se dañe la apariencia o la forma de ésta.
- Garantizar la seguridad en las operaciones de montaje, desmontaje y mantenimiento.
- Intentar que el ciclo de inyección se produzca en el menor tiempo posible.

En el moldeo por inyección tradicional el material entra fundido en el molde separado en dos mitades por la línea de partición (a tener muy en cuenta), una parte fija y otra móvil, a una cierta presión siguiendo el ciclo de moldeo. Los moldes están refrigerados, normalmente con agua, para solidificar el material uniformemente y compensando las contracciones y extraer la pieza terminada una vez se abra el molde. En el caso estudiado en este proyecto el proceso es algo distinto. El material entra fundido a unas temperaturas muy superiores a las convencionales. El molde no está refrigerado, sino que se mantiene a temperaturas superiores a la temperatura ambiente pero inferiores a las de la entrada del material para conseguir las propiedades deseadas en la pieza final, por lo que se puede considerar que hay una refrigeración en el material. Se puede conseguir mediante resistencias, termopares o un circuito de aceite caliente. Esto se verá reflejado en la elección de los materiales para la construcción del molde, los tratamientos superficiales y en la máquina inyectora.

➤ **Determinar las líneas y superficies de partición.**

La línea de partición es aquella línea o plano que separa las mitades superior e inferior de los moldes. En general es deseable que la línea de partición quede a lo largo de un plano único y que no siga contornos complicados. Su situación es vital a la hora de diseñar un molde ya que influirá directamente en la facilidad de desmolde de la pieza y en la utilización de elementos extras para ello. La línea de partición se debe colocar en un lugar en el que los ángulos de salida de la pieza permitan su desmolde. [31]

Los ángulos de desmolde se dan para facilitar el desmolde de la pieza ya que tiene una profundidad significativa. La pieza al contraerse se queda aprisionada en las partes positivas del molde y si no existieran estos ángulos se requerirían fuerzas muy elevadas para abrir el molde y expulsar la pieza, cosa que podría provocar la rotura de ésta. [15]

Se han tenido en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Usar ángulos de salida tan grandes como sea posible, limitándose tan solo a la estética o funcionalidad de la pieza.
- No usar ángulos menores a medio grado.
- El usar mayores ángulos en las paredes internas que en las externas.
- Se deben de usar ángulos de salida aun en orificios, ranuras y costillas.

La línea de partición se ha situado tal y como se muestra en la siguiente figura:

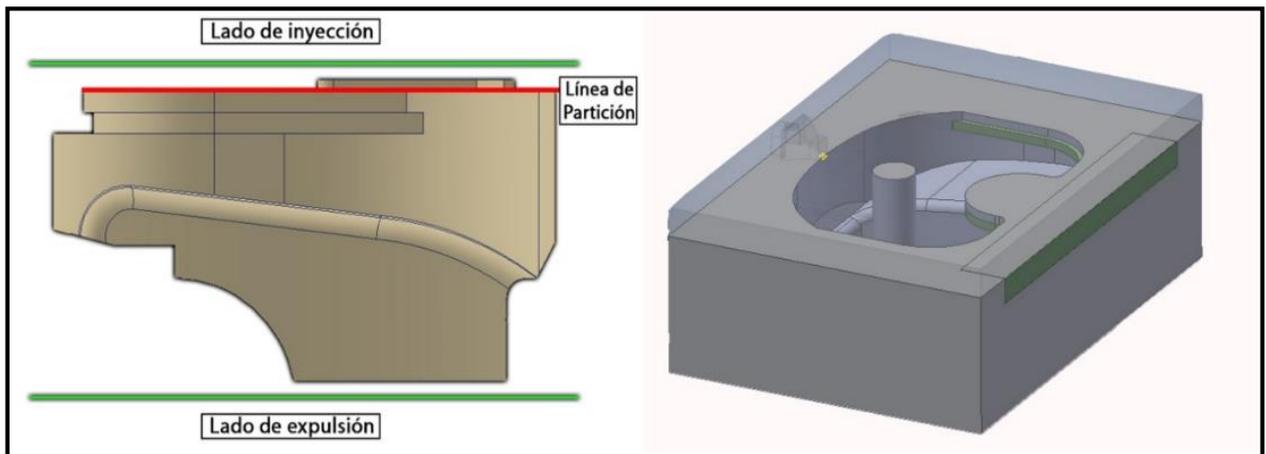


Figura 2.6: Superficies de partición.

➤ Tipo de canal.

El tipo de canal, o colada, puede ser frío o caliente. El canal es la zona situada entre el bebedero y la cavidad del molde. En un canal frío el material es inyectado a través del bebedero hasta la cavidad a través de un recorrido con una forma determinada, donde posteriormente quedará solidificado una parte del material inyectado reproduciendo su forma y unido a la pieza, cosa que hará que se tenga que separar ya sea automáticamente en el desmolde o posteriormente. Los sistemas de canal caliente se utilizan para la inyección sin colada de termoplásticos. El material entra y se mantiene en estado fundido a través de un bebedero caliente, pasa por unos canales de distribución calientes y es inyectado mediante una boquilla de inyección caliente. Tiene las ventajas de que no se desaprovecha el material de la colada y se reducen las pérdidas de presión y el tiempo de inyección. Cabe decir que es un proceso más complejo, que aumenta los costos del molde y los costos de mantenimiento.

Definitivamente se ha escogido un canal frío debido a la facilidad y al ahorro de costos de los canales calientes, ya que la mayoría de estos son importados por nuestro país. [15]

➤ **Área proyectada del molde.**

El área proyectada de un producto está directamente relacionada con la fuerza que se requiere para mantener el molde cerrado al tiempo de inyectar el material plástico al molde.

Es la suma de las superficies de los artículos a moldear y los canales de llenado la cual debe ser un 20% menor que el área proyectada de la máquina inyectora para evitar grandes volúmenes de desechos.

El primer criterio para determinar el área proyectada se basa en la presión de inyección recomendable para el material (figura 2.7), que nunca debe sobrepasar a la presión de inyección de la máquina, como se ve en la figura 2.8, donde se puede observar que la fuerza de cierre se opone a la presión de inyección y evita que se abra el molde, esta fuerza no deber ser sobrepasada, en el cálculo del área proyectada. [16]

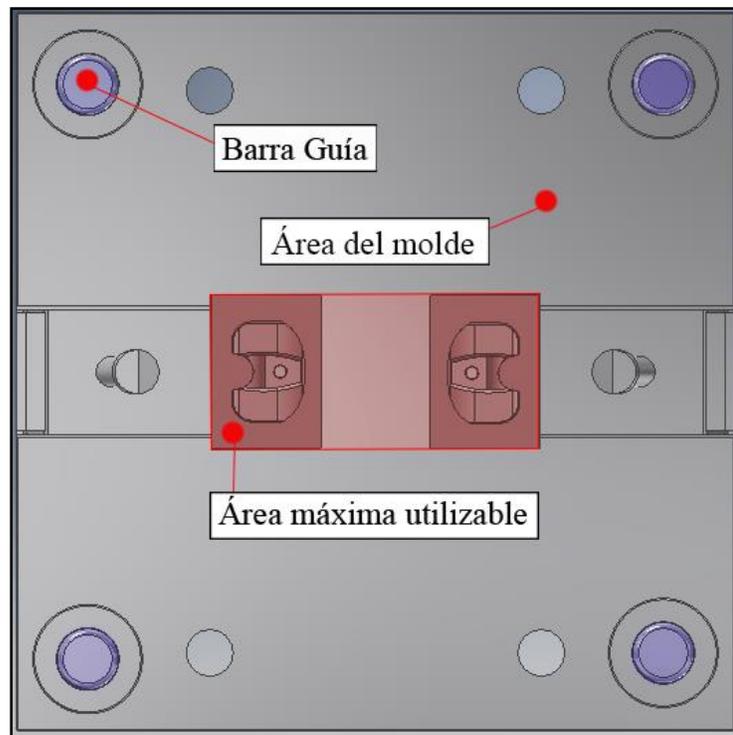


Figura 2.7: Distribución de áreas para el diseño de cavidades. (Elaboración propia)

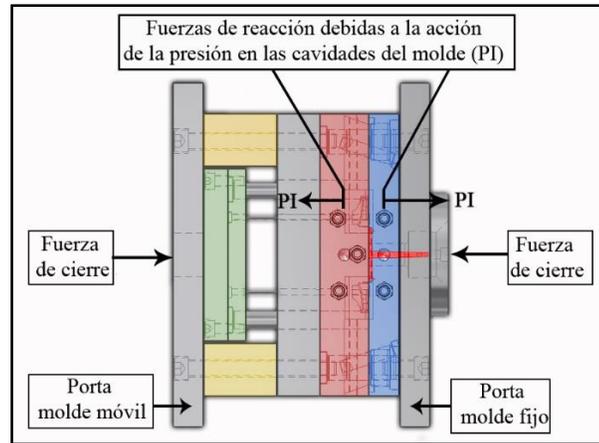


Figura 2.8: Fuerzas que actúan en el proceso de inyección a presión. (Elaboración propia)

El área máxima utilizable (área proyectada), es el área de la cual se dispone para alojar las cavidades y el sistema de alimentación, es una manera de estimar físicamente cuantas cavidades caben en el molde y está establecida por: [32]

$$\text{Área máxima utilizable} = \frac{\text{Fuerza de cierre}}{\text{Presión máxima de inyección}} \quad (2.1)$$

➤ **Determinación de la fuerza de cierre.**

La fuerza de cierre es aquella que mantiene unidas las dos mitades del molde mientras en la cavidad de moldeo se desarrolla la máxima presión como consecuencia de su llenado. Es un parámetro de definición de la máquina inyectora, y corresponde a la fuerza que debe ejercer para mantener el molde cerrado durante la inyección. Esta magnitud se expresa en toneladas [T]. Cuanto mayor es la fuerza disponible para mantener cerrado el molde, mayor es el área transversal de la pieza que puede moldearse, a igualdad de las demás condiciones. Las máquinas de inyección convencionales empleadas hoy en día son capaces de desarrollar fuerzas de cierre de más de 1000 toneladas. [16] En este caso se elige una maquina inyectora *Sandreto* de 85 T.

➤ **Máquinas inyectoras. Características.**

El conocimiento profundo de las características técnicas de las máquinas influye directamente en la forma y dimensiones del molde a diseñar. Dentro de los parámetros técnicos necesarios para el cálculo de un molde se pueden mencionar:

- Fuerza de cierre (Fc).

- Presión de inyección (P_i).
- Volumen de inyección máximo en una inyección (V_i).
- Capacidad de plastificación (C_p).
- Dimensiones de los platos portamoldes.
- Carrera de apertura y cierre de los platos. etc.

También se deben tener en cuenta las posibilidades de extracción que brinda la máquina inyectora. Esto permite optimizar el tipo de expulsión que se utilizará en el molde y repercute directamente en los costos de diseño y fabricación del tipo de molde que es necesario utilizar. En el Anexo 1 aparecen las principales características técnicas de algunos tipos de máquinas inyectoras existentes en el país. [16] [32]

➤ **Ubicación de la pieza y número de cavidades.**

La ubicación de la pieza y el número de cavidades que debe tener el molde, viene determinada por un seguido de condiciones técnicas y económicas que impone el cliente. Por un lado, tenemos la geometría de la pieza y el volumen de piezas a producir al año y por el otro la disponibilidad económica del cliente. La forma y las dimensiones de la pieza serán el factor clave a la hora de posicionar la pieza en el molde. Se suele pensar que una pieza grande ocupara mucho espacio y que su molde será muy grande y que al contrario una pieza pequeña ocupara poco espacio en el molde y podrá ser más pequeño. Esto sería cierto si la pieza fuera simple y sencilla geométricamente, pero normalmente no es así y una pieza pequeña puede tener muchos negativos que solo se pueden solventar utilizando varias correderas, con lo cual el volumen del molde final es mucho más grande de lo que la pieza es en realidad. Este hecho es uno de los factores que determina el número de cavidades de un molde ya que, si es muy complicado, es posible que solo pueda hacerse de una cavidad o bien porque no es viable hacer otra o bien porque sale muy caro y no sale a cuenta por la demanda que tendrá la pieza. Otro de los factores importantes, es el volumen del pedido, es decir, la cantidad de piezas que el cliente pretende obtener del futuro molde y el plazo de tiempo que espera fabricarlas. Por último, el factor más importante es el económico. Un claro ejemplo es el hecho que el cliente pida presupuesto a diferentes empresas, por esta razón cuando se hace el presupuesto se intenta hacerlo lo más ajustado posible y atractivo económicamente para el cliente. En conclusión, para este molde la solución más adecuada es una única unidad centrada en el

molde, en parte debido a que por la complejidad de la pieza no es factible colocar una segunda unidad. [17]

➤ **Contracción.**

Un aspecto de gran interés para el fabricante de moldes es el de la contracción. Esta es la diferencia de tamaño entre el molde y la pieza moldeada fría. La causa principal es el cambio en la densidad que se produce cuando solidifica el polímero, donde la misma no suele ser uniforme. Los polímeros cristalinos, por ejemplo, el acetal, el nylon, el polietileno de alta densidad, el polietilentereftalato y el polipropileno causan los problemas más serios con contracciones desde el 1 hasta el 4%. Los polímeros amorfos, por ejemplo, el poliestireno, el acrílico y el policarbonato son más tratables, con contracciones de sólo 0,3 al 0,7% como se muestra en la tabla 2.1[32]

Tabla 2.1: Valores aproximados de contracción.

Polímero	Porcentaje de contracción
Acrilonitrilo butadieno estireno	0.3-0.8
Acrílico	0.2-0.8
Acetato de celulosa	0.5
Nylon 6,6	1.5
Policarbonato	0.6
Noryl	0.7
Polietileno de baja densidad	2
Polietileno de alta densidad	4
Polipropileno	1.5
Poliestireno	0.5
Cloruro de polivinilo no plastificado	0.3
Cloruro de polivinilo	1.0-5.0

➤ **Cálculo teórico del número de cavidades.**

Para determinar el número de cavidades se deben tener en cuenta diversos factores que intervienen, como las dimensiones de la máquina inyectora, la calidad requerida, la forma de la pieza, el tiempo requerido para la producción y, sobre todo, los costos.

El tamaño del molde viene determinado por el tamaño de la máquina donde será montado y por la demanda de producción. Las variables son:

- Capacidad de inyección (cm³).

- Capacidad de plastificación (cm³/min).
- Fuerza de cierre (kN).
- Distancia entre barras (cm).
- Requerimiento de producción (piezas/min).
- Tiempo de ciclo estimado (s).

Se dispone de una máquina de inyección de la marca *Sandreto*. (Anexo 1).

Existen varias formas de calcular y obtener el número de cavidades que se utilizará en un molde por inyección como las que utilizan a continuación: [20]

- Número de cavidades según volumen de plastificación de la máquina.
- Número de cavidades según la capacidad de plastificación de la máquina.
- Número de cavidades según el tiempo de ciclo estimado.

➤ **Número de cavidades según volumen de plastificación de la máquina**

El volumen máximo de plastificación de la máquina es la cantidad de plástico fundido que puede ser aportado para una inyección. [20]

$$N_{cl} = V_m/V_p \quad (2.2)$$

Donde:

- N_{cl} = Número de cavidades según el volumen de plastificación.
- V_m = Volumen máximo de plastificación de la máquina (25g/s).
- V_p = Volumen de la pieza + Volumen de colada.

$$\text{Volumen de colada} = \text{Cono del bebedero} + \text{Canales de distribución} = 1031,45\text{mm}^3 + 508,9\text{mm}^3 = 3307,5 \text{ mm}^3$$

$$V_p = \text{Volumen de la pieza} + \text{Volumen de colada} = 4854,14\text{mm}^3 + 3307,5 \text{ mm}^3 = 8161,64\text{mm}^3$$

$$N_{cl} = 25\text{g}/8161,64\text{mm}^3 = 3,086 \text{ Cavidades}$$

➤ **Número de cavidades según la fuerza de cierre de la máquina.**

$$N = \frac{F_c}{1,25 * P_{im} * K_1 * AP} \quad (2.3)$$

Donde:

- N_2 = Número de cavidades según la presión de inyección.
- F_c = Fuerza de cierre de la máquina (850000KN). Anexo 1
- V_p = Volumen de la pieza + Volumen de colada.
- K_1 = Coeficiente que tiene en cuenta el área proyectada de los canales de alimentación (se recomienda $K_1 = 1,1$ para moldes con alimentación directa lateral y $K_1 = 1$ para moldes con alimentación directa central)
- AP = Área proyectada= Área total de las piezas + Área de los canales de alimentación
- P_{im} = Presión de inyección media

$$AP = 2712,30mm^2 + 456mm^2 \quad (2.4)$$

$$AP = 3168,3mm^2$$

$$N_2 = \frac{F_c}{1,25 * P_{im} * K_1 * AP} \quad (2.5)$$

$$N_2 = \frac{850000N}{1,25 * 25N * 1,1 * 3168,3mm^2}$$

$$N_2 = 7,8 \text{ cavidades}$$

➤ **Número de cavidades según el tiempo de ciclo estimado**

$$N_3 = R_m * t \quad (2.6)$$

Donde:

- N_{c3} = Máximo número de cavidades según el tiempo de ciclo.
- R_m = Requerimiento de piezas por minuto (0,2 p/min).
- t = tiempo de ciclo esperado (min).

$$N_3 = 0.2 * 24s = 4,8 \text{ Cavidades}$$

Por tanto, luego de calcular mediante estas tres vías de obtener el número de cavidades en el molde, se selecciona 2 cavidades pues la máquina permite el llenado de las mismas sin

problemas y un número mayor de estas no sería económicamente factible, además las características y geometría de la pieza al utilizar la extracción por correderas, el molde no permitiría utilizar más cavidades. [20]

➤ **Distribución de cavidades para el molde de la pieza.**

En la figura 2.9 se muestra la distribución de cavidades que se utiliza en el diseño del molde.

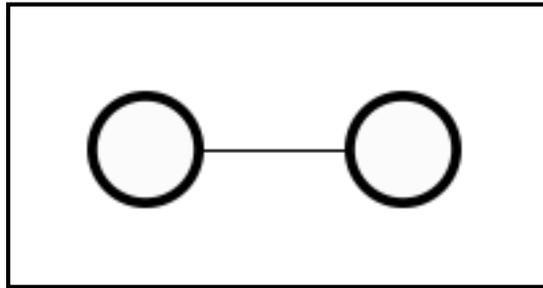


Figura 2.9: Distribución de cavidades utilizando el software Autodesk Inventor. (Elaboración propia)

➤ **Diseño y selección del molde.**

El objetivo para este punto del proyecto, es diseñar y seleccionar materiales existentes en el mercado, todos ellos normalizados. Trataremos de realizar una selección sencilla, tratando de seleccionar piezas normalizadas y ya estandarizadas por nuestros proveedores. Para ello contamos con el apoyo del proveedor de normalizados de Autodesk Inventor.

En este caso, es necesario seleccionar un molde con dimensiones iguales en anchura y altura, pero también asegurando suficiente espacio para poder colocar todos los elementos que son necesarios para las diferentes partes de la pieza. Como ya se ha comentado, se van a diseñar cuatro correderas (para los dos tubos y los dos pivotes) y se utilizará también un cilindro hidráulico para uno de los agujeros pasantes. Las dimensiones del molde elegido serán de 230 x 230 mm (ancho por alto) (dimensiones del molde prefabricado del catálogo de Autodesk Inventor). A continuación, se muestra la figura del molde prefabricado con las diferentes placas que lo componen.

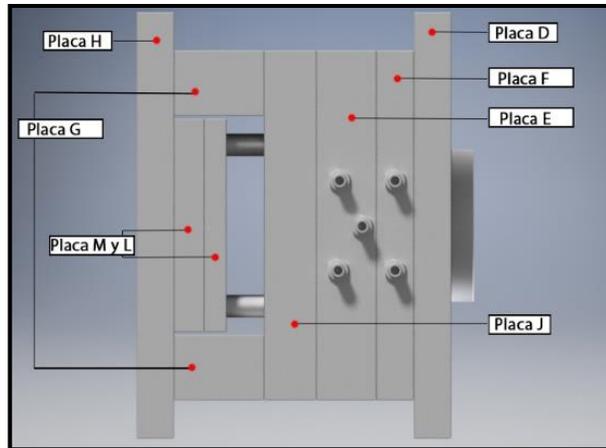


Figura 2.10: Molde prefabricado. (Elaboración propia)

Partiendo de este molde prefabricado se irán haciendo las modificaciones y ajustes necesarios en cada una de las placas y al final se obtendrá el molde definitivo. Cada una de las placas ha sido numerada con el objetivo de hacer más sencillo el desglose del molde y cada una de las modificaciones que se explican en los siguientes apartados.

➤ **Diseño de placa H (Placa de sujeción móvil).**

En esta placa se sitúan las cuatro guías donde se apoyan las placas M y L (placas de la extracción). Esta placa prefabricada de un acero AISI 1045 se le realizó un orificio pasante en el centro para la colocación del muelle de la extracción. La placa viene ya rectificada y taladrada, aunque deberá de ser mecanizada, según las indicaciones efectuadas en los planos. El resultado es el siguiente:

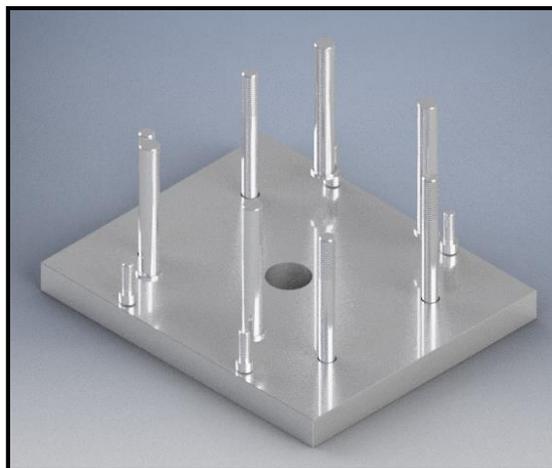


Figura 2.11: Molde prefabricado. Placa H.

➤ **Diseño de placas M y L (Placa porta extractores).**

Estas serán las placas de la extracción, donde se colocarán los extractores tanto de la pieza como de la colada. Las dos placas vienen unidas por 4 tornillos Allen, ambas fabricadas de acero AISI 1045. Será en la placa L donde se sitúen los extractores, en total 2 extractores. Además, se le realizarán cuatros orificios por donde irán las cuatro guías donde se apoyan. El resultado es el que se muestra en la siguiente imagen:

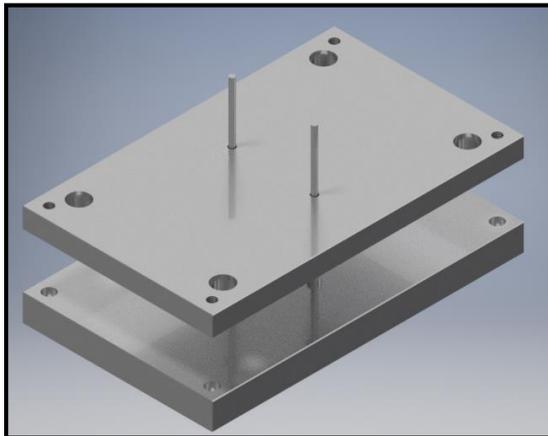


Figura 2.12: Molde prefabricado. Placa M y L.

➤ **Diseño de placas G (Regles).**

Su función es crear un puente de expulsión, viene ya rectificada y taladrada, aunque deberá de ser mecanizada, según las indicaciones efectuadas en los planos. A estas placas no se le realizará ninguna modificación. Los agujeros que tiene son los que vienen de fábrica, por donde se aprieta todo el conjunto. Es fabricada de acero AISI 1045 aunque permite utilizar un acero 40 o 35.

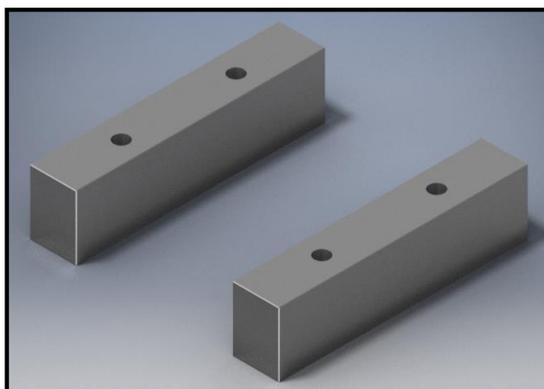


Figura 2.13: Molde prefabricado. Placas G.

➤ **Diseño de Placa J.**

A esta placa se le realizaran varios orificios ubicados simétricamente, tanto para las guías de la extracción del molde, como para los extractores de la cavidad.

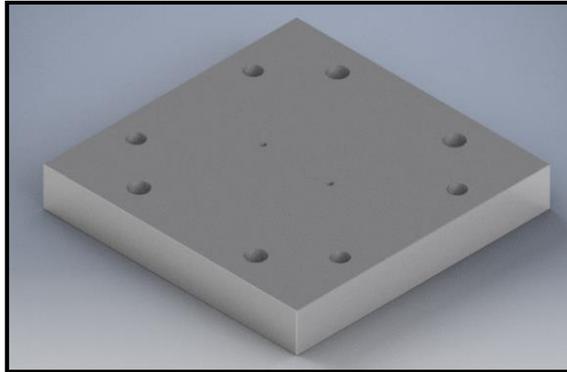


Figura 2.14: Molde prefabricado. Placa J.

➤ **Diseño Placa E (Placa porta cavidad).**

Esta es la placa que más modificaciones tiene y la más difícil de hacer de todo el molde. Es la que hará la parte inferior de la pieza, los tubos, los pivotes y las conexiones. En esta placa es donde se han colocado las dos correderas. Todo ello se ha tenido que diseñar adaptándolo al poco espacio, tal como se puede ver en la figura 2.12. También se ha tenido que diseñar el camino por donde entrara el material, que será de una forma lineal por dos puntos para garantizar que la pieza salga completa (detalle de la figura 2.17).

El diseño de las correderas consiste en varias piezas pequeñas que forman un mecanismo complejo. Cada una de ellas, tiene un muelle en la parte trasera que cuando el molde cierra es comprimido para cerrar la corredera y cuando el molde abre, la presión del muelle abre la corredera.

También se ha diseñado un circuito de refrigeración para que la pieza se enfríe rápidamente y cuando salga del molde no se deforme. Otro de los trabajos realizados han sido los orificios de la extracción tanto de la colada como de la pieza. Esta placa es fabricada de acero AISI 1045.

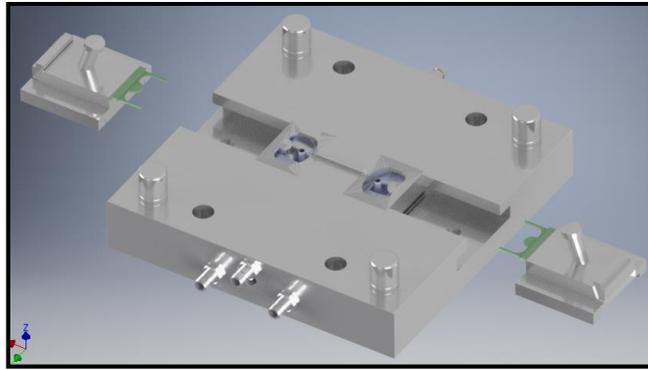


Figura 2.15: Molde prefabricado. Placa E.

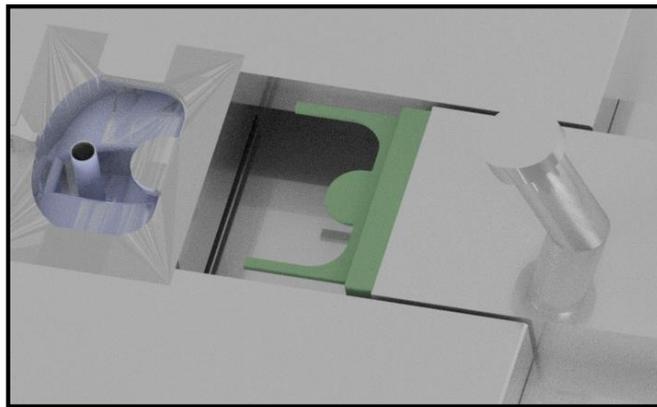


Figura 2.16: Detalle de la Cavity. Placa E.

➤ **Diseño Placa F (Placa Cavity Lado inyección).**

Esta placa es la encargada de realizar la parte superior de la pieza. Justo en el centro está situada la entrada del material. En la misma es donde van alojados los postizos del lado de inyección. Por su interior circulará un circuito de refrigeración para conseguir controlar la temperatura ideal para la inyección de la pieza plástica. La placa viene ya rectificada y taladrada, aunque deberá de ser mecanizada., según las indicaciones efectuadas en los planos. También es donde se han situado las varillas en cierto ángulo de inclinación que son las encargadas de abrir y cerrar las correderas.

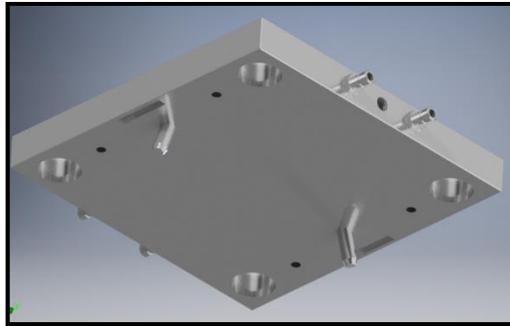


Figura 2.17: Molde prefabricado. Placa F.

➤ **Diseño Placa D (Placa base Lado inyección).**

La principal función de la placa base de inyección, es la de ser la placa que sirve de unión, entre el molde y la máquina de inyección, a su vez centra el molde en la máquina de inyección. La placa viene ya rectificada y taladrada, aunque deberá de ser mecanizada., según las indicaciones efectuadas en los planos.

Esta es la última placa del molde que también es fabricada generalmente de acero AISI 1045. Está situada en la parte fija del molde y es por donde entra el material. La entrada la tiene justo en el centro de la placa. Para garantizar que no se mueva una vez fijada a la máquina, se le ha colocado un disco centrador.

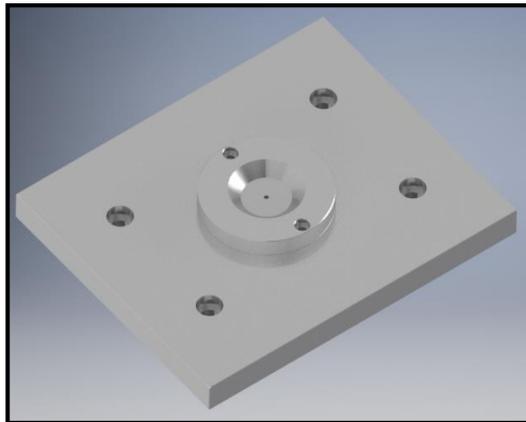


Figura 2.18: Molde prefabricado. Placa F.

➤ **Molde Completo.**

Una vez que tenemos todos los diseños de todas las placas acabadas se tiene que verificar que todo coincide y que no hay partes incoherentes, es decir, que todo se puede hacer y se puede colocar en su lugar. El resultado final se muestra a continuación:

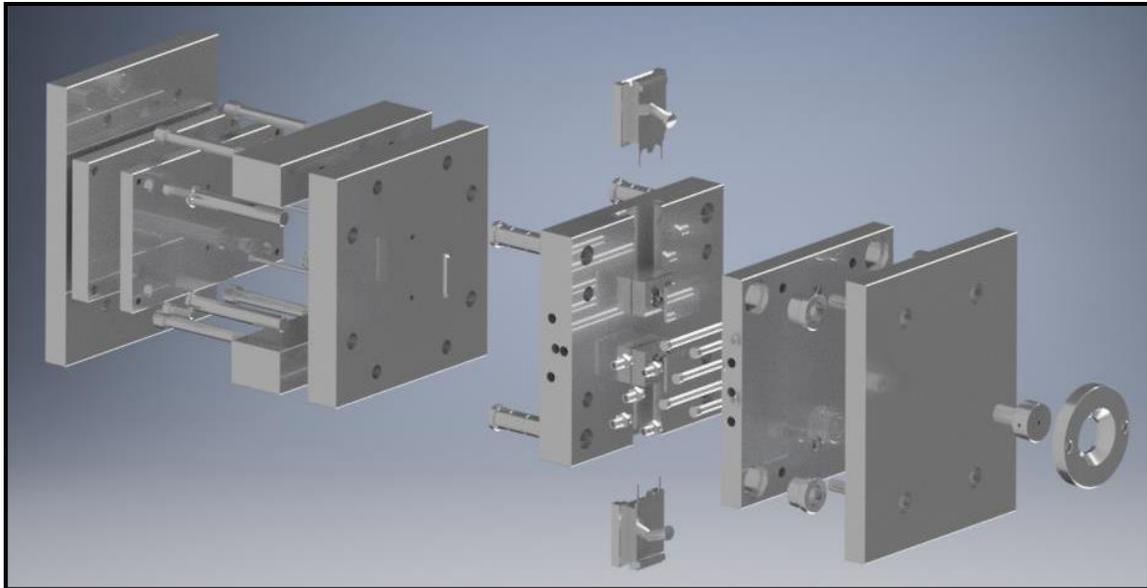


Figura 2.19: Molde prefabricado. Vista Explosionada.

➤ **Tratamientos superficiales.**

Debido a la facilidad que tiene el acero para oxidarse cuando entra en contacto con la atmósfera o con el agua, es necesario y conveniente proteger la superficie de los componentes de acero para protegerles de la oxidación y corrosión. Los tratamientos superficiales más usados son los siguientes:

- Cincado: Tratamiento superficial antioxidante por proceso electrolítico o mecánico al que se somete a diferentes componentes metálicos.
- Cromado: Recubrimiento superficial para proteger de la oxidación y embellecer.
- Galvanizado: Tratamiento superficial que se da a la chapa de acero.
- Niquelado: Baño de níquel con el que se protege un metal de la oxidación.
- Pavonado: Tratamiento superficial que se da a piezas pequeñas de acero, como la tornillería.
- Pintura: Usado especialmente en estructuras, automóviles, barcos, etc. aunque también es verdad que a algunos moldes se les pinta la superficie exterior para protegerlos de la oxidación.

➤ **Tratamientos térmicos.**

El objetivo de los tratamientos térmicos es mejorar o modificar las propiedades del metal y aleaciones mediante alteraciones en su estructura, con el fin de que gracias a las nuevas

propiedades se pueda realizar con garantías los trabajos para los que han sido destinados. A pesar de que la mayor cantidad de metales admiten tratamientos térmicos, las aleaciones de tipo férrico son las mejores para aplicar los tratamientos.

Los tratamientos térmicos consisten en calentar el acero a una temperatura determinada, mantenerlo a esa temperatura durante un cierto tiempo hasta que se forma la estructura deseada y entonces se enfría a la velocidad conveniente. Los factores temperatura-tiempo dependen del material, tamaño y forma de la pieza. De esta manera se conseguirá una modificación microscópica, transformaciones de tipo físico, cambios de composición o una determina estructura interna las propiedades de la cual permitirán alguno de los objetivos buscados, como aumentar la dureza, mejor mecanizado, eliminar tensiones internas, evitar deformaciones.

Los tratamientos térmicos que pueden aplicarse al acero sin cambiar su composición química son:

- Temple: Su finalidad es aumentar la dureza y la resistencia del acero. Para ello, se calienta el acero a una temperatura entre 900-950°C y se enfría luego más o menos rápidamente en un medio como agua, aceite.
- Revenido: Sólo se aplica a aceros previamente templados, para disminuir ligeramente los efectos del temple, conservando parte de la dureza y aumentar la tenacidad. El revenido consigue disminuir la dureza y resistencia de los aceros templados, se eliminan las tensiones creadas en el temple y se mejora la tenacidad, dejando al acero con la dureza o resistencia deseada. Se distingue básicamente del temple en cuanto a temperatura máxima y velocidad de enfriamiento.
- Recocido: Consiste básicamente en un calentamiento a una temperatura de 800-925°C seguido de un enfriamiento lento. Con este tratamiento se logra aumentar la elasticidad, mientras que disminuye la dureza. También facilita el maquinado de las piezas al homogeneizar la estructura, afinar el grano y ablandar el material, eliminando la acritud que produce el trabajo en frío y las tensiones internas.
- Normalizado: Tiene por objeto dejar un material en estado normal, es decir, ausencia de tensiones internas y con una distribución uniforme del carbono. Se suele emplear como tratamiento previo al temple y al revenido.

➤ **Sistema de alimentación.**

El sistema de alimentación está integrado por: bebedero, canales de alimentación y canales de entrada. Estos últimos ya fueron analizados anteriormente.

El bebedero es la parte del molde que se pone en contacto con la boquilla de la máquina y que conduce la masa plástica fundida hasta los canales de alimentación. Anexo 6 y 7

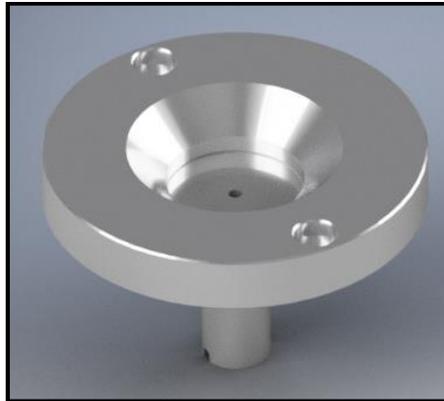


Figura 2.20: Bebedero acoplada a la anilla de sujeción.

Características principales de los sistemas de alimentación:

- El radio esférico R_2 debe ser mayor (5-10mm) que el de la punta de la boquilla para que el contacto de las dos superficies sea efectivo.
- El diámetro (d) del orificio de entrada del bebedero debe ser mayor que el de la boquilla para facilitar el desprendimiento de la mazarota.
- La conicidad del conducto del bebedero debe ser de 2 a 5 grados entre generatrices y se debe pulir con brillo de espejo en sentido del desmoldeo.
- La dimensión del diámetro (d) depende del volumen o peso de los artículos, espesor de pared, velocidad de inyección y de la duración del ciclo.
- La altura del bebedero debe ser lo más corta posible para evitar desperdicio de material y para que su solidificación sea lo más rápida posible después de realizada la inyección.
- En las esquinas del bebedero se deben evitar aristas vivas para eliminar la concentración de tensiones.

Los canales de distribución primarios y secundarios, constituyen la parte del sistema que une al bebedero con las cavidades del molde. Por esta razón, la correcta elección y disposición es de suma importancia para el diseño de un molde, ya que influye directamente en la calidad del artículo deseado. En el momento de la inyección el material plástico una vez fundido penetra a alta velocidad en el bebedero procedente del husillo recorriendo los canales de alimentación, las entradas y por último llega a la cavidad. El molde se encuentra a una temperatura inferior con respecto a la del material plástico, lo que producirá una disipación muy rápida del calor al transitar por la superficie de este. Por tanto, para el diseño de los canales deben tenerse en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Que el flujo de material llegue a las cavidades simultáneamente a igual presión, velocidad y con una diferencia de temperatura que no afecte el llenado de las cavidades.
- Las dimensiones y formas del canal dependen principalmente del tipo de material plástico empleado, del tamaño y del peso del artículo a moldear.
- La superficie del canal debe estar bien pulida para garantizar su expulsión.
- El área del bebedero debe ser aproximadamente igual al área del canal primario para equilibrar el flujo dentro del molde.
- No deben existir cambios de secciones pronunciadas durante el recorrido del flujo.

Las entradas a la cavidad del molde se dividen en dos grupos:

1. Una cavidad: Son directas y se emplean tanto para bebedero caliente o frío.
2. Más de una cavidad: Las entradas para más de una cavidad se dividen en:
 - a. Puntiforme: Las que están situadas en el centro de la superficie superior de la pieza. Este sistema tiene la ventaja de disminuir considerablemente las tensiones internas junto a la entrada, evitando defectos superficiales alrededor del punto de inyección.

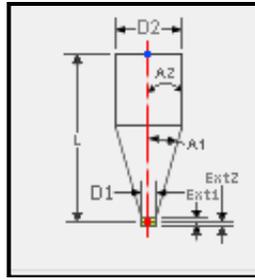


Figura 2.21: Compuerta de alimentación puntiforme (Pin Point).

b. Laterales: Son aquellas que la huella está en la línea de partición. Este tipo de entrada se utiliza generalmente en moldes que poseen un gran número de cavidades y de pequeñas magnitudes. Pueden construirse con sección transversal rectangular.

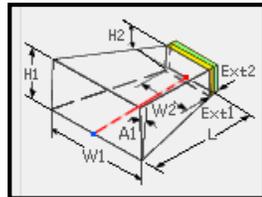


Figura 2.22: Compuerta de alimentación lateral (Edge).

c. Abanico o laminares: Dejan una huella rectangular más larga que ancha. La colocación de este tipo de entrada debe ser en el espesor más grueso. Además, se debe evitar la unión del material en los espesores delgados. La entrada de abanico permite que el material fluya a la cavidad a través de un área suficientemente grande para llenar la cavidad con rapidez. Se recomienda para piezas relativamente grandes y de poco espesor.

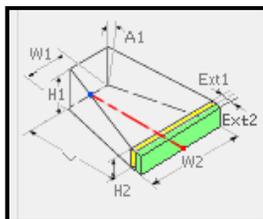


Figura 2.23: Compuerta de alimentación de abanico (Fan).

d. Submarinas: Dejan una huella discreta y ovalada entre 6 y 10 mm por encima de la línea de partición (Anexo 6). Este tipo de entrada facilita la automatización del desmolde, así como un adecuado desprendimiento de las entradas y canales de la pieza.

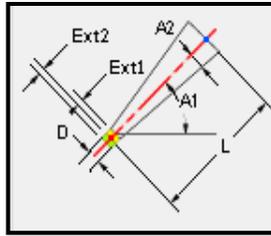


Figura 2.24: Compuerta de alimentación submarina (Submarine).

➤ **Cálculo de los canales de alimentación.**

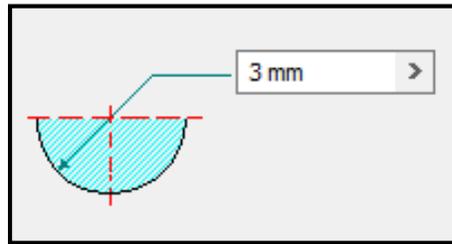


Figura 2.25: Radio de los canales de alimentación.

Donde:

r =Radio de los canales de alimentaci3n

l =Longitud de los canales de alimentaci3n

$$A_c = \frac{4 \cdot D \cdot l}{2} \tag{2.7}$$

$$A_c = \frac{4 \cdot 6\text{mm} \cdot 38\text{mm}}{2}$$

$$A_c = 456\text{mm}^2$$

➤ **Sistema de refrigeraci3n.**

El objetivo de la refrigeraci3n del molde es conseguir una temperatura adecuada para el moldeo. La eficiencia del sistema de refrigeraci3n depender3 de la cantidad de calor s3 que pueda disipar del pl3stico en el menor tiempo.

Una temperatura alta en el molde produce menor contracci3n, pocas tensiones, buena fluidez del material y superficies brillantes, en cambio, un largo periodo de enfriamiento por lo tanto menor rentabilidad del molde.

Una temperatura baja en el molde produce menores tiempos de enfriamiento, pero piezas con menor calidad, por lo que es importantísimo encontrar un equilibrio de temperaturas adecuadas. Uno de los objetivos de la refrigeración es reducir el tiempo de enfriamiento conservando la calidad de la pieza.

El enfriamiento debe ser uniforme, se mejora la calidad superficial de la pieza disminuyendo las tensiones residuales que puedan crearse.

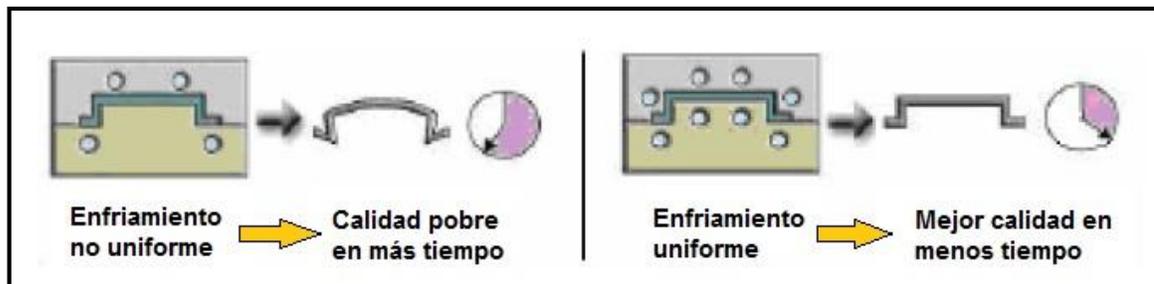


Figura 2.26: Enfriamiento uniforme.

Puntos a seguir para diseñar el sistema de refrigeración:

- El incremento entre la temperatura de entrada y salida del refrigerante del molde deba oscilar entre 2 y 5°C, en función del tipo de molde debe recomendará un sistema u otro. En el caso de los circuitos en paralelo, el caudal de cada circuito debe estar equilibrado.

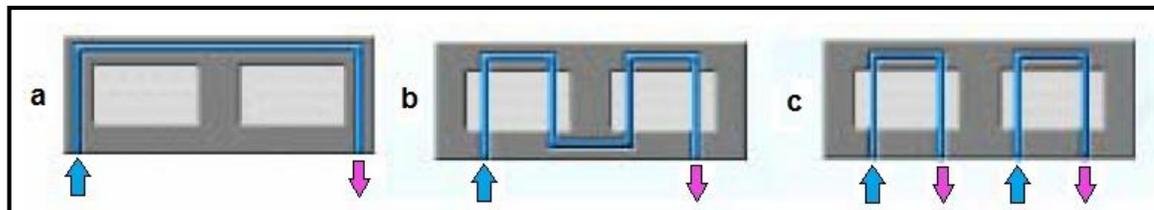


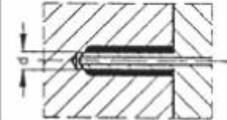
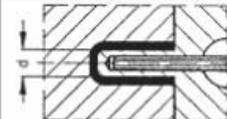
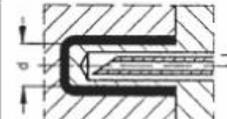
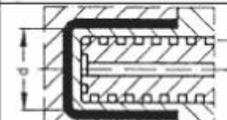
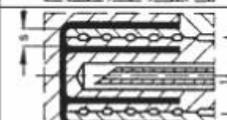
Figura 2.27: Tipos de circuitos de refrigeración.

- La diferencia de temperatura entre cavidad y punzón no debe exceder de 20°C, de este modo la velocidad de enfriamiento es la misma y así evitar posibles deformaciones.
- Para un enfriamiento uniforme el número de canales y posicionamiento debe avalar una suficiente y correcta superficie de intercambio.
- El dimensionado será en función del tamaño y/o espesores de la pieza.

- Se deberá tener en cuenta la presión que requiere el circuito, así como el diámetro de los canales. Un punto a tener presente es que una elevada pérdida de carga en el circuito, precisa de un mayor consumo.
- El flujo será turbulento y contra mayor sea el número de Reynolds, mayor coeficiente de transmisión térmica tendrá el refrigerante. A mayor intercambio térmico, menor área de intercambio.

Los circuitos de refrigeración más comúnmente usados son:

Tabla 2.2: Tipos de refrigeración.

Diámetro punzón d (mm)	Descripción	Diseño
≥ 3	Disipación del calor con aire en molde abierto	
≥ 5	Utilización de insertos de cobre para conducir el calor hasta el refrigerante	
≥ 8	Fuente (pozo con tubo interior)	
≥ 40	Canal de refrigeración helicoidal	
$\leq \geq 4$	Fuente interior y canal helicoidal exterior (doble hélice)	

➤ **Posicionamiento del circuito de refrigeración.**

El posicionamiento de los canales del circuito de refrigeración es muy importante, para que el enfriamiento de la pieza sea uniforme, la distancia entre centros de canales de refrigeración (B) y la distancia del centro del canal a la pared de la cavidad (C) han de ser pequeñas. En caso de que el diseño sólo permita distancias B elevadas, conviene incrementar la distancia C.

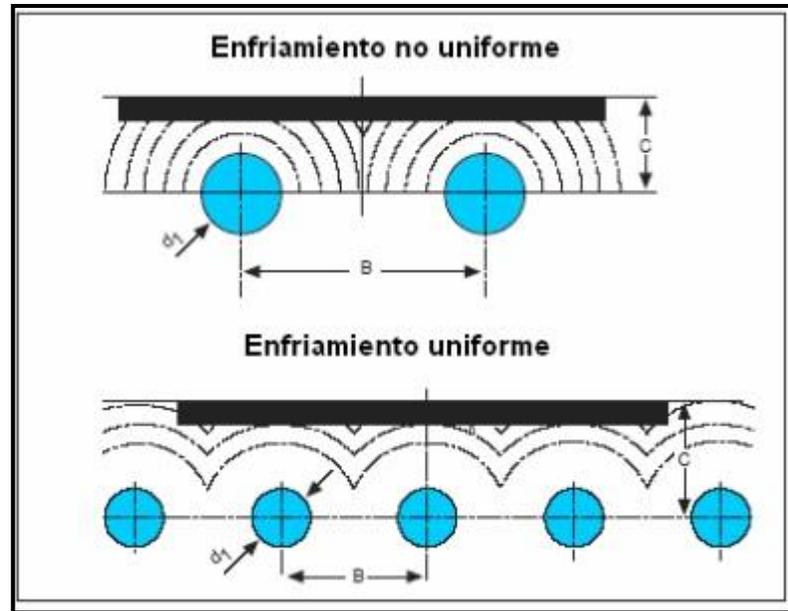


Figura 2.28: Posicionamiento de los canales de refrigeración.

Debido a la resistencia del material, se debe considerar que existen límites en la posición de los canales, ya que debe soportar los grandes esfuerzos a los que está sometido por el proceso de inyección. El tiempo de enfriamiento de la pieza ocupa normalmente el 50 – 85% del tiempo total, y se puede deducir de la siguiente expresión:

$$t_{EXP} = \frac{-e_{max}^2}{2*\pi*\alpha_n} \ln \left[\frac{\pi*T_{exp}-T_{mold}}{4(T_{mat}-T_{mold})} \right] \quad (2.8)$$

Donde:

- e_{max} = espesor máximo de la pieza (0.08cm) Tabla 2.2
- α_n = difusividad térmica del material ($2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / \text{°C}$)
- T_{exp} = temperatura de extracción de la pieza (220 °C)
- T_{mold} = temperatura del molde (190 °C)
- T_{mat} = temperatura del material fundido (350 °C)

Tabla 2.3: Espesores de pared recomendados para materiales termoplásticos.

Material Termoplástico	Espesor Mínimo (mm)	Espesor Máximo (mm)
Acetal	0.381	3.175
ABS	0.762	3.175
Acrílico	0.635	6.350
MeCelulosa	6.350	4.749
FEP fluoroplástico	0.254	12.700
Ionomero	0.635	19.050
Nylon	0.381	3.175
Policarbonato	1.016	9.525
Polietileno (L.D)	0.508	6.350
Polietileno (H.D)	0.889	6.350
Etileno Vinil Acetato	0.508	3.175
Polipropileno	0.635	7.620
Polisulfurona	1.016	9.525
Polipropileno Modificado	0.762	9.525
Poliestireno	0.762	6.350
SAN	0.762	6.350
PVC rígido	1.016	9.525
Poliuretano	0.635	38.100

$$\alpha_n = \lambda_m / (\rho_n * c_p) \quad (2.9)$$

Donde:

- λ_m = Conductividad térmica (0,0045 J/s cm °C) Tabla 2.2
- ρ_n = Densidad del material (0,94 g/cm³) Tabla 2.3
- c_p = Calor específico (1,9 J/g °C) Tabla 2.2

Tabla 2.4: Propiedades Térmicas del PEAD.

PROPIEDADES TÉRMICAS	
Calor específico (J/g °C)	1,9
Coefficiente de expansión (x 10 ⁶ K ⁻¹)	100-200
Conductividad térmica a 23 °C (J/s cm °C)	0,0045-0,0052
Temperatura máxima de utilización (°C)	55-120
Temperatura de reblandecimiento (°C)	140
Temperatura de cristalización (°C)	130-135

Tabla 2.5: Propiedades Físicas del PEAD.

PROPIEDADES FÍSICAS	
Absorción de agua en 24h (%)	< 0,01
Densidad (g/cm ³)	0,94-0,97
Índice refractivo	1,54
Resistencia a la radiación	Aceptable
Resistencia al ultra-violeta	Mala
Coefficiente de expansión lineal (K ⁻¹)	2 x 10 ⁻⁴
Grado de cristalinidad (%)	60-80

$$\alpha_n = 0,0045 / (0,94 * 1,9) = 2.5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2 / ^\circ\text{C}$$

$$t_{EXP} = \frac{-e_{max}^2}{2 * \pi * \alpha_n} \ln \left[\frac{\pi * T_{exp} - T_{mold}}{4(T_{mat} - T_{mold})} \right]$$

$$t_{EXP} = \frac{-0.64}{2 * \pi * 2.5 \times 10^{-3}} \ln \left[\frac{\pi * 220 - 190}{4(350 - 190)} \right]$$

$$t_{EXP} = -40.74 * -0.24$$

$$t_{EXP} = 9,77s$$

➤ **Sistema de expulsión.**

Una vez inyectada y enfriada la pieza, es preciso expulsarla del molde. Tras la apertura del molde, las piezas quedan adheridas a las cavidades y es por esto por lo que se precisa un sistema de expulsión, para efectuar el desmoldeo de las piezas. Generalmente los expulsores se montan en la parte móvil del molde porque el diseño de las máquinas inyectoras hace que por un lado vaya la parte de inyección del molde y por otra la de expulsión. La carrera de los expulsores debe ser suficiente como para permitir la retirada de la pieza moldeada de las partes fijas del molde. Los expulsores no solo sirven para efectuar el desmoldeo de las piezas, sino también para evacuar los gases de la cavidad.

Los expulsores deben actuar:

- Cerca de puntos que opongan mayor resistencia a la extracción.
- En zonas muy rígidas de la pieza para así evitar deformaciones.
- En zonas donde no importe el acabado superficial o pueda disimularse la marca de los expulsores.

Cualidades de un sistema de expulsión:

- No debe ser brusco.
- Debe ser resistente al desgaste.
- Debe ser sencillo y económico.
- Debe tener un buen rendimiento.
- Debe dejar el mínimo de marcas en las piezas moldeadas.

Hay que destacar que en este molde la máquina inyectora hace que los expulsores realicen dos carreras de expulsión. En la primera, expulsan la pieza y colada. Como la pieza está caliente, se suele quedar pegada a los expulsores, con lo que, al recogerse los expulsores, la pieza suele caer. En la segunda carrera tienen la función de asegurar que no hay ningún obstáculo para la próxima inyectada. Es una carrera de prevención, por si ha habido algún fallo y queda algo sin expulsar. [18]

Guías correderas.

Las guías de las correderas soportan mucha presión hacia los lados. Como ya se ha explicado en apartados anterior saber elegir el acero para cada parte del molde es muy importante y este caso aún lo es más ya que las guías de las correderas son las piezas más delicadas de molde. Se tienen que hacer de un acero que sea capaz de aguantar la presión y torsiones a las que son sometidas. Por esta razón las guías se van a comprar echas con un acero especial el DIN 1.2842 y solamente se tendrán que ajustar a las medidas deseadas. Anexo 8

Funcionamiento.

Su funcionamiento es mecánico, al realizarse la apertura del molde, la máquina inyectora hace el movimiento de apertura. Ese mismo movimiento hace que mediante unas guías inclinadas, haga separarse a las correderas, parte móvil, de la pieza, dejando así libre el camino para la expulsión.

Una vez que las correderas están sin tocar la pieza, se activa el sistema de expulsión.

Las placas expulsoras llevan un tirante, que se acopla a la máquina inyectora, por medio de un cilindro roscado. De esta forma la máquina inyectora acciona el sistema de expulsión. Para ello se cuentan con 2 expulsores, 1 por cada pieza a extraer.

Los expulsores van alojados en la placa macho y llegan hasta una determinada distancia. Esta distancia hay que controlarla para que no haya variaciones.

La placa expulsora y sufridera expulsora, se moverán en dirección vertical y harán que los expulsores se muevan, realizando así la función de expulsor. [18]

2.4. Defectos y soluciones comunes.

Motas o vetas.

➤ Material quemado por mala ventilación.

Las zonas con mala ventilación muestran una ceniza blanquecina en el acero del molde o un quemazo en el plástico en esa zona. Esto es debido a la combustión del aire atrapado en el molde y comprimido hasta el punto de ignición. En este caso es necesario situar salidas de aire a lo largo del perímetro de la cavidad imagen. Si se puede ventilar más, ventílese. No existe la ventilación excesiva. [18]

Ampollas.

➤ Control inadecuado de la temperatura.

El molde debe de funcionar con un rango de temperaturas para cada material específico. Una refrigeración inadecuada supone que ciertas zonas se enfríen más rápido que otras. Estas zonas más frías harán que la capa exterior de la pieza se descascarille mientras el resto del plástico todavía solidifique. El aire y los gases formarán bolsas en esas zonas y provocarán ampollas. Hay que asegurarse que los taladros se ponen lo más cerca posible a la cavidad imagen y que siguen el contorno de esta fielmente. La idea es crear una distribución del calor igual en todo el molde, y especialmente en la zona de la cavidad imagen. [18]

➤ Diámetro del bebedero demasiado pequeño.

Si el diámetro del bebedero es demasiado pequeño, hace que el material se solidifique demasiado pronto después de entrar al molde y puede causar ráfagas o manchas,

especialmente en las piezas atacadas en el bebedero. Si surge en un ataque de superficie significa que el ataque es demasiado fino. Hay que asegurarse que el diámetro del bebedero al final de la boquilla sea lo suficientemente grande. Esta información se puede obtener del proveedor del plástico. Los materiales rígidos como el policarbonato necesitan diámetros grandes para facilitar el flujo. Además, hay que comprobar la profundidad del ataque. El proveedor del material proporciona el rango de profundidad que se necesita para el material en concreto. También hay que asegurarse de que los ataques rectangulares tengan un radio suficiente en las esquinas afiladas.[18]

Porosidad.

Cuando una pieza de plástico está formada por varias anchuras de muro, los muros más anchos solidificarán los últimos. Existirá una pérdida de presión en esas zonas anchas al seguir enfriando una vez las finas ya han solidificado. El plástico avanzará hacia la sección sólida y provocará burbujas. Cuando estas estén en la superficie de la pieza, aparecerán como marca de sumergido. Cuando es bajo la superficie, aparece como burbuja.

La mejor solución (también la más cara) es usar núcleos de metal para afinar la sección más ancha. Si no, si se puede, hay que cambiar la anchura de muro para que la sección más ancha no sea más del 25 % más ancha que la estrecha. Así se minimizará el llenado incompleto.

➤ **Pulido insuficiente.**

Los ángulos de expulsión deben de ser de por lo menos 1° por lado para facilitar la expulsión de la pieza del molde. La presión de expulsión podría causar piezas rotas si se usa más de la recomendada. Además, cavidades con superficies ásperas (y otros rasgados) causan efecto en las piezas a lo que eyecta. Esto podría derivar en roturas si se incrementa la presión de expulsión para empujar la pieza sobre esta superficie áspera. Todos los muros laterales deben de ser ajustados para tener un ángulo de expulsión lo más alto posible, pero 1° es el mínimo. Comprobar y eliminar, rasgados formados por las líneas de partición o zonas de cierre. Las superficies de la cavidad deberían recibir un pulido extremo cuando se construye el molde y ser re-pulidas cuando se necesite.

➤ **Cálculos de dimensionamiento incorrectos.**

Existen más de 20.000 materiales plásticos entre los que elegir para hacer un producto, cada uno de los cuales tiene un factor de encogimiento asignado. El fabricante del molde debe incorporar ese factor en cada dimensión de la pieza de tal manera que cuando sea expulsada del molde encoja hasta las dimensiones correctas. Es necesario que el diseñador y el fabricante del molde entiendan las características particulares de encogimiento del material. Esta información nos la proporcionará el proveedor del material y debe de ser analizada con profundidad. A pesar de ello, si se cambia de material o se utiliza un tipo diferente, podría o encogerse de la manera predecible. Es conveniente dejar todas las dimensiones con más acero del debido si se puede. Así podremos hacer modificaciones si el encogimiento no resulta como pretendíamos. En la mayoría de moldes ni siquiera se espera producir piezas aceptables en el primer intento. Normalmente, las dimensiones finales se acuerdan entre el diseñador del producto pretende y lo que el molde realmente produce. Las dimensiones críticas deben de desarrollarse en el molde por el fabricante del molde hasta que produzcan los requisitos deseados. [18]

➤ **Líneas de unión (líneas de soldado).**

Las líneas de unión son el resultado de un frente de flujo de material inyectado en una obstrucción en la cavidad del molde. Esta suele ser un perno central que se usa para hacer un agujero en la pieza. El frente de flujo rompe en dos frentes separados y rodea la obstrucción. Cuando las dos partes se unen al otro lado, intentan unirse de nuevo y formar un nuevo frente único. Otra causa de las líneas de pegado es el uso de más de un ataque, lo que provoca múltiples frentes de flujo. Cuantos más ataques se añaden, más líneas de pegado hay. Si se crean las condiciones para crear una línea de pegado, esta no se puede eliminar, solamente manipular. Moviendo el ataque movemos la línea de pegado. Incrementando la temperatura de fusión y del molde, ayudamos a minimizar la línea de pegado. Si añadimos ataques estratégicamente, podemos llevar las líneas de pegado a localizaciones específicas. Por ejemplo, un perno central puede acortarse para que se forme rebaba sobre su cara. Después, se puede hacer que las líneas de pegado se formen en la rebaba. La rebaba (y las líneas de unión que están en ella) pueden ser eliminadas después de la pieza.

2.5. Conclusiones parciales.

Todo diseño de moldes lleva consigo un análisis previo del artículo en general puesto que todo se deriva de este primer paso.

1. Con un detallado estudio de la pieza se obtuvo el molde adecuado con sus respectivas especificaciones técnicas, luego de haber calculado mediante diferentes vías los números de cavidades a utilizar en el molde.
2. Dentro de los aspectos generales para el diseño de moldes de inyección debemos destacar: La selección del tipo de máquina de inyección, la entrada del material, sistema de alimentación, número de cavidades, sistemas de enfriamiento y mecanismo de extracción. Este conjunto de elementos permite que el proceso de moldeo funcione correctamente sin que exista ningún defecto de fabricación.
3. Se obtuvo el diseño en colada fría con la ayuda del software Autodesk Inventor y según la determinación del tiempo de enfriamiento, el número de cavidades y la selección de la máquina inyectora entre varias existentes en el país, se logró estructurar el molde de dimensiones 230 mm x 230 mm del tipo FUTABA SA-S.

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of motion and depth, centered horizontally across the page.

CAPÍTULO 3

**SIMULACIÓN DE LA PIEZA
APLICANDO EL SOFTWARE
AUTODESK MOLDFLOW SIMULATOR**

3.1. Descripción del software.

Autodesk Simulation Moldflow Adviser es un programa computacional basado en volumen finitos que sirve para simular el proceso de moldeo por inyección, entre otros, y conocer las variables que intervienen en él, como presiones, tiempos relativos a la inyección, determinación de los puntos de inyección, contracciones, perfiles de velocidad, rechupes.

Este software analiza el modelo CAD, para:

- Preprocesado: Definición de la geometría, generación de la malla, condiciones de contorno y asignación de propiedades.
- Cálculo o procesado: Creación y resolución de las ecuaciones por parte del programa.
- Postprocesado: Obtención de los resultados ya sea numéricamente o en forma de gráficos.

Antes de realizar cualquier estudio mediante el programa Moldflow deben tenerse presentes ciertas consideraciones y requisitos para la correcta interpretación de la pieza por parte del programa. La geometría de la pieza ha sido importada desde Autodesk Moldflow en un archivo tipo *.stp.

3.2. Simulación.

Material.

Una vez elegido el material apropiado según las necesidades descritas en puntos anteriores, introducimos las propiedades del plástico en los parámetros del programa para obtener la simulación de inyección. [18][19]

Los datos necesarios son: el rango de temperaturas de masa, rango de temperaturas de molde y temperatura de expulsión, temperatura de transición, diagrama de presión-volumen-temperatura y curvas de viscosidad-velocidad de deformación, como el calor específico y la conductividad térmica.

El plástico a inyectar, Polyethylene-L0434G, se ha cogido de la biblioteca de materiales de Autodesk Simulation Moldflow Adviser, por lo que no hará falta definir sus propiedades manualmente.

➤ **Análisis de llenado y análisis de compactación.**

Objetivo y utilidad del análisis.

La utilidad del análisis es prever el comportamiento del material durante el proceso de llenado de la pieza, nos permite detectar posibles problemas, evaluar puntos críticos y todo esto antes de la construcción del molde, lo que nos permite corregirlo antes de la fabricación.

Hay que tener en cuenta que antes de este análisis se han calculado y se han diseñado los parámetros de procesos que aseguran la calidad de la pieza. Este análisis procura validar los resultados.[19]

Condiciones de contorno.

El software necesita varios parámetros de contorno para determinar las posibles soluciones del estudio, incluye: punto de inyección, temperatura de la masa, temperatura del molde, tiempo de inyección y perfil de presión de compactación en función del tiempo. [18] [19]

Se considera que la temperatura del molde es homogénea, mediante la temperatura media del molde, que es de unos 40°C.

Se considera que la presión de compactación es constante.

➤ Análisis de resultados.

Procederemos a analizar los resultados que nos ofrece la aplicación.

Tiempo de llenado.

Ilustramos gráficamente el recorrido del plástico por la cavidad, el tiempo de llenado según la simulación es de 1.77s. El software también nos permite examinar cualquier nodo presente en la geometría para verificar el dato existente en ese punto. Nos muestra mediante una escala de colores el intervalo del tiempo de llenado en la cavidad. [18] (Figura 3.1)

Tabla 3.1: Resultados de la simulación.

Factor	Valores
--------	---------

Presión real de inyección	1.452 (MPa)
Área de la fuerza de sujeción	3.5930 (cm ²)
Max. Fuerza de sujeción durante el llenado	0.030 (t)
Velocidad/cambio de presión en % de volumen	99.81 (%)
Velocidad/ cambio de presión en % de tiempo	1.78 (s)
Tiempo estimado de ciclo	11,52 (s)
Peso total de la pieza	4.8 (g)
Volumen de inyección	4.8620 (cm ³)

Tabla 3.2: Resultados del cálculo de la fuerza de cierre.

20% de la presión de inyección	0.011 (toneladas)
80% de la presión de inyección	0.043 (toneladas)
120% de la presión de inyección	0.064 (toneladas)

➤ **Tiempo de ciclo**



Figura 3.1: Resultados del tiempo de ciclo

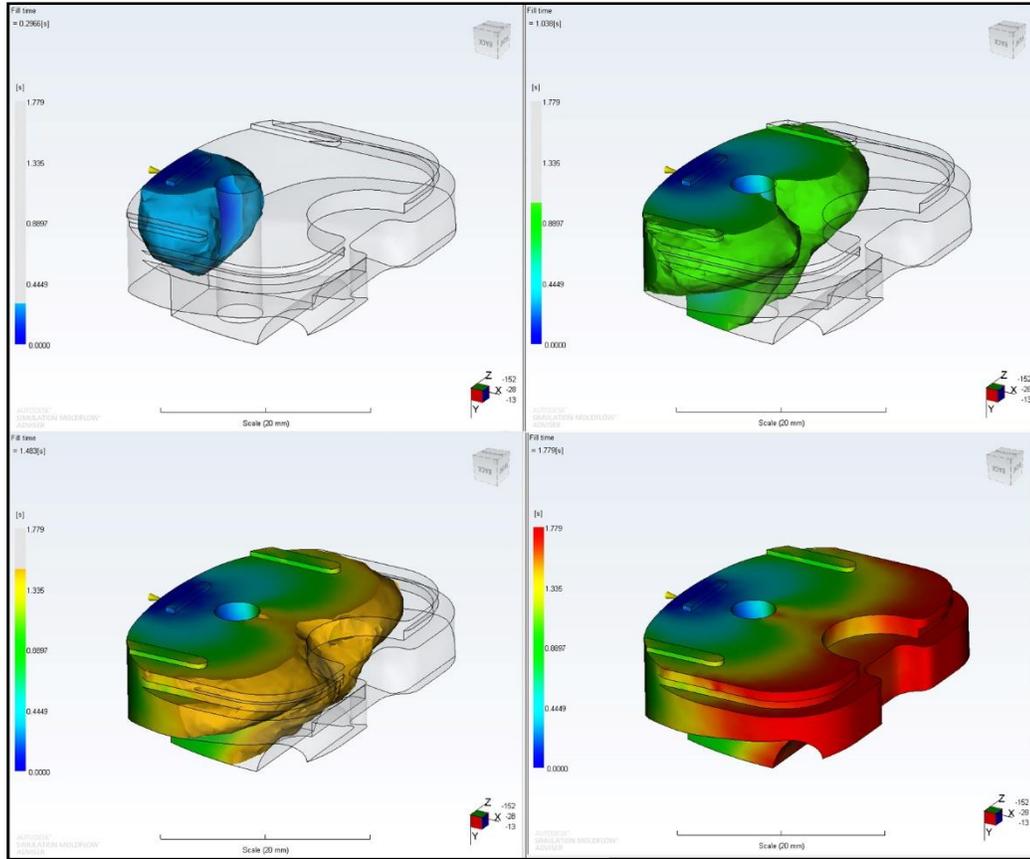


Figura 3.2: Progreso del plástico en la cavidad.

Distribución de la presión.

Una vez finalizado el llenado, el plástico al enfriarse se contrae. Para compensar esa contracción se aplica la presión de sostenimiento o presión de compactación. Hay que tener en cuenta que el plástico es un fluido compresible y viscoso no newtoniano, por lo tanto, no se reparte la presión en todas las zonas del molde. [18]

La distribución de presión en el camino del flujo dentro del molde al final del llenado está representado en la figura 3.2.

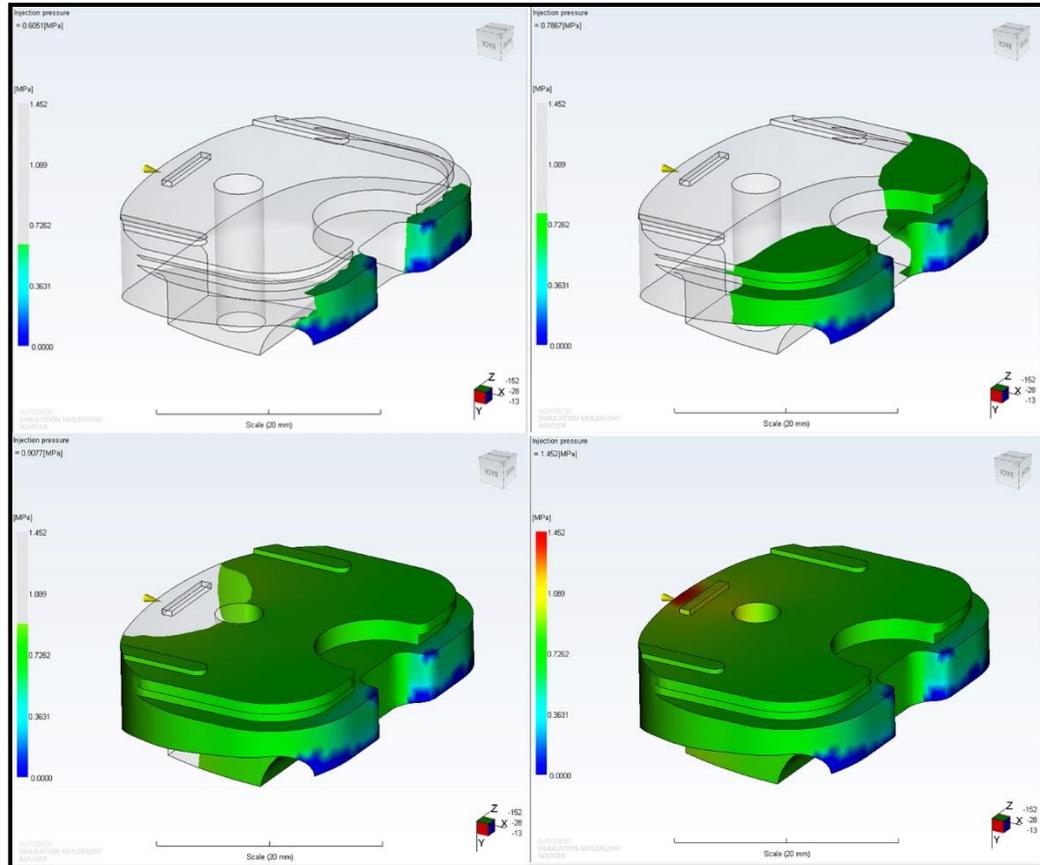


Figura 3.3: Distribución de presiones en la pieza

La máxima presión en la pieza está en torno a los 1,452 MPa. La presión en una localización específica empieza a aumentar sólo después de que el frente de fusión llegue a esa posición. La presión continúa incrementando a lo que el frente pasa debido a la distancia entre el punto en concreto y el frente de fusión. La diferencia de presión de un sitio a otro es la fuerza que empuja el polímero fundido a fluir durante el llenado. Así el polímero se moverá de los puntos de alta presión a los de baja presión. Es por ello que los puntos de inyección poseen la máxima presión y el frente de fusión o flujo la mínima durante la fase del llenado. La magnitud de la presión depende de la resistencia del polímero, ya que polímeros con alta viscosidad requieren de más presión para el llenado de la cavidad. Se deben de evitar las variaciones en la distribución de presión grandes durante la fase de llenado. Y en la fase de empaquetamiento también se debe de evitar porque afectan a la contracción volumétrica.

Temperatura del frente de flujo.

El programa nos ofrece la temperatura máxima a la que llega el material en el proceso de inyección, son 220,1°C, el dato está comprendido entre la temperatura máxima y mínima recomendada para el Polietileno de alta densidad es de 235-310°C.

En ningún caso, la temperatura mínima en el frente de flujo, debe ser inferior a la temperatura a la cual el material no fluye. En general, temperaturas del frente de flujo iguales o superiores a 200°C indican un buen llenado. Las secciones delgadas de la pieza o áreas muy frías del molde pueden detener el avance del flujo. Esta detención prospera a medida que la pérdida de calor de las paredes continúa y el estrato solidificado aumenta el espesor. Incluso los puntos de inyección pueden sufrir un fenómeno de esta naturaleza. Estas situaciones pueden algunas veces ser sobrepasadas gracias a la presión y los flujos pasan finalmente a través de estos estrechamientos. [18]

Una distribución uniforme de las temperaturas y una baja diferencia entre ellas indica unas buenas condiciones de moldeo, en cuyo caso, puede presuponerse una contracción uniforme y unas reducidas distorsiones. [18]

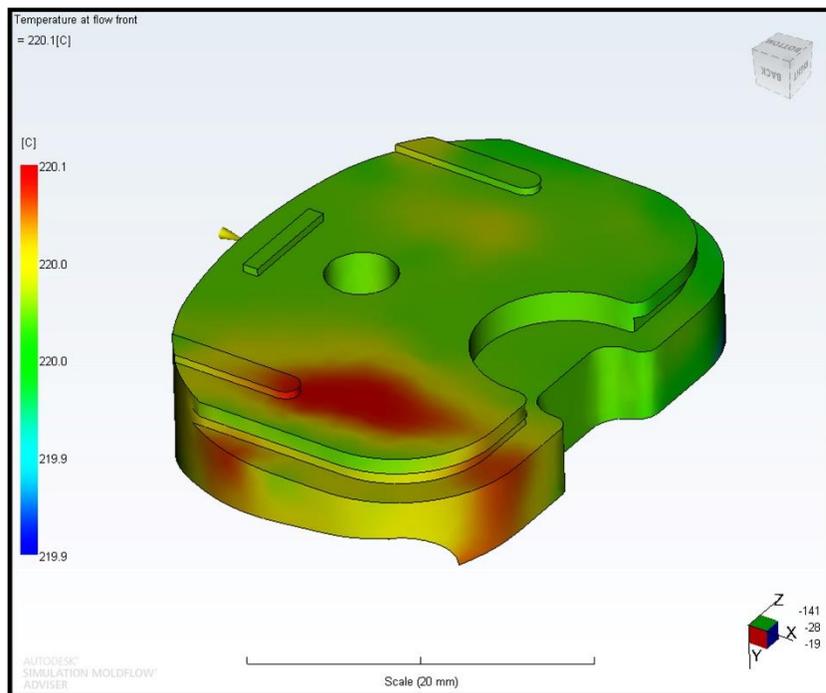


Figura 3.4: Temperatura del frente del flujo.

Líneas de soldadura.

Las líneas de unión son las fronteras en las que se han juntado dos frentes de flujo de material. Es muy complicado encontrar una solución en la que no existan líneas de unión, sin embargo, se debe intentar que estas no queden en zonas de la pieza que requieran un buen aspecto. También es sabido que los lugares con líneas de unión tienen menor resistencia. Para el caso estudiado se da por válido el resultado obtenido. [18] [19]

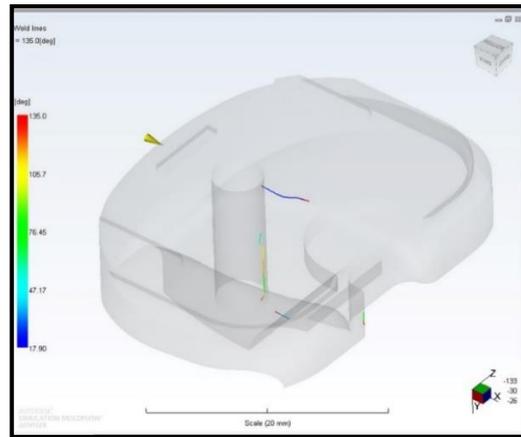


Figura 3.5: Líneas de unión.

Muchas veces es inevitable la aparición de estos elementos, por lo que existen diferentes alternativas. Es aconsejable moverlas a zonas donde la tensión sea lo más baja para que no provoquen fracturas cambiando el punto de inyección de posición. Así evitaremos problemas estructurales. En lo que se refiere al aspecto visual, si movemos la línea de unión a, por ejemplo, la parte de debajo de la pieza, se podría solventar el problema.

A parte de mover el punto de inyección también se puede aumentar el espesor de pared, aumentar o disminuir el punto de inyección de tamaño. En lo que atañe a la calidad de las líneas de unión se puede mover los puntos de inyección para que el frente de flujo se aún más oblicuo, se puede aumentar la velocidad de inyección, su presión o la presión de empaquetamiento. Otra solución consiste en colocar un viento en la zona crítica para eliminar el aire atrapado y evitar que debilite posteriormente la línea de unión.

Atrapamiento de aire.

Un atrapamiento de aire ocurre donde la fundición queda atrapada y se condensa una burbuja de aire o gas entre dos o más convergencias de fluidos frontales, o entre el fluido frontal y la pared de la cavidad. Típicamente, el resultado es un pequeño agujero o una imperfección en la superficie de la pieza. En casos extremos, la compresión aumenta, la temperatura alcanza un nivel el cual causa que el plástico degrade su fundición.

El software indica los posibles atrapamientos de aire que pueden quedar en la pieza. A continuación, se muestran los mismos en la figura 3.5.

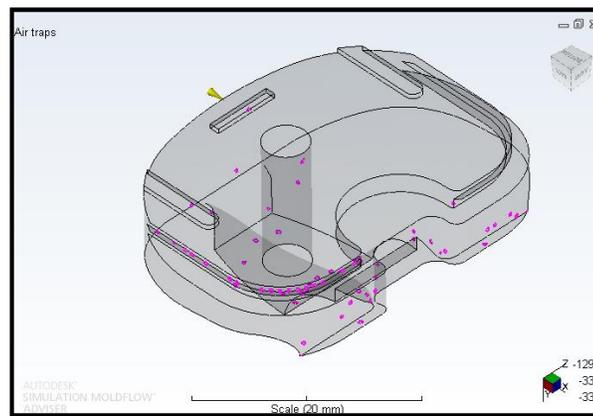


Figura 3.6: Atrapamientos de aire.

Contracción volumétrica

El valor de la contracción, cuyo conocimiento es indispensable para el diseño del molde y para la obtención de piezas en las dimensiones deseadas, es función de la temperatura del proceso, de las presiones de inyección, así como de la naturaleza del polímero.

El nivel medio de contracción lineal, puede sufrir considerables variaciones y disminuir hasta el 50-60%, cuando existan factores que prevengan la contracción normal dentro del molde. Por ejemplo, un contenedor que se enfría en el positivo del molde, no puede contraer totalmente por lo cual el valor final será inferior al valor medio indicado. Otros factores pueden ser taladros, agujeros, etc. [18]

Estos aspectos deben tenerse en cuenta, cuando se diseña el molde. Las acciones encaminadas a reducir la contracción son:

- Reducir espesor de la pieza.

- Aumentar presión de inyección.
- Aumentar el tiempo de refrigeración.
- Aumentar la velocidad de inyección.
- Aumentar el tiempo y presión de mantenimiento.
- Reducir temperatura del molde.
- Aumentar dimensiones en los puntos de inyección.

En este caso es importante destacar que, luego del llenado de la pieza, existe un valor de contracción volumétrica de un 30%. Figura 3.6.

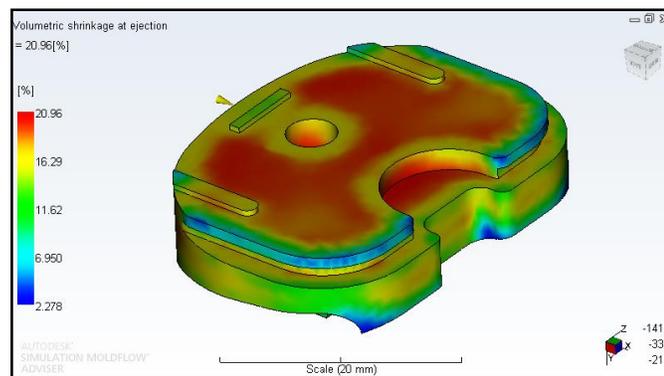


Figura 3.7: Contracción volumétrica.

Orientación de la piel.

Los resultados en la orientación de la piel suministran una buena indicación de como estarán orientadas las moléculas en la superficie exterior de la pieza, mostrando el promedio de la dirección principal de alineación para el área entera local en la conclusión del llenado.

Se normalizan las magnitudes de estos vectores a uno y se despliegan multiplicado por el factor de escala dado. La orientación de la piel es determinada por la dirección de velocidad cuando la fusión frontal alcanza una situación dada.

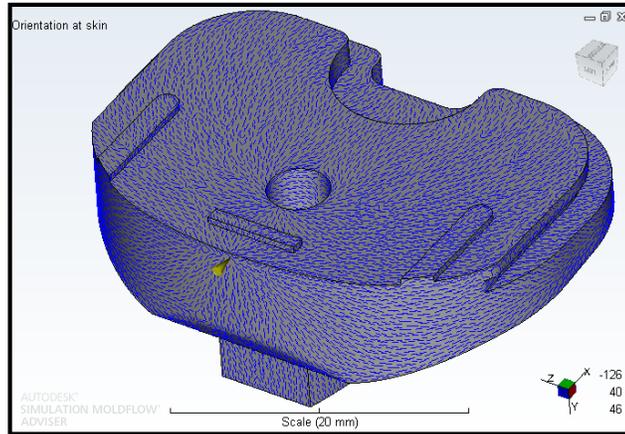


Figura 3.8: Orientación de la piel.

3.3. Evaluación económica financiera de la propuesta del molde para el producto: Prótesis interna de rodillas.

La evaluación de un proyecto de inversión se debe realizar en función de la información que sobre el mismo dispone el inversor la cual debe al menos permitir determinar sus características financieras. Estas deben estar enfocadas a que los costos que se generan en determinada actividad económica no excedan los ingresos que se esperan a partir de las proyecciones de ventas. [20]

El Ministerio de Economía y Planificación (MEP) es el órgano rector de la actividad económica y empresarial en Cuba, el cual establece el concepto “proyecto” como el conjunto de documentos mediante los cuales se define y determina la configuración de la inversión, justificando luego las soluciones propuestas de acuerdo con las normativas técnicas aplicables MEP (2014). Es por ello que todas las propuestas de inversiones que se prevean deben estar amparadas por la metodología de este ministerio. [21]

A partir del año 2010 la política inversionista cubana ha sufrido una serie de transformaciones de gran envergadura, lo cual quedó plasmado en los Lineamientos de la Política Económica y Social del PCC y la Revolución en el año 2011 y que fueron ratificados y evaluados parcialmente en el recién concluido VII Congreso del PCC. De este modo en el año 2014 se pone en vigor el Decreto Ley 327/2014 que regula los procesos sustantivos de las inversiones tanto para capital cubano como extranjero en los marcos del territorio nacional. [22]

Sin embargo, esta voluntad política del Estado no solo debe ser entendida como la proliferación de actividades en el orden de inversiones de capital, de mantenimiento tecnológico y constructivo en todas las esferas de la economía, entre otras que contribuyan al saneamiento económico y social de la nación. También se le otorga especial relevancia a aquellas que sustituyen importaciones las cuales representan un costo evitado para el país.

En el caso de la EMI se pretende adquirir el molde propuesto para la producción de prótesis internas de rodillas lo cual presenta una repercusión social elevada por estar dirigida al sector de la salud, una de las principales conquistas del modelo económico cubano. En la actualidad esta entidad no produce este producto, por lo cual el país, a partir de los laboratorios especializados del MINSAP, importa los moldes en costos aproximados entre los 16 000.00 USD a 20 000.00 USD. Con la propuesta de esta investigación se evitaría este gasto lo cual constituye un costo evitado o un ahorro para la economía nacional solo por concepto de pago del principal.

Otro elemento importante serían los gastos financieros asociados al pago de los intereses. RAFIN es la institución financiera autorizada por la FAR para financiar las inversiones dentro del sistema empresarial a costos del capital aproximados al 7%. Por lo que estos ascenderían a:

$$\begin{aligned} \text{Intereses financieros} &= \text{Principal} \times \text{Costo de capital} && (3.1) \\ &= 20\,000.00 \text{ USD} \times 0.07 \\ &= 1\,400.00 \text{ USD} \end{aligned}$$

Esto indica que por concepto de gastos financieros anualmente se pagarían 1 400.00 USD, lo que a una tasa de cambio para el sistema empresarial cubano de 1 USD= 1 CUC por cada dólar incrementaría el gasto por conceptos de pago de intereses.

Por todo lo anterior, unido a la política cubana de ir ganando en autonomía financiera y económica, sustituyendo importaciones y evitando el endeudamiento con el extranjero, se justifica y califica como viable la creación de molde para la producción de prótesis internas de rodillas.

3.4. Conclusiones parciales.

El presente capítulo aborda una gran variedad de resultados necesarios en la simulación del proceso de inyección y una correcta evaluación económica financiera de la propuesta del molde para el producto:

1. El software Autodesk Moldflow Simulator Adviser realiza un análisis completo mediante la entrada de los diferentes parámetros que intervienen en el proceso de inyección arrojando resultados satisfactorios y muy detallados como el tiempo de llenado de la pieza, la temperatura de frente al flujo, las líneas de soldadura, los atrapamientos de aire, la contracción volumétrica, las marcas de depósitos, la calidad del llenado, entre otros. También permite verificar cual sería el mejor punto de inyección y la ubicación de los canales de enfriamiento.
2. Por otra parte, se justifica y califica como viable la creación de molde para la producción de prótesis internas de rodillas luego de haber evaluado los costos del capital aproximados al 7% mediante la aplicación de la economía financiera.

A decorative graphic consisting of several overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are centered horizontally and extend across most of the page width.

CONCLUSIONES GENERALES

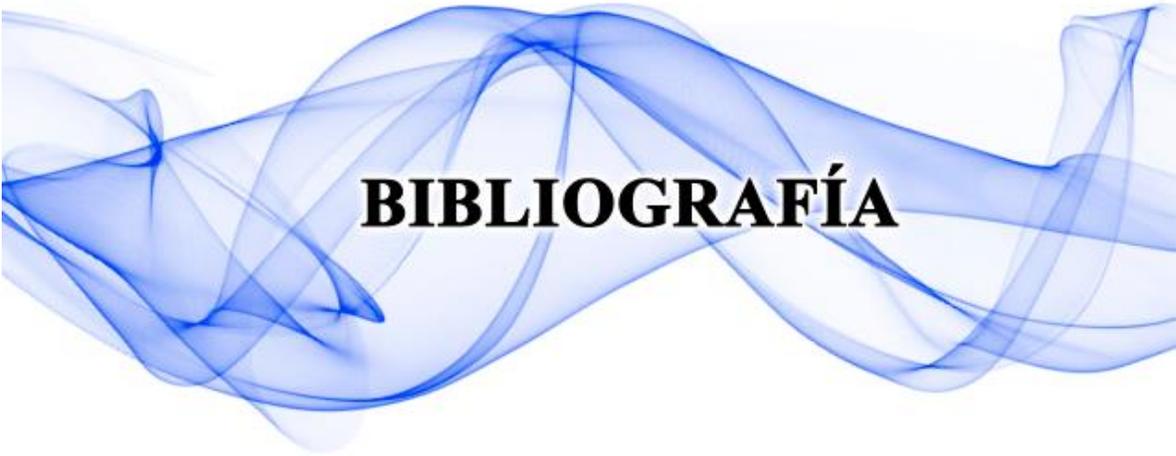
1. Mediante una búsqueda bibliográfica detallada se pudo indagar en varios temas referidos al diseño de moldes para prótesis. Dentro de la revisión de la bibliografía se investigó sobre los diferentes métodos de obtención de prótesis como la impresión 3D y los moldes por compresión directa, se dio a conocer una reseña histórica de la evolución de las prótesis internas de rodilla destacando la importancia del polietileno en las mismas, se realizó un estudio de los diferentes tipos de aceros para moldes y como seleccionarlos como los aceros de cementación, los bonificados, resistentes a la corrosión, de revenido total y los de nitruración. También se lograron identificar los materiales para inyección como son el PET, PEAD, PVC, PP, PS destacando el PEAD como el material más óptimo y resistente para el diseño de prótesis interna de rodilla.
2. Dentro de los aspectos generales para el diseño de moldes de inyección debemos destacar: la selección del tipo de máquina de inyección según las existentes en el país, la entrada del material, sistema de alimentación, número de cavidades, canales de ventilación, sistema de enfriamiento y mecanismo de extracción. Estos aspectos forman parte del procedimiento a seguir para realizar esta tarea. Se obtuvo el diseño del molde en colada fría con la ayuda del software Autodesk Inventor con sus respectivas especificaciones técnicas. Además, se determinaron los diferentes parámetros tecnológicos.
3. Se llevó a cabo la simulación del proceso de inyección mediante la utilización del software Autodesk Moldflow Simulator, el cual calculó una serie de parámetros para el fluido del plástico dentro de una de las cavidades del molde, mostrando resultados de un 30% de contracción volumétrica, un tiempo de llenado de 1,77s, una temperatura de frente al flujo de 220,1°C, entre otros datos de gran valor que aseguran la calidad de la inyección.
4. Se realizó un correcto estudio económico financiero logrando justificar y calificar como viable la creación de molde para la producción de prótesis internas de rodillas luego de haber evaluado los costos del capital aproximados al 7%, logrando así sustituir importaciones y evitar el endeudamiento con el extranjero.

The image features a decorative background of overlapping, semi-transparent blue wavy lines that create a sense of movement and depth. The lines are centered horizontally and extend across most of the page width.

RECOMENDACIONES

Después de analizar y discutir el tema objeto de este trabajo y teniendo en cuenta que los resultados del mismo pueden ser mejorados, realizamos las siguientes recomendaciones:

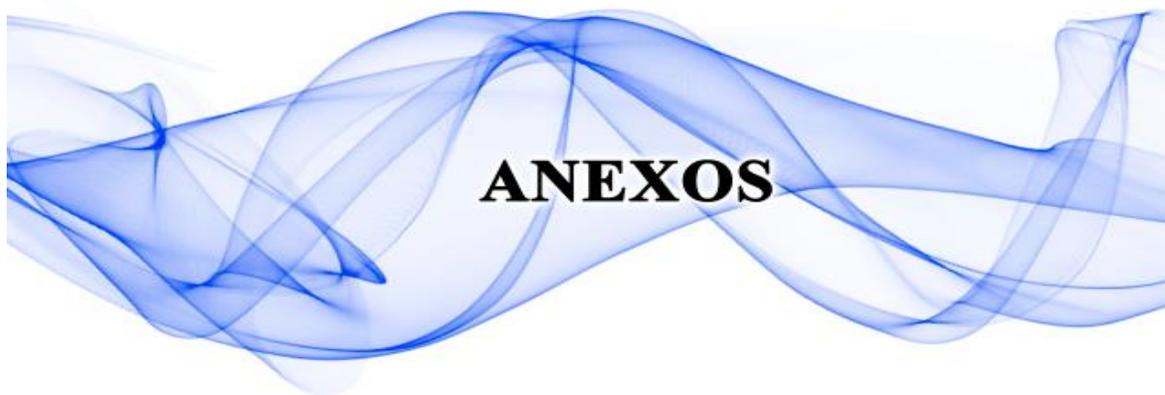
1. Realizar un diseño de experimento, variando diferentes parámetros en la simulación del proceso de inyección para así obtener diferentes resultados y mejorar la calidad trabajo.
2. Realizar la simulación del maquinado del molde en programas como GibbsCAM o CAMWorks para así generar los códigos de postproceso de la pieza o la generación de códigos CNC.
3. Simular los diferentes comportamientos que realiza cada placa, como las fuerzas que interactúan en la cavidad, la expansión del plástico dentro del molde, la fuerza de cierre de la máquina, las posibles deformaciones o pandeos de las placas, entre otros fenómenos reales que sufre el molde durante la inyección.

The image features a decorative horizontal band of overlapping, semi-transparent blue wavy lines that resemble smoke or flowing fabric. The lines are layered, creating a sense of depth and movement. The word "BIBLIOGRAFÍA" is centered within this band in a bold, black, serif font.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez., “Facultad de estudios superiores cuautitlán,” 2012.
- [2] S. L. Interempresas Media, “Simulación del proceso de inyección en el diseño de piezas de plástico.” 2015.
- [3] T. D. C. Company, “Proceso de Moldeo Por Inyección.” 2016.
- [4] A. Koito, “Cómo redactar el Estudio del Estado del Arte En,” vol. 16, no. 2, pp. 16–18, 2005.
- [5] C. A. D. E. Ingeniería, C. A. E. Asistidas, P. O. R. Computador, M. V Candal, J. Romero, and C. Müller-karger, “PROTESIS DE PIE EMPLEANDO HERRAMIENTAS DE DISEÑO,” vol. XXIX, pp. 15–18, 2010.
- [6] S. Integral, “Exactech, Inc,” 2015.
- [7] “El moldeo por inyección, motor de la innovación en la tecnología médica.” .
- [8] M. Saldaña-martínez, R. Jasso-almaguer, O. Lara, Y. Moreno-vera, and M. Alberto, “DISEÑO Y ANALISIS DE ESFUERZOS EN PROTESIS TRANSTIBIAL IMPRESAS EN 3D,” p. 63, 2015.
- [9] J. F. Francolí, “Estado actual y perspectivas de la impresión en 3D,” 2014.
- [10] A. Cuéllar Rojas, “Impresoras 3D y la medicina.” 2014.
- [11] [Http://www.wikipedia.com](http://www.wikipedia.com), “Impresión de prótesis en 3d,” 2016.
- [12] [Www.orthopodsurgen.com](http://www.orthopodsurgen.com), “Reemplazo total de rodilla, precios,” 20014.
- [13] C. Complejos and D. E. A. Total, “PRÓTESIS TOTAL DE RODILLA TIPO CHARNELA ENDO-MODEL,” 2011.
- [14] JANIRE FERNÁNDEZ BARROSO, “DISEÑO DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE UNA PIEZA PLÁSTICA.”
- [15] T. S. A. / C. M. Karger, “DISEÑO Y MODELAJE TRIDIMENSIONAL PARAMÉTRICO DE PRÓTESIS DE RODILLA.” 2004.
- [16] <http://www.matweb.com>, “Polietileno de alta densidad.” 2015.
- [17] “Diseño de un Molde de Inyección en PEEK 1.”
- [18] G. A. Tejera, “Trabajo de diploma,” 2015.

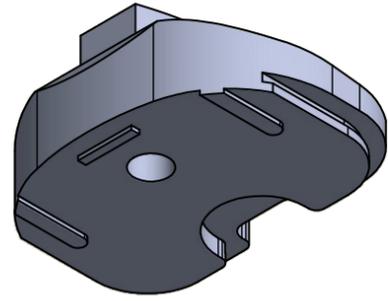
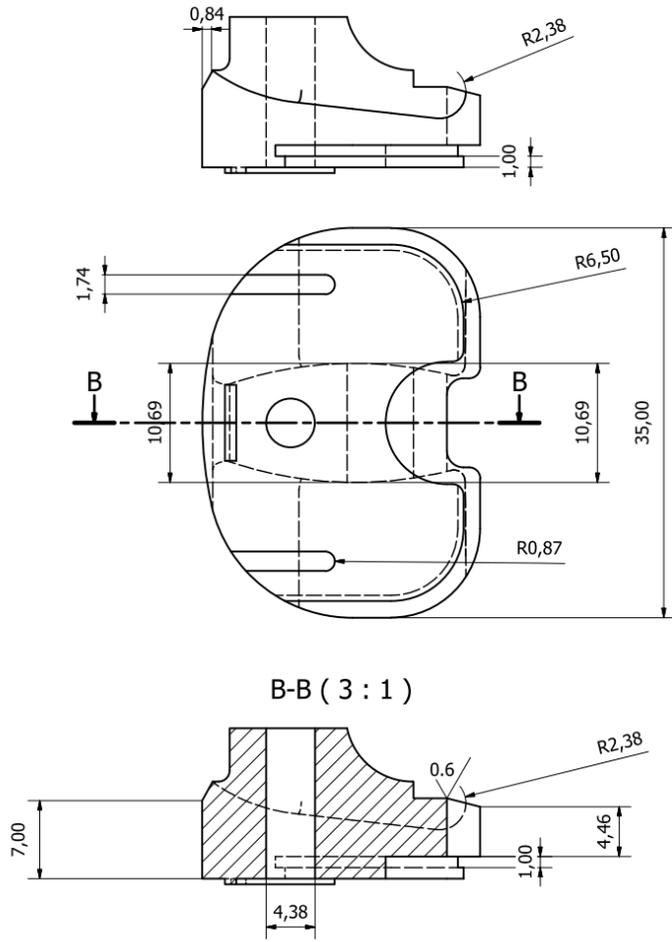
- [19] S. Caba, E. S. Rosell, N. S. Título, D. E. U. N. Molde, P. La, and D. E. U. N. A. P. D. E. Pl, "MEMORIA TÉCNICA," 2010.
- [20] I. Y. D. E. Telecomunicación and A. Simón, "Diseño y fabricación de un molde para inyectar pieza de plástico," 2012.
- [21] L. Rodolfo, G. Jefe, and D. Á. Plásticos, "Simulación de Inyección de Plástico con Moldflow," pp. 1–5.
- [22] D. M. R. P. G. Ponce, "Innovación, Diseño e Ingeniería de Productos Plásticos," 2010.
- [23] Sapag C.N., "Preparación y evaluación de proyectos," 2016.
- [24] Ministerio de Economía y Planificación, "Indicaciones para el proceso inversionista," *Decreto-Ley 327/2014*, 2014.
- [25] S. M.I.R, "Monografía evaluación de proyectos de inversión," 2006.
- [26] www.acerosbohler.com
- [27] www.acerosuddeholm.com
- [28] www.thermoplay.com
- [29] <http://www.interempresas.net>
- [30] <http://www.revistaplasticosmodernos.es/>
- [31] MS. C. Ángel Rafael García Martínez, *Diseño de moldes para engranajes plásticos de dientes rectos asimétricos*, 2011
- [32] Yosbel Giraldo Hernández Hernández, Gabriel Albuérne Tejera *Propuesta de un sistema en colada caliente para el diseño del molde por inyección del contenedor de medicamentos radioactivos*, 2015
- [33] SERGIO CABAÑES ROSELL, *Diseño de un molde para la inyección de una pieza de plástico*, 2010



ANEXOS

CARACT. TÉCNICAS MAQ. INYECTORAS	UM	SEBA	INYECTORAS SANDRETO						INYECTORA MAICO
		U-30/100	85T	135T	300T	820T	1000T	1300T	600T
Diámetro del husillo	mm	40	45	50	55	105	105	135	90
Volumen de inyección	cm ³	107	286	353	617	4286	4286	4286	8874
Longitud útil del husillo	l/d	13	21	20	24,8	21	21	20	20
Velocidad máxima de inyección	cm ³ /s	85	156		223	1007	1007		512
Capacidad de plastificación	gr/s	16	25	38,5	45	131	131	145	118
Presión de inyección máx.	bar	775	1500	1464	2160	1486	1486	2000	1687
Par del motor (máx-mín)	N.m		1160/465	1100/430	2125/772	7296	7296	20000	
Veloc. del husillo (mín-máx)	rpm	20/280	153/418	0/200 170/450	181/498	156	156	0/95	
Potencia del motor hidráulico	HP		25	30	50	150	150	250	40/40
Recorrido grupo de inyección	mm	185	320		500	780	830	1200	390
Cámaras(+ boquilla)	n	3+1	3+1	3	4+1	5+1	5+1	6+1	6+1
Potencia total de calefacción	KW	3,3	10,5	9	20	50,3	50,3	90	33,5
Fuerza de bloqueo del molde	KN	300	850	1325	3000	7360	9810	12750	6000
Grueso del molde (máx-mín)	mm	100/270	100/460	150/500	210/730	350/1100	450/1350	450/1600	300/1100
Carrera del plato móvil	mm	220	410	400	630	1150	1350	1350	850
Dimensione de los platos	mm	260x375	560x560	610x610	860x860	1560x1560	1820x1820	2080x2080	
Pasaje entre columnas	mm	255x142	370x370	400x400	570x570	1060x1060	1230x1230	1404x1404	900x900
Diámetro del anillo de centrado	mm	80	125	150	160	250	250	250	200 ó 250

N° inventario NO. INV./OT.	Firma y Fecha FECH/NM	Sustituye a: SUST.	N° inventario D NO. INV./D.	Firma y Fecha FECH/NM
-------------------------------	--------------------------	-----------------------	--------------------------------	--------------------------

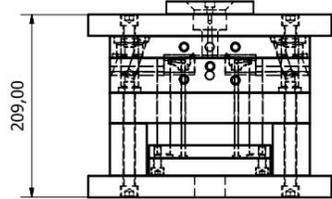
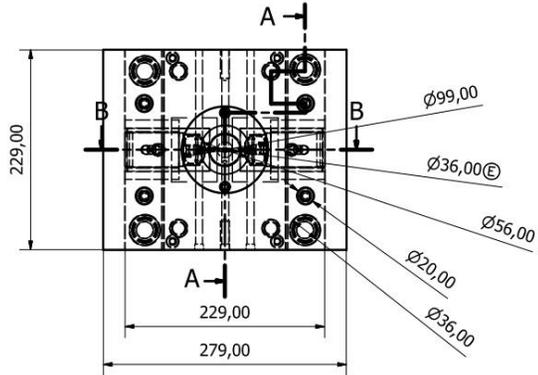


MOD.	CANT.	No. NOTIF.	FIRMA	FECHA
DIBUJO		FSANTO		FDIB.
PROYECTO		FSANTO		FPROY.
REVISO		ANGEL		FREV.
CONT. TEC.		COMPA		FCT.
CONT. NOR.		COMPA		FCNC
APROBÓ		ANGEL		FAPR.

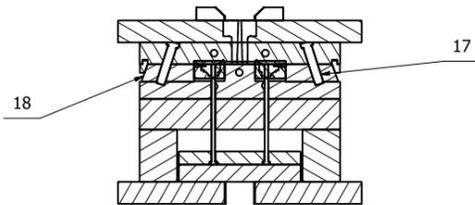
IMPLANTE PARA PRÓTEIS INTERNA DE RODILLA	UCLV-FIMI			
	Etapas de elaboración			
	D.T.	Escala	Hoja N°	Cant. hoj
Polietileno de alta densidad	4,8g	E: N°	1	1

Tipos de Acero	Designación según DIN 17006	Material No	Peso específico [g/cm²]	Conductividad térmica [cla/g°C]	Dilatación térmica [10-6/°C]	Calor específico [cal/cms°S]	Módulo de elasticidad [kp/mm²]
Acero de cementación	C4W3	1.1803	7.85	0.16	10-14	0.115	21000
	C15WS	1.1805	7.85	0.16	10-14	0.115	21000
	X6CrMo4	1.2341	7.85	0.11	10-14	0.115	21000
	21MnCr5	1.2162	7.85	0.11	10-14	0.153	21000
	X19NiCrMo4	1.2764	7.85	0.8	10-12	0.11	21000
	15NiCr14	1.2735	7.85	0.8	10-12	0.11	21000
	21CRMnM05	1.2310					
Acero de nitruración	33AlCrMo4	1.2852					
	29CrMoV9	1.2307	7.85	0.8	10-12	0.11	21000
	34CrA16	1.2851					21000
Acero templado	X45NiCrM04	1.2767	7.85	0.8	10-12	0.11	21000
	9OMnV8	1.2842	7.85	0.8	10-12	0.11	21000
	X210Cr12	1.2080	7.8		10.5-12.5		21000
	105WCr6	1.2419	7.8	0.9	10-14	0.113	21000
	100MnCrW4	1.2510	7.8				21000
	X100CrMoV51	1.2363					
	X165CrMoV12	1.2601	7.8				21000
	35NiCrMo16	1.2766	7.8		11.5-13	0.14	21000
Acero bonificado para utilizar en estado de suministro	54NiCrMo16	1.2711			12-14	0.13	21000
	54NiCrMo16	1.2713	7.8		12-13		21000
	X38CrMo51	1.2343	7.8		11.5-12	0.12	21000
	50CrV4	1.2241			13-15		21000
	40CrMnMo7	1.2311	7.8				21000
Acero resistente a la corrosión	X40Cr13	1.2083	7.7	0.7	10-12	0.11	21500
	X36CrMo17	1.2316	7.7	0.7	10-11	0.11	21300

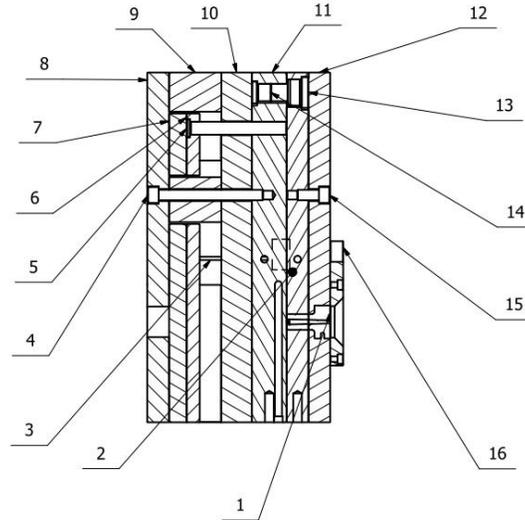
000-000



B-B (1 : 4)



A-A (1 : 4)

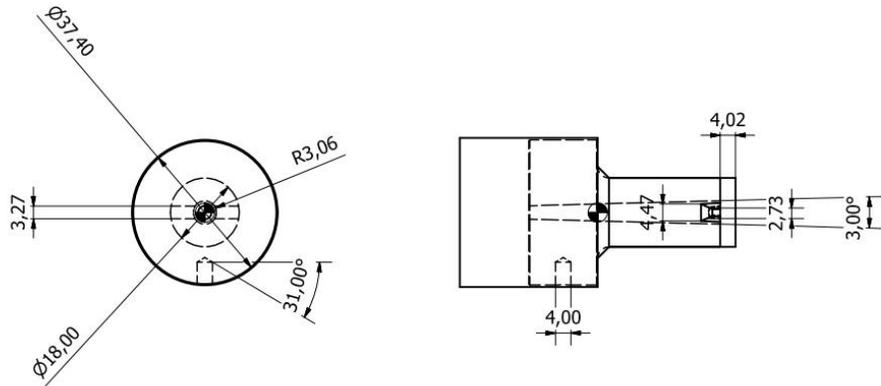


- Tipo de máquina: Inyectora Sandreto 85 Ton.
- Material a moldear: ABS
- Ciclo de moldeo: 34s.
- Tiempo de Inyección: 2s.
- Tiempo de enfriamiento: 9,77s.
- Pieza obtenida: **IMPLANTE PARA PRÓTESIS INTERNA DE RODILLA.**

N° Inventario NO. INV. O.T.	Firma y Fecha FECH/NUM
Sustituye a: SUST.	N° Inventario D NO. INV. D
Firma y Fecha FECH/NUM	Firma y Fecha FECH/NUM

					MOLDE PARA PRÓTESIS INTERNA DE RODILLA	UCLV-FIMI				
						Etapas de elaboración				
						D.T.				
MOD.	CANT.	No. NOTIF.	FIRMA	FECHA	Masa	Escala	Hoja N°	Cant. hoj		
DIBUJO		ANGEL		19/6/2016		1:4	1	1		
PROYECTO		ANGEL		19/6/2016						
REVISO		ANGEL		19/6/2016						
CONT. TEC.		ANGEL		19/6/2016						
CONT. NOR.		ANGEL		19/6/2016						
APROBO		ANGEL		19/6/2016						
					POLIETILENO DE ALTA DENSIDAD (PEAD)		000-000			

CODIGO



Nº Inventario NO INV.O.T	Firma y Fecha FECHNUM	Substoya a: SUST	Nº Inventario D NO INV.D	Firma y Fecha FECHYNUM
-----------------------------	--------------------------	---------------------	-----------------------------	---------------------------

Mod.	Cant.	No. Notif	Firma	Fecha
DIBUJO	FSANTO			FDIB.
PROYECTO	FSANTO			FPROY.
REVISO	ANGEL			FREV.
CONT. TEC.	COMPA			FCT.
CONT. NOR.	COMPA			FCNC
APROBO	ANGEL			FAPR.

**BEBEDERO
DE
INYECCIÓN**

ACERO 1.2826

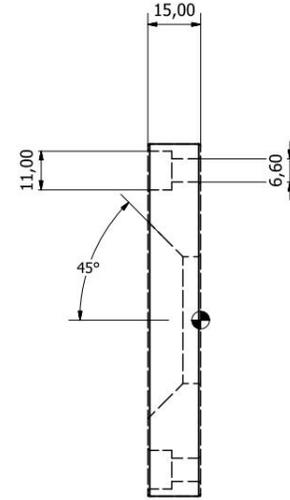
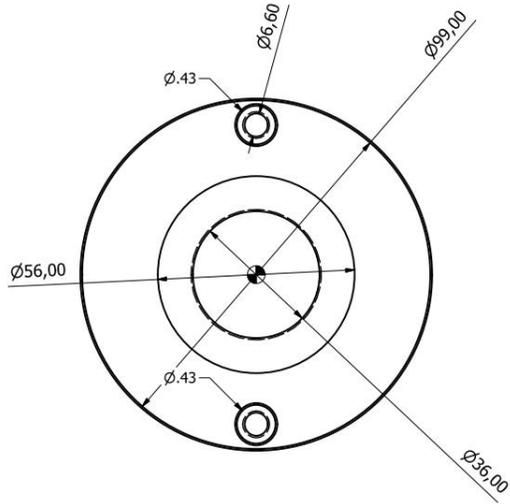
UCLV-FIMI

Etapas de elaboración

D.T.				
Masa	Escala	Hoja Nº	Cant. hoj	
0.215kg	1:1	1	1	

000-000

000-000



N° Inventario NOINVD	Firma y Fecha FECHUM	Substituye a: SUST	N° Inventario D NOINVD	Firma y Fecha FECHUM
-------------------------	-------------------------	-----------------------	---------------------------	-------------------------

MOD.	CANT.	No NOTIF.	FIRMA	FECHA
DIBUJO		ANGEL		19/6/2016
PROYECTO		ANGEL		19/6/2016
REVISO		ANGEL		19/6/2016
CONT. TEC.		ANGEL		19/6/2016
CONT. NOR.		ANGEL		19/6/2016
APROBO		ANGEL		19/6/2016

**ANILLA
DE
SUJECIÓN**

S45C

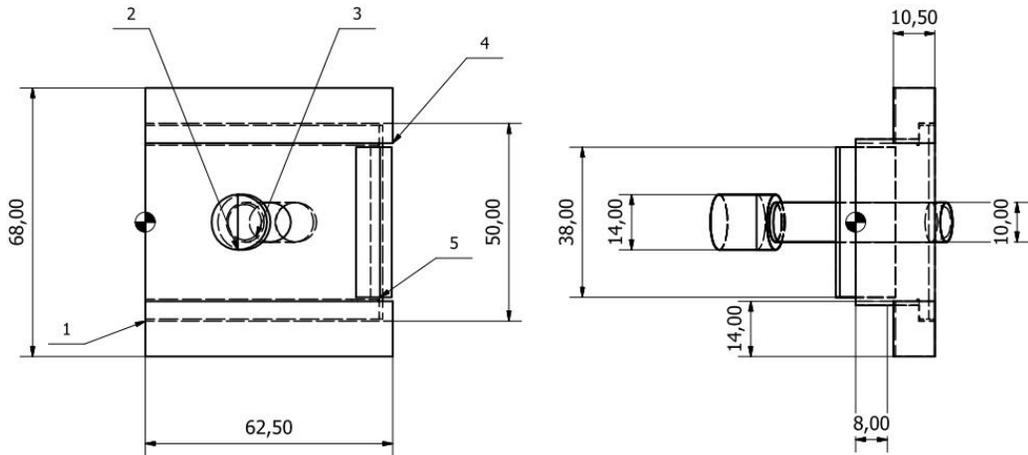
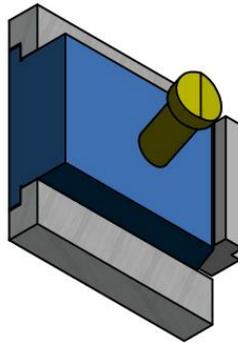
UCLV-FIMI

Etapas de elaboración

D.T.			
Masa	Escala	Hoja N°	Cant. hoj
MASA	E: N°	N°	N°

000-000

LISTADO DE PIEZAS					
PUNTO	QTY	CÓDIGO DE LA PIEZAS	DESCRIPCIÓN	MATERIAL	MASA
1	1	Pieza 01	Riel Guía	DIN 1.2842	0,057 kg
2	1	Pieza 02	Pilar Guía	DIN 1.0401	0,033 kg
3	1	Pieza 03	Deslizador	DIN 1.2343	0,361 kg
5	1	Pieza 04	Deslizador de bloqueo	DIN 1.2162	0,029 kg
4	1	Pieza 05	Riel Guía	DIN 1.2842	0,057 kg



Nº Inventario	NO INV/O.T	Firma y Fecha	FECH/NUM
NO INV/O.T			
NO INV/O.T			
NO INV/O.T			

Mod.	Cant.	No. Notif	Firma	Fecha
DIBUJO		ANGEL		19/6/2016
PROYECTO		ANGEL		19/6/2016
REVISO		ANGEL		19/6/2016
CONT. TEC.		ANGEL		19/6/2016
CONT. NOR.		ANGEL		19/6/2016
APROBO		ANGEL		19/6/2016

CORREDERAS		UCLV-FIMI			
		Etapas de elaboración			
		D.T.			
Masa	Escala	Hoja N°	Cant. hoj		
MASA	E:Nº	Nº	Nº		

