



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO.

FACULTAD DE INGENIERÍA.

División de ingeniería mecánica e industrial.

“Propuesta de acondicionamiento de un portamolde
de inyección de plástico estándar tipo Europeo
246 x 296 mm Montaje 5A”

TESIS PROFESIONAL

Para obtener el título de

INGENIERO MECÁNICO

PRESENTA:

EDGAR HERNÁNDEZ SOTO

DIRECTOR DE TESIS:

DR. ÁLVARO AYALA RUIZ





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INTRODUCCIÒN

INTRODUCCIÓN

En el laboratorio de Procesamiento de Plásticos, que se encuentra en el edificio del departamento de materiales y manufactura de la Facultad de Ingeniería, se encuentra un Portamolde Estándar adquirido para desarrollar proyectos de inyección de plásticos en el área de diseño, la finalidad de este portamolde es que pueda ser utilizado como material de enseñanza, teniendo así como cualidad la diversificación de inyección de piezas plásticas para actividades referentes al proceso de enseñanza dentro de la institución.

Se debe tomar en cuenta que esta propuesta de acondicionamiento de portamolde, pretende utilizar como referencia la implementación del portamolde en la máquina para procesos de inyección de plásticos, DEMAG ergo tech pro 50-270, máquina que se localiza también en el laboratorio de procesamiento de plásticos.

La importancia de realizar este trabajo, es desarrollar un proyecto de tesis en el cual se identifiquen las necesidades y requerimientos que el portamolde necesita para su habilitación. Utilizar el diseño asistido por computadora como herramienta para acondicionar los elementos faltantes en el portamolde, así como desarrollar una propuesta de inyección de una pieza plástica como justificación de la diversidad de prototipos que pueden ser diseñados en la placa de cavidades del portamolde.

En este proyecto de tesis utilizaré los conocimientos de la carrera de Ingeniería Mecánica, para realizar una propuesta de habilitación en el portamolde, para que en el futuro sea utilizado en la materia de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, y para realizar proyectos de inyección de plástico en el taller de procesamiento de plásticos.

Se propone generar los modelos sólidos de cada componente del portamolde, así como de los elementos faltantes en este, con la finalidad de obtener las dimensiones y características, al mismo tiempo los modelos sólidos proporcionan la información para la manufactura en Control Numérico Computacional (CNC).

Una de las necesidades del portamolde en cuestión, es que este dispositivo pueda utilizarse para diferentes proyectos de inyección de plásticos (no sólo una pieza, como usualmente se utiliza en la industria), es decir que el portamolde sea un elemento multifuncional para acoplar diferentes placas de cavidades de molde y así generar diversidad de piezas plásticas. Es importante considerar lo anterior como parámetro para generar los elementos faltantes en el portamolde, y para la generación de la propuesta de inyección de la pieza plástica.

El proyecto de tesis está conformado por cuatro capítulos, en los cuales se muestra el trabajo de tesis, para cumplir con el objetivo previamente desarrollado.

En el primer capítulo se hace énfasis sobre los antecedentes y conceptos fundamentales para comprender el proceso de inyección de plásticos, en el segundo capítulo se hace referencia a las consideraciones teóricas para el diseño de moldes, en el tercer capítulo se hace el modelado CAD de los componentes iniciales del molde y en el capítulo cuatro se diseñan los componentes faltantes que requiere el portamolde, así como la propuesta de aplicación de inyección en el portamolde.

OBJETIVOS

OBJETIVOS

OBJETIVOS

A continuación se desarrollan los objetivos planteados para este proyecto de tesis:

Objetivo general.

- Diseñar componentes para el acondicionamiento del portamolde estándar tipo europeo de inyección de plásticos, así como también, realizar una propuesta de inyección de una pieza plástica, como referencia para el diseño de elementos en el portamolde, para que este proyecto sea utilizado como referencia para su futura habilitación y utilización en la materia de Diseño y Manufactura Asistidos por Computadora, y para realizar proyectos de inyección de plástico en el laboratorio de procesamiento de plásticos.

Objetivos secundarios.

- Identificar los componentes iniciales en el portamolde de inyección de plástico, con la finalidad de determinar los componentes a desarrollar, así como identificar los procesos de manufactura que se requieren.
- Desarrollar una propuesta de diseño en el portamolde que tenga capacidad de inyectar diversidad de piezas plásticas, con la finalidad de que los usuarios del portamolde cuenten con una herramienta que permita usar variedad de cavidades de molde para la inyección de diferentes piezas.
- Generar modelos sólidos de los componentes iniciales del portamolde, así como de las propuestas de diseño a desarrollar, utilizando como herramienta el diseño asistido por computadora CAD/CAM, para la obtención de las dimensiones y que sean utilizados como referencia en la posteridad para la manufactura de los componentes del portamolde requeridos.

JUSTIFICACIÒN

JUSTIFICACIÓN

JUSTIFICACIÓN

Existe un portamolde para inyección de plásticos que en la actualidad no se está utilizando. La justificación del trabajo que a continuación se describe es, colaborar en la futura habilitación del portamolde para que así los alumnos de la Facultad de Ingeniería, puedan contar con una herramienta más de trabajo, para el proceso de aprendizaje referente a proyectos de inyección de plásticos.

Este proyecto surge como un primer paso para la habilitación del portamolde en el futuro, para establecer las necesidades que deben ser implementadas, realizar un levantamiento de las condiciones iniciales del portamolde, obtener los modelos sólidos utilizando como herramienta el CAD/CAM, para que a partir de esto se desarrollen las propuestas de los componentes necesarios del portamolde.

Además de la necesidad y la justificación planteada para desarrollar un producto, como justificación personal, se decide realizar este proyecto de tesis para profundizar más en los conocimientos referentes al diseño, manejo de software CAD/CAM, así como también lo referente a la ciencia de materiales y procesos de inyección.

ÍNDICE

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	
OBJETIVOS.....	
JUSTIFICACIÓN	
CAPÍTULO 1	
ANTECEDENTES.....	1
1.1 INTRODUCCIÓN.....	2
1.2 POLÍMEROS.....	3
1.2.1 Clasificación de los polímeros.....	3
1.2.2 Importancia comercial y tecnológica de los polímeros.....	6
1.2.3 Limitantes del uso de los polímeros en procesos de manufactura.....	6
1.2.4 Polimerización.....	7
1.2.5 Cristalinidad.....	10
1.2.6 Comportamiento térmico de los polímeros.....	12
1.3 MÁQUINAS INYECTORAS DE PLÁSTICO.....	14
1.3.1 Componentes de una máquina inyectora.....	14
1.3.2 Tipos de máquinas.....	19
1.4 MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO.....	24
1.4.1 Partes de un molde.....	24
1.4.2 Tipos de moldes.....	25
CAPÍTULO 2	
CONSIDERACIONES TEÓRICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES.....	26
2.1 CAD/CAM/CAE.....	27

ÍNDICE

2.1.1 CAD/CAM en el proceso de diseño y fabricación.....	30
2.1.2 Componentes del CAD/CAM.....	32
2.1.3 El CAD/CAM desde el punto de vista industrial.....	33
2.2 COMPONENTES DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO.....	35
2.3 DISEÑO DE MOLDES.....	38
2.3.1 Funciones del molde de inyección y del ciclo de molde.....	38
2.3.2 Materiales utilizados en la construcción de moldes de inyección.....	40
2.3.3 Análisis característico de una máquina de inyección.....	44
2.3.4 Área proyectada.....	45
2.3.5 Fuerza de cierre.....	46
2.3.6 Cálculo del número de cavidades.....	49
2.3.7 Colada fría.....	55
2.3.8 Orificio de llenado.....	59
2.3.9 Anillo centrador.....	67
2.3.10 Ubicación del punto de inyección.....	68
2.3.11 Cálculo de la contracción.....	70
2.3.12 Área de contacto.....	71
2.3.13 Cálculo del perno Guía.....	73
2.3.14 Sistema de expulsión.....	74

CAPÍTULO 3.

LEVANTAMIENTO DEL MODELO CAD.....	76
3.1 INTRODUCCIÓN.....	77

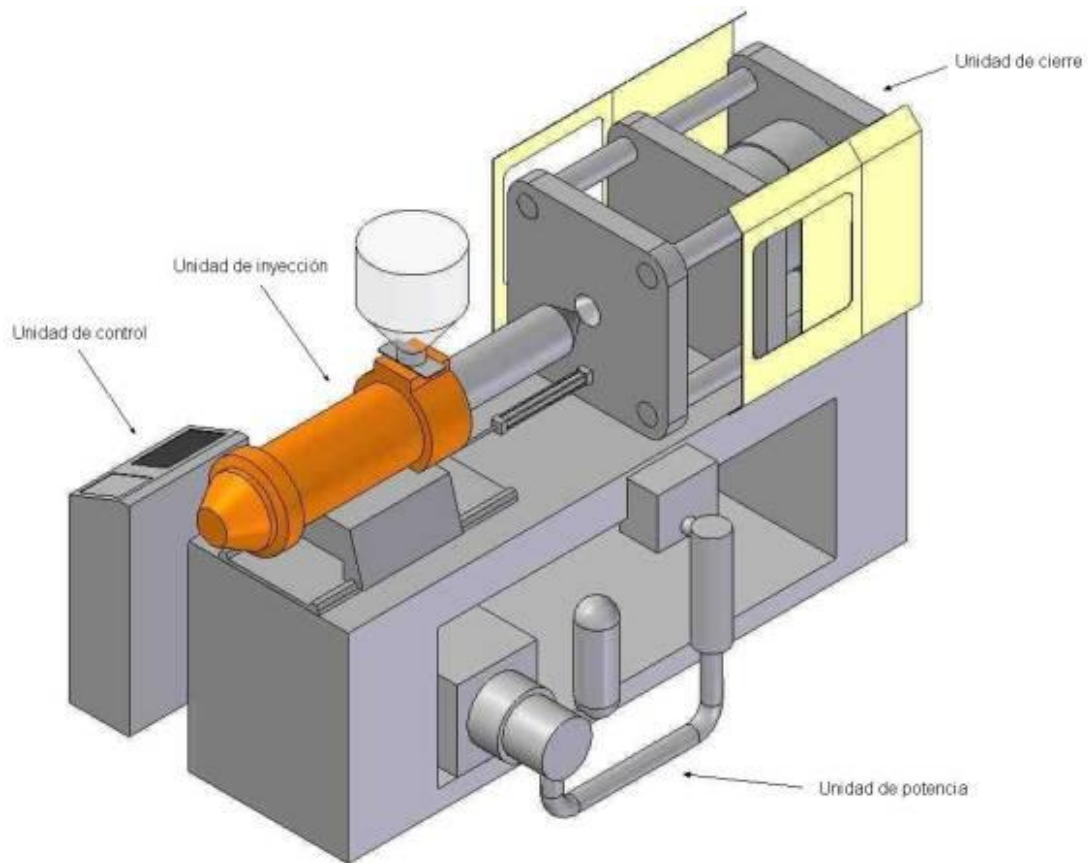
ÍNDICE

3.2 HERRAMIENTA DE DISEÑO CAD NX7.....	78
3.3 CONDICIONES INICIALES PORTAMOLDE DE INYECCIÓN.....	79
3.3.1 Especificaciones del molde de inyección	79
3.3.2 Condiciones iniciales.....	80
3.4 MODELADO CAD COMPONENTES DEL MOLDE.....	83
3.4.1 Pernos guía y de sujeción C1.....	83
3.4.2 Pernos guía B1.	85
3.4.3 Placa frontal de cavidad P1.....	87
3.4.4 Placa posterior de cavidad P2.....	89
3.4.5 Placa de soporte PS.....	91
3.4.6 Barras paralela espaciadora.....	93
3.4.7 Pernos guía de sujeción CE.....	96
3.4.8 Conector BEX.....	98
3.4.9 Placa limitadora de botadores CPE.....	100
3.4.10 Placa de botadores PE.....	102
3.4.11 Placa posterior de sujeción PBI.....	104
3.5 ENSAMBLES.....	106
3.6 IMPLEMENTACIONES NECESARIAS.....	117
3.6.1 Actividades propuestas para lograr la habilitación del portamolde.....	117

ÍNDICE

CAPÍTULO 4.

PROPUESTA DE REDISEÑO.....	120
4.1 MÉTODO PARA EL DISEÑO DE COMPONENTES.....	121
4.2 ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA INYECTORA.....	123
4.2.1 Volumen de inyección de material.....	125
4.3 DISEÑO DE COMPONENTES.....	126
4.3.1 Placa frontal de sujeción PBS.....	126
4.4 PROPUESTA DE APLICACIÓN	128
4.4.1 Pieza a inyectar.....	129
4.4.2 Orificio de llenado.....	131
4.4.3 Anillo centrador.....	132
4.4.4 Bebedero.....	134
4.4.5 Placa de aluminio de cavidades.....	137
4.4.6 Cavidades placa P1 y P2.....	140
4.4.7 Pernos botadores.....	142
4.4.8 Colada.....	148
4.4.9 Número de cavidades.....	149
4.5 ENSAMBLES.....	152
4.6 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA PORTAMOLDE	
ESTÁNDAR TIPO EUROPEO 246 X 296 mm.....	159
CONCLUSIONES.....	161
REFERENCIAS.....	16



CAPÍTULO 1

ANTECEDENTES

- 1.1 Introducción.
- 1.2 Polímeros
- 1.3 Máquinas inyectoras de plástico
- 1.4 Moldes de inyección de plástico

1.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tendrá una descripción de los antecedentes necesarios, para comprender los aspectos teóricos fundamentales para así dar inicio a la realización del rediseño del portamolde de inyección de plástico.

Es necesario conocer conceptos referentes al proceso de inyección, polímeros, máquinas inyectoras, tipos de moldes.

El molde en cuestión está enfocado a la fabricación de piezas plásticas por medio del proceso de moldeo de inyección. Antes de iniciar con la propuesta de acondicionamiento, es necesario aterrizar conceptos básicos sobre antecedentes teóricos, que permitan reforzar y fundamentar la propuesta de diseño planteada en los siguientes capítulos. Para ello es necesario plantear cuatro grandes temas:

1. Polímeros
2. Proceso de inyección de plástico.
3. Maquinas inyectoras de plástico.
4. Moldes de inyección de plástico.

POLÍMEROS.

Durante todo proceso de manufactura es necesaria la utilización de materiales para la fabricación de diversos productos. Para este proyecto es necesario tener como referencia el estudio de las propiedades de los diferentes polímeros, pero sin olvidar que es preciso establecer la relación existente entre las propiedades de estos materiales mediante el proceso de inyección de plástico, y las condiciones de operación del mismo.

Al conocer las características de los polímeros, se tiene un mayor panorama del proceso de inyección. Se establecerá una clasificación de los materiales que se pueden utilizar en el proceso de inyección, esto favorece hacer una correcta elección del polímero a utilizar. Todo este marco teórico nos permitirá reconocer los diferentes tipos de polímeros que pueden ser utilizados en la máquina inyectora.

PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

Es importante conocer el proceso de inyección de plástico para conocer las características del proceso y realizar el rediseño del portamolde que se va a implementar, conociendo las características del proceso podemos entender las condiciones de operación del mismo, esto es tomado en cuenta al momento de diseñar.

MÁQUINAS INYECTORAS DE PLÁSTICO.

Existen diferentes máquinas inyectoras de plástico, estas describen diferentes formas para poder realizar el proceso de inyección de plástico, conocer los diferentes tipos de máquinas con sus diversas características, nos permite tener una mayor referencia para el diseño del molde en cuestión, en este apartado se trata de clasificar a las diversas maquinas para así poder identificar en una categoría la máquina de inyección de plástico donde se utilizará el portamolde.

MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

Así como se ha planteado la necesidad de conocer la máquina inyectora que se encuentra en la institución, también es importante conocer y clasificar los diferentes tipos de moldes, para así poder clasificar el molde a rediseñar y hacer así un diseño enfocado a las necesidades que se requieran.

1.2 POLÍMEROS.

Un polímero es un material que consiste en moléculas de cadena larga, cada molécula está hecha de unidades repetitivas que se conectan entre sí. Puede haber miles o millones de unidades en una sola molécula de polímero. El término se deriva de las palabras griegas *poly*, que significa muchos y *meros* que significa parte. La mayoría de los polímeros se basan en carbono y, por consiguiente, son considerados sustancias químicas orgánicas. Sin embargo también incluye un número de polímeros inorgánicos. (1)

1.2.1 CLASIFICACIÓN DE LOS POLÍMEROS.

Los polímeros pueden dividirse en las siguientes categorías:

1. **Polímeros termoplásticos (TP).**
2. **Polímeros termofijos o termoestables (TS).**
3. **Elastómeros (E).**

POLÍMEROS TERMOPLÁSTICOS (TP).

Son materiales sólidos a temperatura ambiente, pero cuando se someten a temperaturas de unos cientos grados centígrados se convierten en líquidos viscosos. Esta característica permite conformarlos fácil y económicamente en productos útiles. Pueden sujetarse repetidamente a ciclos de calentamiento y enfriamiento sin que se degraden significativamente. (1)

Propiedades mecánicas:

Los termoplásticos típicos a temperatura ambiente poseen las siguientes características

- Menor rigidez, el modulo de elasticidad es en promedio dos veces (algunos casos hasta tres) más bajo que los metales y los cerámicos.
- La resistencia a la tensión es más baja, cerca del 10% con respecto a la de los metales
- Dureza muy baja
- Ductibilidad más alta en promedio con un gran rango de valores, desde una elongación de 1% para el poliestireno, hasta el 500% o más para el propileno.

Las propiedades mecánicas de los termoplásticos dependen de la temperatura y de la carga aplicada.

Propiedades físicas:

En general los polímeros termoplásticos poseen

- Densidades más bajas que los metales y los cerámicos
- Coeficientes de expansión térmica mucho más altos, aproximadamente 5 veces el valor de los metales y 10 veces el valor de los cerámicos
- Temperaturas de fusión muy bajas
- Calores específicos que van de dos a cuatro veces los de los metales y los cerámicos
- Conductibilidades térmicas que son alrededor de tres órdenes de magnitud más bajo que lo metales
- Propiedades de aislamiento eléctric.

CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

POLÍMEROS TERMOFIJOS O TERMOESTABLES. (TS)

Los polímeros termofijos se distinguen por su estructura tridimensional de alto encadenamiento transversal. Los termofijos son siempre amorfos, y no exhiben temperatura de transición vítrea. Son materiales rígidos, que tienen una estructura molecular compleja del tipo red, son plásticos que una vez moldeados no pueden modificar su forma y por lo tanto no pueden ser reciclados. Polimerizan irreversiblemente bajo calor o presión formando una masa rígida y dura. (Referencia 1)

Por su estructura no se ablandan y si se continua calentando se llega a su temperatura de descomposición ocasionando que estos se quemen.

Propiedades físicas:

- Más rígidos, con módulos de elasticidad dos o tres veces más grandes
- Prácticamente no poseen ductilidad.
- Menos solubles en los solventes comunes
- Capaces de funcionar a temperaturas más altas
- No pueden ser refundidos, en lugar de esto se degradan o se queman

Las diferencias en las propiedades de los plásticos termofijos se atribuyen a las cadenas transversales que forman enlaces covalentes tridimensionales térmicamente estables. El encadenamiento transversal se logra por tres formas

1. Sistemas activados por temperatura
2. Sistemas activados catalíticamente
3. Sistemas activados por mezcla

ELASTÓMEROS.

Son polímeros de alta deformación elástica. Cuando se sujetan a esfuerzos mecánicos relativamente bajos. Algunos elastómeros pueden estirarse alargando 10 veces su longitud y luego recuperan completamente su forma original. Aunque las propiedades son bastante diferentes, a la de los termofijos, comparten una estructura molecular similar a la de éstos, pero diferente a la de los termoplásticos. (Referencia 1)

El ejemplo más popular de un elastómero es desde luego el hule. Podemos dividir a los hules en dos categorías:

1. Hule natural, derivado de ciertas plantas
2. Polímeros sintéticos producidos por procesos de polimerización, similares a los que se utilizan para los termoplásticos y los termofijos.

Propiedades físicas:

- Cuentan con grandes propiedades elásticas, estas se deben a la combinación de dos características, cuando las moléculas largas no están estiradas y cuando el grado de encadenamiento transversal es sustancialmente más bajo que el de los termofijos

Los termoplásticos son comercialmente los más importantes de los tres tipos, pues constituyen alrededor del 70% del tonelaje total de los polímeros sintéticos producidos. Los termofijos y los elastómeros comparten el 30 % restante. Los polímeros TP comunes incluyen al polietileno, el cloruro de polivinilo, el propileno, el poliestireno y el nylon. Ejemplos de polímeros TS son los plásticos fenólicos, los epóxicos y ciertos poliésteres. Algunos ejemplos de elastómeros son: butadieno, poliuretano, silicones.

1.2.1.1 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS UTILIZADOS EN MOLDEO POR INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

PLÁSTICOS DE GRAN VOLUMEN

En Estados Unidos aproximadamente dos terceras partes de los plásticos utilizados son plásticos de gran volumen, tales como polietilenos, polipropilenos, poliestireno o policloruro de vinilo. La siguiente tabla presenta algunas condiciones típicas de moldeo para estos plásticos. (3)

A continuación en la siguiente tabla se presentan, algunas condiciones típicas de moldeo para dichos plásticos.

PLÁSTICO	TEMP. FUNDIDO (°C)	TEMP. MOLDE (°C)	VEL. DEL TORNILLO RPM	PRESIÓN kg/cm ²	ENCOGIMIENTO mm/mm	SECADO
Polietileno de baja densidad	190-288	10-38	Máxima	3.5-7.03	0.015-0.025	No
Polietileno de alta densidad	204-315	10-38	Máxima	3.5-7.03	0.025-0.040	No
Polipropileno	218-288	10-65	Máxima	3.5-7.03	0.015-0.020	No
Poliestireno	190-288	38-65	50-200	3.5-7.03	0.004-0.010	No
PVC flexible	154-288	38-65	150-200	3.5-7.03	0.004-0.010	No
PVC rígido	165-182	38-65	50-75	10.5-14.07	0.004-0.006	No

Tabla 1.1 Plásticos de gran volumen. (Referencia 3)

PLÁSTICOS DE ESPECIALIDAD.

Estas son resinas que tienen propiedades sobresalientes y, a pesar de su alto costo, ocupan importantes nichos de mercado, ya que las características tan especiales que presentan las hace sumamente útiles en aplicaciones específicas. Entre estos materiales podemos mencionar: polisulfonas, polietercetonas, poliimidadas, polieterimidadas, etcétera. Tal vez el teflón o politetrafluoroetileno es el de mayor importancia comercial de los plásticos de este grupo (Referencia 3).

PLÁSTICOS DE INGENIERÍA

En general se caracterizan por ser materiales que tienen propiedades superiores a los plásticos de gran volumen. Presentan buena estabilidad térmica y buena resistencia al impacto, alta temperatura de distorsión, alta resistencia a la tensión y mayor tenacidad. En los mercados que

CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

demandad alto desempeño es donde se encuentra su principal aplicación. Entre los materiales más comunes podemos mencionar: ABS, Nylon, policarbonato, polióxido de fenileno, poliacetales, etcétera (Referencia 3).

La siguiente tabla presenta algunas características de moldeo por inyección de plástico para los siguientes materiales

PLÁSTICO	TEMP. FUNDIDO (°C)	TEMP. MOLDE (°C)	VEL. DEL TORNILLO RPM	PRESIÓN kg/cm ²	ENCOGIMIENTO mm/mm	SECADO
Acrílicos	222-274	65-93	50-100	3.5	0.004- 0.007	Sí
ABS	246-274	38-93	50-100	5.3-8.8	0.005- 0.007	Sí
Polióxido de fenileno	246-315	65-107	25-75	3.5	0.005- 0.006	Sí
Policarbonato	274-329	79-107	25-50	3.5	0.006- 0.007	Sí
Nylon 6	222-274	38-93	Máxima	3.5-7.03	0.006- 0.014	Sí
Nylon 6,6	260-288	38-93	Máxima	3.5-7.03	0.012- 0.020	Sí
Acetal	204-260	65-121	100-150	3.5-7.03	0.018- 0.025	Usualmente
Poliétilen-tereftalato	232-260	65-107	50-100	3.5	0.016- 0.020	Sí

Tabla 1.2 Plásticos de ingeniería. (Referencia 3)

1.2.2 IMPORTANCIA COMERCIAL Y TECNOLÓGICA DE LOS POLÍMEROS

El crecimiento en las aplicaciones de los polímeros sintéticos es realmente impresionante. Las razones de la importancia comercial y tecnológica de los polímeros son las siguientes:

- Los plásticos se pueden moldear para conformar partes de intrincada geometría, sin necesidad de procesamientos posteriores.
- Los plásticos poseen una atractiva lista de propiedades para muchas aplicaciones de ingeniería donde la resistencia no es un factor determinante:
 1. Baja densidad con respecto a los metales y los cerámicos.
 2. Buena relación de resistencia al peso para ciertos polímeros.
 3. Alta resistencia a la corrosión.
 4. Baja conductibilidad eléctrica y térmica.
- Volumétricamente, los polímeros son competitivos en costo con los metales.

CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

- Los polímeros generalmente requieren menos energía que los metales para su producción, esto se debe a que las temperaturas de trabajo de dichos materiales son generalmente mucho más bajas que para los metales.
- Ciertos plásticos son translúcidos y transparentes lo cual los hace competitivos con el vidrio en algunas aplicaciones.
- Los polímeros se usan ampliamente en materiales compuestos. (Referencia 3)

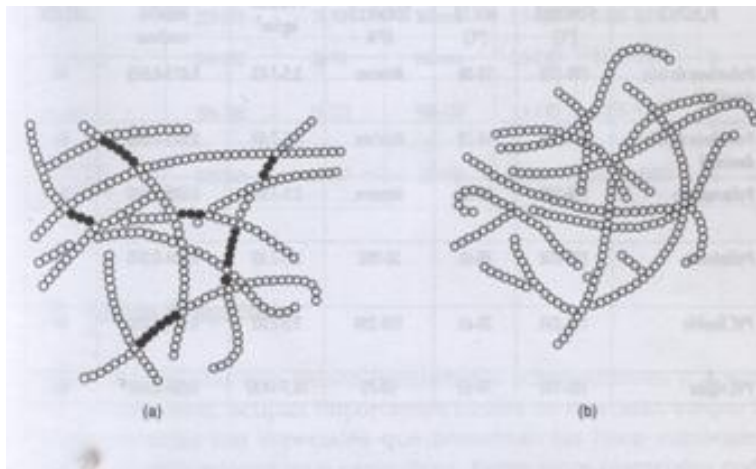
1.2.3 LIMITANTES DEL USO DE LOS POLÍMEROS EN PROCESOS DE MANUFACTURA

Por otra parte, los polímeros tienen generalmente las siguientes limitaciones:

- Las temperaturas de servicio se limitan a solo algunos cientos de grados debido al ablandamiento de los termoplásticos, o la degradación de los polímeros termofijos.
- Algunos polímeros se degradan cuando se sujetan a la luz del sol y otras formas de radiación.
- Algunos polímeros no resisten condiciones de acidez.
- Los plásticos exhiben propiedades viscoelásticas, lo cual puede ser una limitación distintiva en aplicaciones que implican carga. (Referencia 3)

1.2.4 POLIMERIZACIÓN.

El proceso químico mediante el cual cientos o miles de pequeñas moléculas de monómero se enlazan entre sí para formar una gran molécula de polímero es una **reacción de polimerización**. El **monómero** es el reaccionante original que se transforma químicamente en un **polímero**. Normalmente se utilizan iniciadores, catalizadores, control de pH, calor y vacío para acelerar y controlar la reacción de polimerización y así optimizar el proceso de obtención. Además, es posible que dos o más monómeros sean polimerizados juntos en las proporciones deseadas dando lugar a **copolímeros**.



CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

Fig. 1.1 Estructura de polímeros termofijos (a) y termoplásticos (b). (Referencia 3)

La **polimerización** consiste en tomar una molécula reactiva relativamente simple (por ejemplo el etileno) y provocar que estas pequeñas moléculas (monómeros), bajo condiciones adecuadas, se enlacen de manera covalente entre sí en estructuras de cadena larga (polímeros). Sin embargo, cada molécula tendrá diferente longitud y configuración. Es común hablar de un polímero como si tuviera un cierto peso molecular, pero en realidad cualquier polímero es una mezcla de grandes moléculas de diferentes tamaños. Es decir, cada muestra exhibe una cierta distribución de pesos moleculares. (Referencia 3)

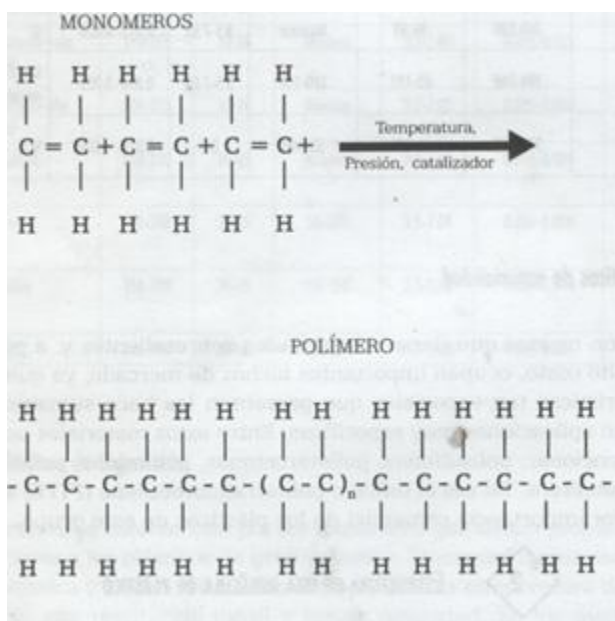
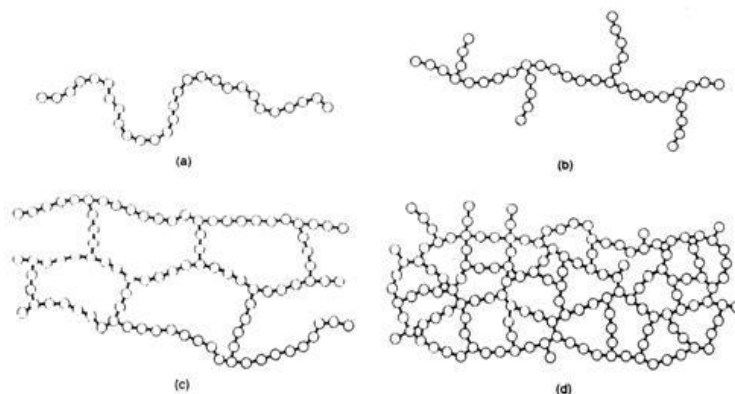


Fig. 1.2 Reacción de polimerización del etileno. (Referencia 3)

Además, cuando ocurre la polimerización, las moléculas de etileno podrían enlazarse de modo que den lugar a una sucesión simple de uniones de carbono, pero también pueden unirse dando lugar a ramificaciones. (Referencia 3)



CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

Fig. 1.3 Varias estructuras de moléculas de polímeros: (a) Lineal, característica de los termoplásticos, (b) ramificada, (c) encadenamiento transversal suelto, como en un elastómero; y (d) encadenamiento transversal firme o estructura de red, como en los termofijos.

La presencia de ramificaciones en la molécula del polietileno tendrá su efecto sobre toda una serie de propiedades. Por ejemplo : una estructura lineal permite a los segmentos del polímero juntarse más que en el caso de una estructura ramificada, lo cual da lugar a mayores fuerzas intermoleculares y, por lo tanto, será un material más denso, de mayor rigidez y dureza, que fluirá con mayor dificultad que uno ramificado.

La siguiente tabla ejemplifica el efecto que tiene la presencia de ramificaciones sobre las propiedades del polietileno.

POLIETILENO		
PROPIEDADES	LINEAL	RAMIFICADO
Densidad	Mayor	Menor
Permeabilidad a gases	Menor	Mayor
Rigidez	Mayor	Menor
Deformación	Menor	Mayor
Fluidez	Menor	Mayor
Compresibilidad	Menor	Mayor
Resistencia al impacto	Menor	Mayor

Tabla 1.3 Efecto de las ramificaciones sobre las propiedades (Referencia 3)
GRADO DE POLIMERIZACIÓN, PESO MOLECULAR Y ESTRUCTURA.

Una macromolécula producida por polimerización consiste en N meros que se repiten. Como las moléculas en un lote de material polimerizado varían en longitud, N es un promedio para el lote y su distribución estadística es normal. El valor promedio de N se llama grado de polimerización (GP). El grado de polimerización afecta las propiedades del polímero, un GP más alto incrementa la resistencia mecánica, pero también aumenta la viscosidad en el estado fluido, lo cual hace su procesamiento más difícil.

El **peso molecular** del polímero es la suma de los pesos moleculares de los meros en la molécula; es N veces el peso molecular de cada unidad que se repite. Ya que N varía para diferentes moléculas en un lote, el peso de la molécula debe interpretarse como un promedio. (Referencia 3)

EFFECTO DEL PESO MOLECULAR EN EL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS

Como ya se ha mencionado, un polímero es una mezcla de grandes moléculas de diferentes tamaños, es decir, presentan una distribución de pesos moleculares. Un polímero requiere moléculas muy grandes para proveer la cohesión molecular necesaria para lograr las mejores

CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

propiedades de uso final. Sin embargo, estas moléculas se “desenredan” y fluyen con más dificultad durante su procesamiento. Entonces, es claro que se requiere pesos moleculares suficientemente altos para que presenten buenas propiedades de uso final y, a la vez muy bajos para que puedan ser procesados sin dificultad.

Es decir un polímero involucra un compromiso entre las propiedades físicas y la procesabilidad del mismo. El peso molecular de un polímero tiene efecto significativo no sólo sobre la viscosidad, sino también sobre una serie de propiedades que son importantes en el moldeo por inyección.

A mayor peso molecular, menor cristalinidad en el material. Esta disminución de cristalinidad explica algunos de los cambios en propiedades causados por el aumento de peso molecular. La siguiente tabla menciona el efecto que tiene el aumento en peso molecular, sobre propiedades de los polímeros. (Referencia 3).

PROPIEDAD	EFEECTO
Cristalinidad	Disminuye
Densidad	Disminuye
Rigidez	Disminuye
Tracción	Aumenta
Elongación	Aumenta
Fluencia	Disminuye
Resistencia al impacto	Aumenta
Resistencia a la fisuración por tensiones	Aumenta

Tabla 1.4 Efecto del aumento en peso molecular sobre las propiedades (Referencia 3).

1.2.5 COMPORTAMIENTO TÉRMICO DE LOS POLÍMEROS

Unas de las propiedades más importantes y características que definen a un polímero (y por ende a un adhesivo) es su temperatura de transición vítrea, el valor de la temperatura de transición vítrea está directamente relacionado con las propiedades mecánicas (resistencia, dureza, fragilidad, elongación...) que el polímero (adhesivo) presenta a la temperatura que se encuentra expuesta, ¿nunca has observado porque ciertos plásticos en invierno se vuelven duros y quebradizos?, la explicación se encuentra en su temperatura de transición vítrea.

La temperatura de transición vítrea (T_g) se define como la temperatura a la cual las propiedades mecánicas de un plástico / adhesivo cambian radicalmente debido a los movimientos internos de las cadenas poliméricas que componen al plástico / adhesivo.

En la primera parte de la definición, identificamos a la T_g como la temperatura a la cual las propiedades mecánicas del adhesivo cambian radicalmente, por lo que la temperatura de transición vítrea nos define indirectamente el rango de temperaturas en el cual puede trabajar o estar expuesto el adhesivo/plástico, por ello la T_g también es conocida como la temperatura de trabajo y el conocimiento de su valor es de vital importancia en la fase de diseño.

En la segunda parte de la definición, identificamos la causa de la T_g por la facilidad o restricción de los movimientos de las cadenas poliméricas que ocurren dentro del plástico/adhesivo. Cuando el adhesivo o plástico se encuentra expuesto a unas temperaturas inferiores a su T_g , el movimiento de las cadenas poliméricas disminuye haciendo que el material adquiera un comportamiento rígido y quebradizo, a temperaturas superiores a su T_g el movimiento de las cadenas poliméricas aumenta haciendo que el material adquiera un comportamiento elástico.

A continuación de describen características del comportamiento térmico de los polímeros.

- Las propiedades de los polímeros dependen de la temperatura.
- Al aumentar la temperatura se descomponen los enlaces secundarios (débiles) que unen las cadenas.
- A una cierta temperatura, dejan de comportarse como sólidos elásticos y se comportan como una goma (Temperatura de Transición Vítrea, T_g).
- A una temperatura mayor, los termoplásticos se funden en forma de líquido (Temperatura de Fusión, T_m).
- Los termoestables no tienen T_m (se degradan).
- Cuanto mayor es el grado de cristalización, la T_g y la T_m están más cercanas.

Comportamiento térmico de los termoplásticos

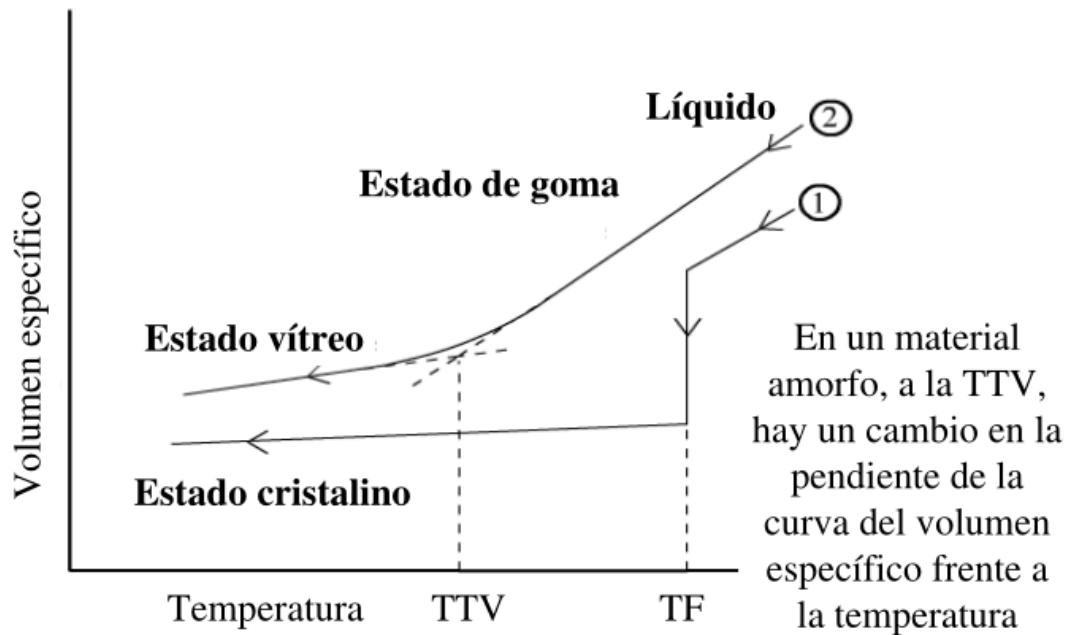


Fig 1.4 Diagrama Volumen específico – Temperatura para polímeros termoplásticos

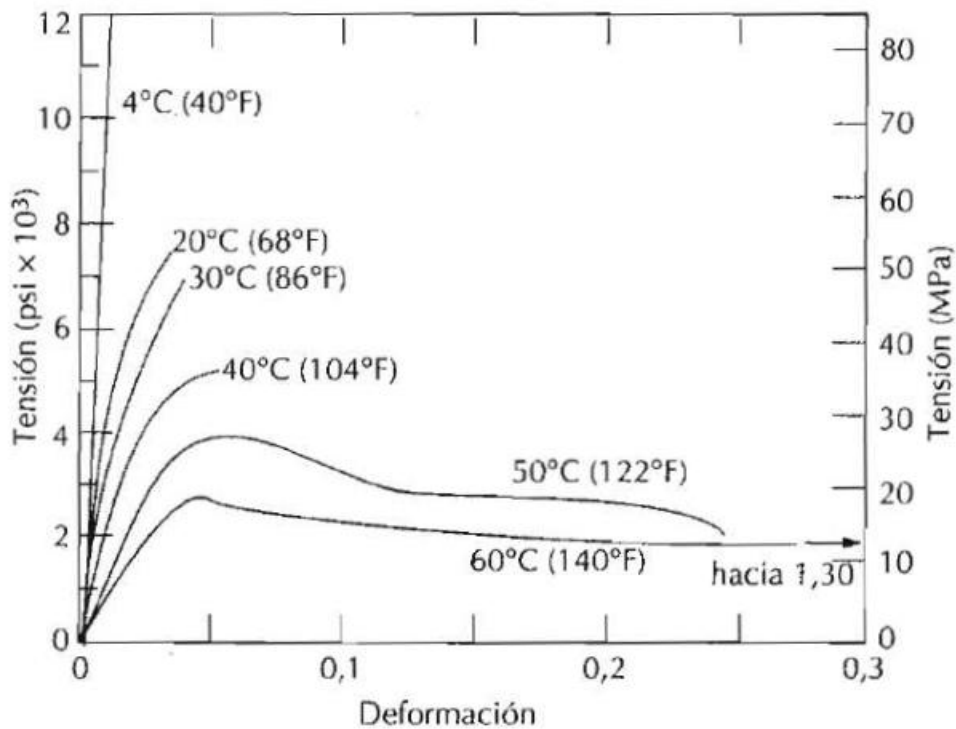
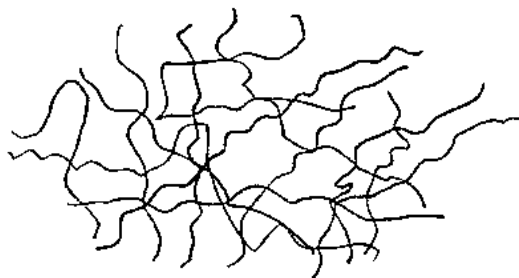


Fig 1.5 Diagrama tensión –deformación para polímeros termoplástico

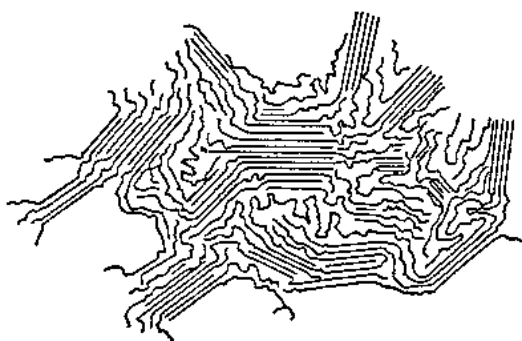
1.2.6 CRISTALINIDAD

Los polímeros pueden tener dos estructuras, la amorfa y la cristalina, aunque la tendencia a cristalizar es mucho menor que para los metales o cerámicos. No todos los polímeros pueden formar cristales. Para aquellos que sí pueden, el **grado de cristalinidad** (la proporción de material cristalizado en la masa) es siempre menor que 100%. Conforme aumenta la cristalinidad en un polímero se incrementa

- La densidad
- La rigidez, la resistencia y la tenacidad
- La resistencia al calor
- Si el polímero es transparente en el estado amorfo se convierte en opaco cuando cristaliza parcialmente



Polímero de estructura amorfa



Polímero de estructura cristalina

Fig.1.6 Estructura amorfa-cristalina de un polímero (Referencia 3)

Los polímeros lineales consisten en largas moléculas con miles de meros repetidos. La cristalización en estos polímeros involucra el plegado de estas moléculas sobre sí mismas hacia atrás y hacia adelante para lograr un arreglo muy regular de los meros. La región cristalizada se llama **cristalita**. Debido a las tremendas longitudes de en una sola molécula (en escala atómica), puede participar en más de una cristalita. También se pueden combinar más de una molécula en una sola región cristalina. Las cristalitas adoptan la forma de laminillas, como se ilustra en la imagen y se mezclan aleatoriamente con el material amorfo.

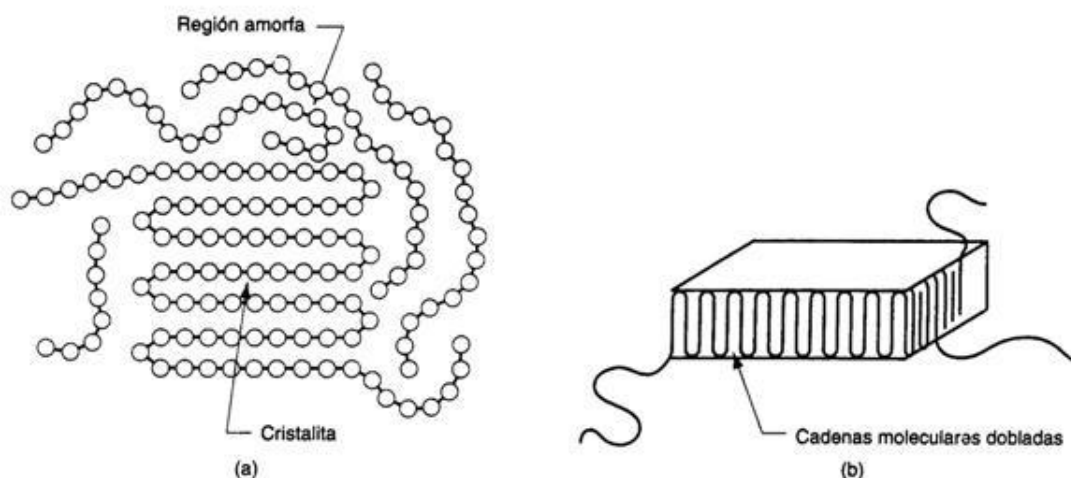


Fig. 1.7 Representación de arreglos moleculares en el cristal "laminillas" (Referencia 3).

EFFECTO DE LAS CRISTALINIDAD EN PROPIEDADES

Es importante considerar las diferencias en propiedades entre plásticos cristalinos y amorfos, ya que estas tendrán efecto e el comportamiento de los materiales durante el moldeo en el proceso de inyección.

Propiedades	Semi cristalinos	Amorfos
Densidad	Aumenta con la cristalinidad	Menor que la del material cristalino
Dureza	Mayor	Menor
Fusión o reblandecimiento	Punto de fusión definido	Se reblandecen en un intervalo de temperaturas
Rigidez	Mayor	Menor
Contracción	Mayor	Menor
Permeabilidad a gases y disolventes	Menor	Mayor
Temperatura de deformación bajo carga	Mayor	Menor
Resistencia al impacto	Menor	Mayor

Tabla 1.5 Propiedades de plásticos cristalinos y amorfos (Referencia 3).
COMO REGULAR LA CRISTALINIDAD EN UN PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

Durante el moldeo por inyección de plástico existe una serie de factores , tales como :

- Temperatura de molde
- Método de enfriamiento al extraer la pieza
- Tiempo del ciclo
- Presiones de inyección y remanente

Todo esto influye en el porcentaje de cristalinidad que tendrá el material polimérico.

Esto es, entre más alta sea la temperatura del molde, ocurrirá mas movimiento molecular y de los segmentos de las cadenas, lo cual aumenta la probabilidad de que las moléculas se ordenen y solidifiquen en un estado cristalino, incrementándose la cristalinidad. Es decir, temperaturas altas del molde y del fundido aumentan la probabilidad de que ocurra una mayor cristalinidad, ya que dará lugar a un enfriamiento más lento.

Por otra parte, la presión aumenta la rapidez de cristalización, ya que obliga a los segmentos a aproximarse más entre sí, creando así regiones ordenadas. (Referencia 3).

1.2 MÁQUINAS INECTORAS DE PLÁSTICO

1.2.1 COMPONENTES DE UNA MÁQUINA INECTORA

En una maquina inyectora para termoplásticos pueden identificarse diferentes partes fundamentales, las cuales normalmente se agrupan dentro de las siguientes unidades

- Unidad de cierre

Consta de los dispositivos necesarios para la colocación, accionamiento y funcionamiento de las dos mitades del molde

- Unidad de inyección

Comprende las partes necesarias de la máquina para la carga, plastificación (fusión) e inyección del plástico

- Unidad de potencia

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

- Unidad de control

Es la parte necesaria de la máquina para que se realice el proceso de una forma predeterminada y pueda variarse a voluntad. El sistema de control está ligado al sistema de potencia, a través del cual las distintas señales se convierten en movimientos de las unidades de inyección y cierre (Referencia 2)

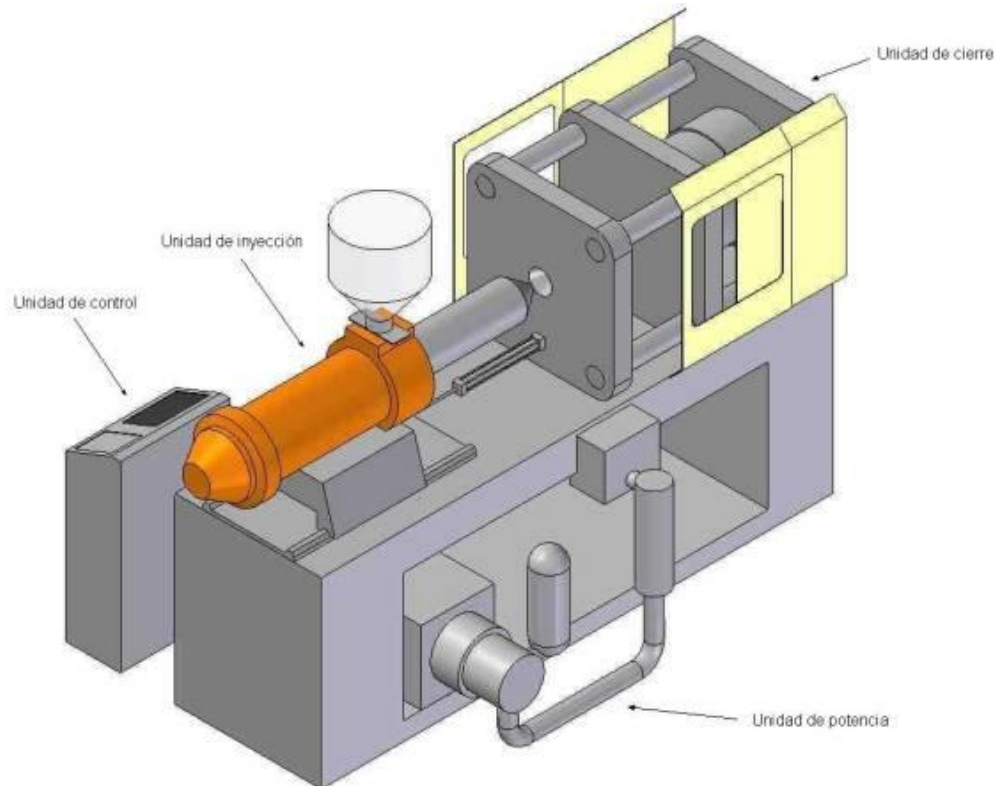


Fig. 1.8 Composición de una máquina inyectora (Referencia 2)

1.3.2 UNIDAD DE CIERRE

Su función principal es sujetar el molde de inyección, suministrar el movimiento y la fuerza necesaria para mantener cerradas y abiertas las dos mitades del molde. Sus principales partes son las columnas guías, placas porta moldes fijas y móviles, y el mecanismo para apertura y cierre del molde.

Placa fija frontal

Esta placa se encuentra fija (no se mueve) a la base de la máquina, ocupando normalmente la parte central de la misma y conecta, por un lado, la unidad de inyección y, por otro lado, la unidad de cierre. Esta placa es la que soporta una de las mitades del molde

Placa móvil

La placa móvil soporta la otra mitad del molde. Está se mueve axialmente (hacia delante y atrás) sobre las columnas guía, permitiendo que el molde cierre y abra.

Placa fija trasera

Esta placa soporta el mecanismo de cierre de esta unidad y es sobre la cual se ejerce la fuerza de cierre para cerrar el molde

Mecanismos de cierre

Existen básicamente dos diseños diferentes en los sistemas de cierre utilizados:

- Sistema mecánico con palancas acodadas
- Sistema hidráulico

Por razones de costo, frecuentemente se utiliza un sistema mecánico con base en palancas acodadas, para máquinas de hasta 10,000 kN de fuerza de cierre, mientras que para máquinas mayores se prefiere el uso del sistema de cierre hidráulico.

Sistema de cierre mecánico con palancas acodadas

Está basado en palancas articuladas. Este sistema puede dividirse en simples y dobles, dependiendo del número de palancas que utilice. El sistema de palancas articuladas simples es típico para máquinas de hasta 500 Kn de fuerza de cierre. El sistema de palancas articuladas dobles se prefiere en máquinas entre 2500 y 10,000 kN de fuerza de cierre.

En general, este sistema presenta las ventajas de ser más económico en tiempo y costo que el hidráulico puro. Las palancas multiplican la fuerza suministrada por el cilindro y permite asegurar la fuerza de cierre una vez extendidas las palancas, mientras que en el sistema hidráulico requieren aplicarse altas presiones por un tiempo mayor.

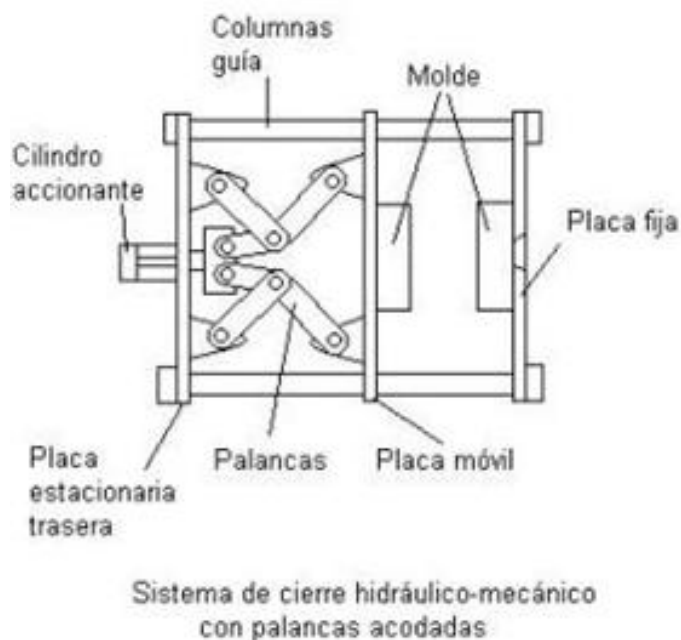


Fig. 1.9 Partes principales que forman el sistema de cierre hidráulico con palancas acodadas. (Referencia 2)

Sistema de cierre hidráulico

La característica principal de este sistema es el uso de un cilindro hidráulico para ejercer fuerza de cierre. El cilindro es el que ejerce las funciones de apertura y cierre. El movimiento de cierre es realizado por cilindros pequeños de alta velocidad, ya sea por uno central o por dos laterales conectados de manera directa con la bomba hidráulica.

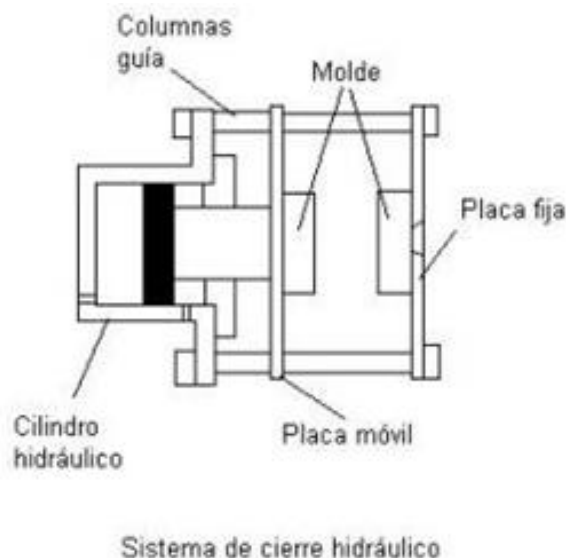


Fig. 1.10 Partes principales que forman el sistema de cierre hidráulico.(Referencia 2)

1.3.3 UNIDAD DE INYECCIÓN

La unidad de inyección realiza las funciones de cargar y plastificar el material sólido mediante el giro del tornillo (husillo), mover el tornillo axialmente para inyectar el material plastificado hacia las cavidades del molde y mantenerlo bajo presión hasta que sea eyectado.

Esta sección es muy similar al proceso de extrusión, destacando como principal diferencia que en inyección el tornillo tiene una acción recíprocante o alternativa, además de girar para fundir el plástico se mueve de manera axial al actuar como pistón durante la etapa de inyección.

La unidad de inyección consta de un barril (cilindro) de acero capaz de soportar altas presiones, este va cubierto con bandas calefactoras para calentar y fundir el material mientras avanza por el tornillo. El calentamiento del tornillo se hace por zonas y el número de zonas dependerá del tamaño del barril (normalmente se divide en tres). Dentro del barril se encuentra un tornillo de acero muy duro, el cual se encarga de recibir el plástico, fundirlo, mezclarlo y alimentarlo en la parte delantera, hasta que se junta la cantidad suficiente para luego inyectarlo hacia el molde.

Existen tres tipos importantes de unidades de inyección:

- Unidades de pistón de una fase
- Unidades de dos fases, pistón-tornillo
- Unidades en línea con tornillo alternativo

Actualmente, la mayoría de las máquinas inyectoras se fabrican con el sistema de tornillo alternativo llamado también recíprocante, por que alterna las funciones de giro y de inyección.

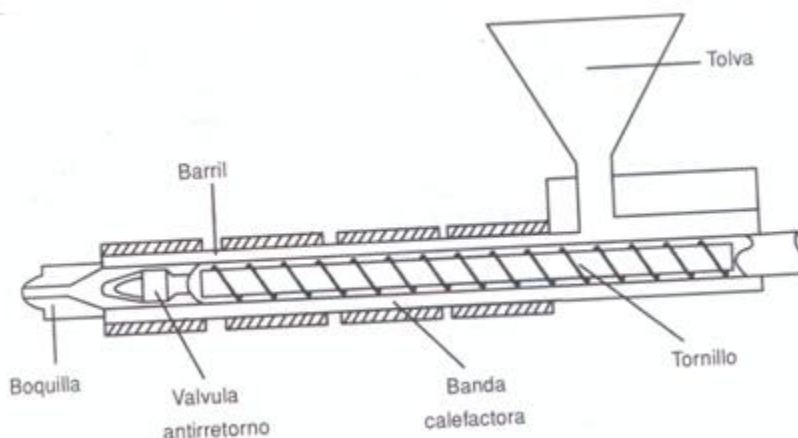


Fig.1.11 Unidad de inyección con tornillo alternativo (Referencia 2)

Las principales funciones de este tipo de unidades de inyección son:

- Moverse para acelerar o retirar la boquilla hacia el bebedero del molde en la unidad de cierre.
- Generar la presión requerida entre la boquilla y el bebedero
- Girar el tornillo durante la etapa de alimentación
- Mover de manera axial el tornillo durante la etapa de inyección
- Mantener la presión generada durante la inyección

Una gran parte de la energía necesaria para la plastificación del material se debe al calor de fricción, suministrado al material por el motor del tornillo a través del giro del mismo. Por lo tanto, durante la etapa de alimentación se consume una gran cantidad de energía, requiriendo un motor adecuado para generar el alto torque inicial. (Referencia 2)

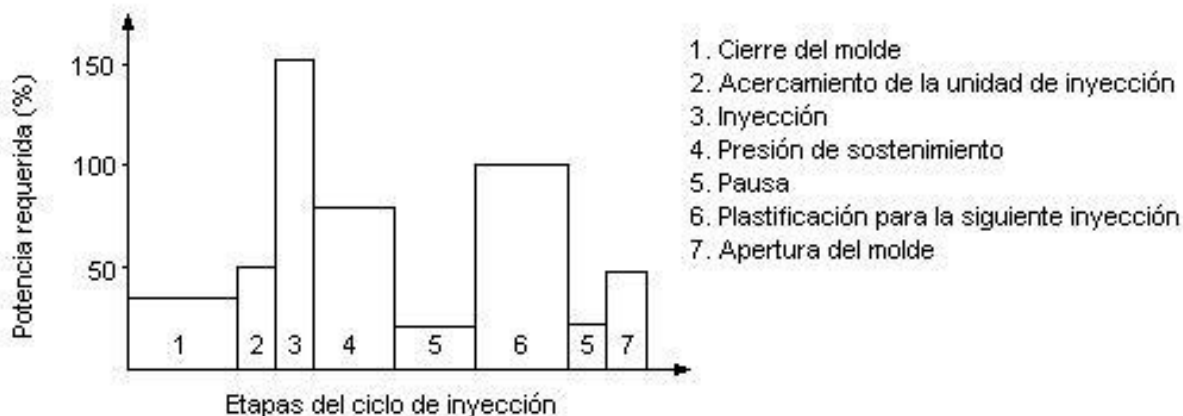


Fig. 1.12 Consumo de potencia de los principales movimientos en un ciclo de inyección típico (Referencia 2)

1.3.4 UNIDAD DE POTENCIA

Los principales tipos de sistemas de potencia para la unidad de inyección se pueden clasificar por:

- Motor eléctrico con unidad reductora de engranes
- Motor hidráulico con unidad reductora de engranes
- Sistema hidráulico directo

Sistema de potencia eléctrico

El sistema de potencia eléctrico se utiliza generalmente en maquinas relativamente pequeñas. Este sistema puede emplearse tanto para el giro del tornillo, como para la apertura y cierre del molde en la unidad de cierre.

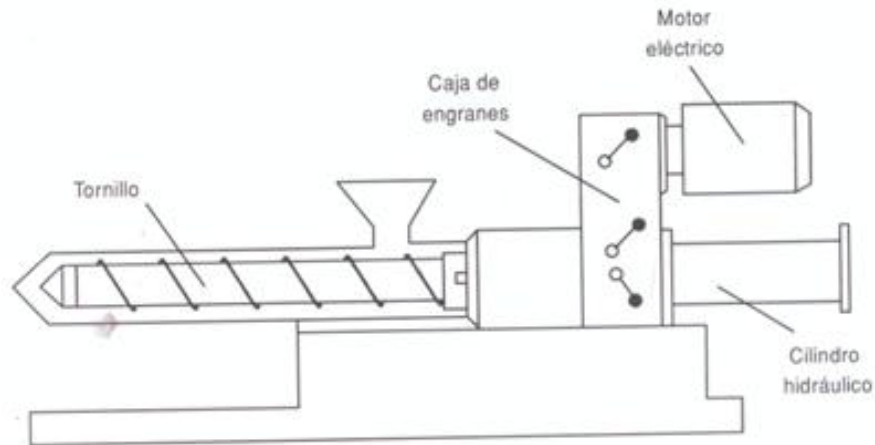


Fig. 1.13 Diseño típico de un sistema de potencia eléctrico para la rotación del tornillo (Referencia 2)

Sistema de potencia hidráulico

A diferencia de los motores eléctricos, los motores hidráulicos son los más utilizados y se basan en la transformación de la potencia hidráulica del fluido en potencia mecánica, similar al sistema utilizado en bombas hidráulicas.

Las ventajas del motor hidráulico con respecto al eléctrico pueden resumirse principalmente en:

- Permite variación de velocidades, lo cual logra de manera sencilla con el control del volumen del fluido
- Se alcanza una relación casi lineal entre el torque y la velocidad. (evitando daños en los husillos)
- Permite inicios y paros rápidos debido al pequeño momento de inercia
- Permite relaciones bajas de peso-potencia, lo que favorece el alcance de altas velocidades del material durante el proceso.

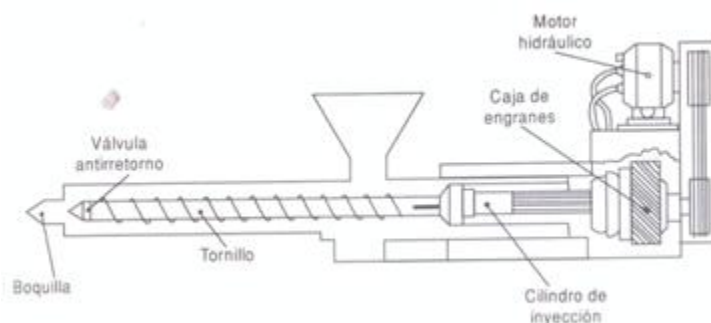


Fig. 1.14 Diseño típico de un sistema de potencia hidráulica para la rotación del tornillo (Referencia 2)

1.3.5 TIPOS DE MÁQUINAS

Máquinas de inyección con pistón

Este fue el sistema predominante hasta 1955. Dicho sistema consta de un barril que se llena con material plástico, el cual es fundido mediante bandas calefactoras con resistencias localizadas alrededor del barril. Posteriormente el material fundido es forzado a través de un distribuidor mediante el movimiento axial de un pistón, inyectando así dicho material dentro del molde.

Máquinas con sistema de pre plastificado

En el sistema de inyección con pre plastificación o de dos etapas, el calentamiento del material y el desarrollo de la presión necesaria para llenar el molde están aislados uno del otro, es decir, son independientes, a diferencia del sistema de inyección de fase única en el cual ambas operaciones se realizan en la misma fase. En los sistemas con pre plastificación, el material se calienta a temperatura de moldeo durante la primera etapa del proceso, después pasa a un receptáculo desde el cual es forzado a entrar en una segunda etapa, la primera etapa es de calentamiento o fusión y la segunda de presión o inyección

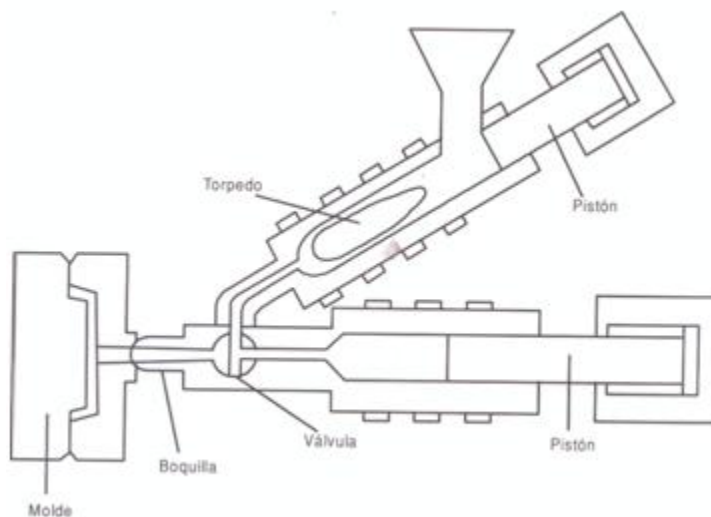


Fig. 1.15 Máquina con sistema de preplastificación con pistón. (Referencia 2)

CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

Las ventajas de este sistema son:

- Permite el establecimiento de condiciones optimas de cada una de las dos etapas
- Mayor libertad de diseño
- Mayor control de la temperatura, presión y volumen de inyección
- Mayores velocidades de inyección
- La velocidad de desplazamiento dentro del molde es potencialmente mayor

Preplastificación con pistón

En este sistema, el material es fundido en un barril de plastificación, similar al de una sola etapa, para ser transferido luego por el movimiento del pistón a una segunda cámara con pistón en la cual se acumula el material fundido hasta alcanzar la cantidad requerida. Posteriormente una válvula giratoria desconecta ambas cámaras para conectar esta última con el molde.

Las principales ventajas de este tipo de maquinas son:

- Fundido homogéneo
- Aplicación directa de la presión sobre el material fundido
- Mayores velocidades de inyección
- Control preciso de la cantidad de material inyectado

Desventaja de este tipo de maquinas

- La principal desventaja de usar este tipo de maquinaria radica en que hay materiales muy sensibles térmicamente (por ejemplo, PVC) para los cuales no es aconsejable este método.

Preplastificación con tornillo

Este tipo de maquinas utilizan un tornillo giratorio para transportar y calentar el material plástico. El movimiento de giro crea una turbulencia beneficiosa en el material contenido en los canales del tornillo, facilitando así la transferencia de calor desde la pared del barril.

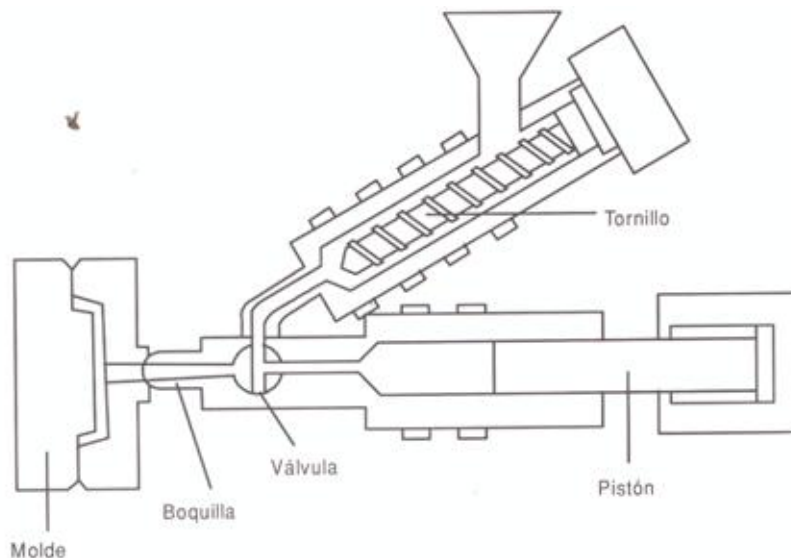


Fig. 1.16 Máquina con sistema de preplastificación con tornillo. (Referencia 2).

Ventajas:

- Se logra una temperatura más uniforme que con otros sistemas
- Control de la temperatura en forma precisa
- Mayor velocidad para fundir el material plástico
- Buena velocidad de inyección
- Obtención de mezclas homogéneas del plástico con otros aditivos

Máquina de inyección con tornillo alternativo

Este tipo de máquinas como su nombre lo indica se caracterizan por contar con un tornillo alternativo, el cual alterna su función de plastificar e inyectar el material fundido. El movimiento de giro del tornillo transporta al material hacia adelante mientras va fundiendo, al tiempo que gira, retrocede para dejar espacio, delante de él, al material fundido. Cuando se tiene un volumen necesario para la inyección, el tornillo deja de girar y se mueve axialmente hacia adelante, actuando como pistón para inyectar el material dentro del molde.

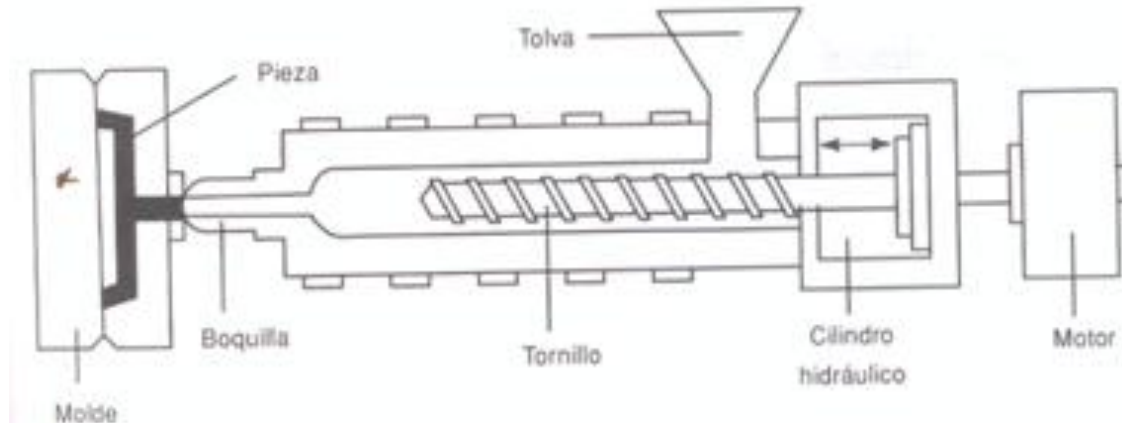


Fig. 1.17 Sistema de inyección con tornillo alternativo. (Referencia 2).

Ventajas:

- Es el sistema más utilizado hoy en día
- Funde el material aun más rápido que los sistemas anteriores
- Mayor control de la temperatura y la cantidad de material a inyectar
- Obtención de un fundido homogéneo

Máquinas para inyección multicolor

Este tipo de maquinas pueden clasificarse dentro de dos categorías:

- Diseño horizontal.- con varias unidades de inyección en paralelo una con otra
- Diseño vertical.- con unidad de empalme vertical y unidades de inyección laterales

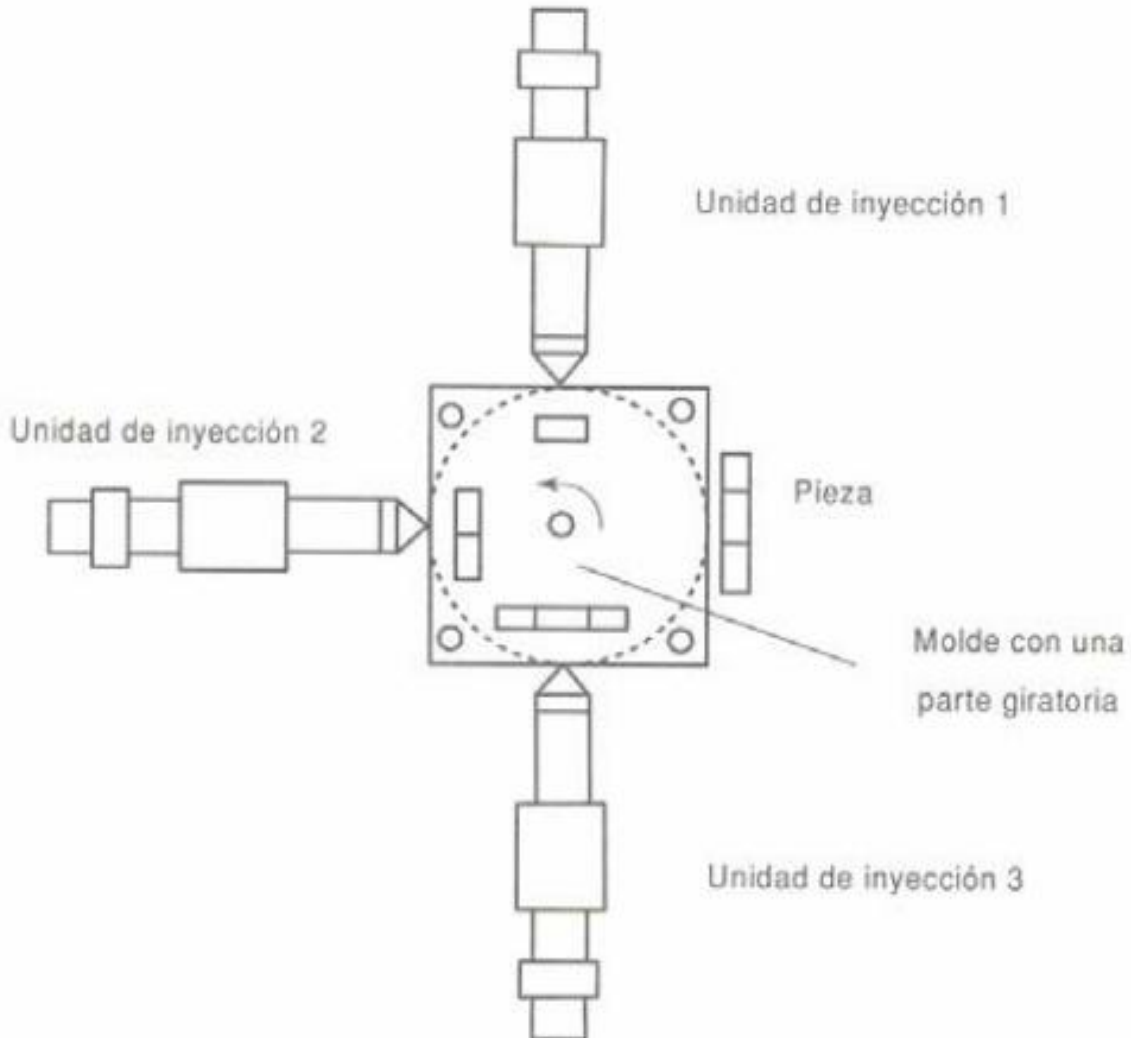


Fig. 1.18 Diseño vertical de una máquina de inyección multicolor (Referencia 2)

Máquinas giratorias

En esta máquina se emplean diversos moldes para la reducción del tiempo del ciclo, y así no depender netamente del proceso de enfriamiento del molde, dichos moldes son empleados en una unidad giratoria (horizontal o vertical). Cada uno de estos moldes se sitúa frente a la unidad de inyección para realizar el llenado del molde e inmediatamente gira la mesa para proceder al llenado siguiente. Entre tanto, el primero se está enfriando y en el momento debido se abrirá y se extraerá la pieza, sin perturbar los sucesivos procesos de inyección.

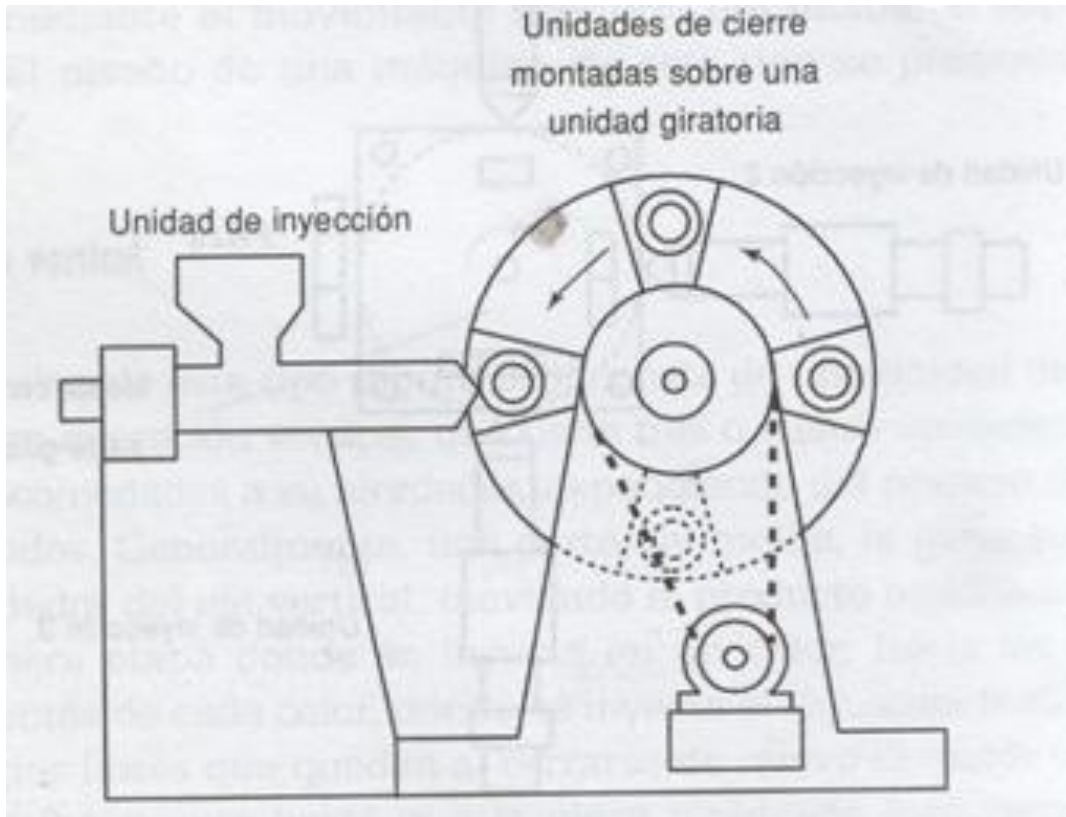


Fig. 1.19 Diseño de una máquina de inyección giratoria. (Referencia 2)

Máquinas para la inyección de espumas rígidas

Este tipo de máquinas se utilizan para la elaboración de productos que requieren alta rigidez, tales como carcasas para equipo electrónico, contenedores para alimentos, accesorios para lavadoras, etcétera.

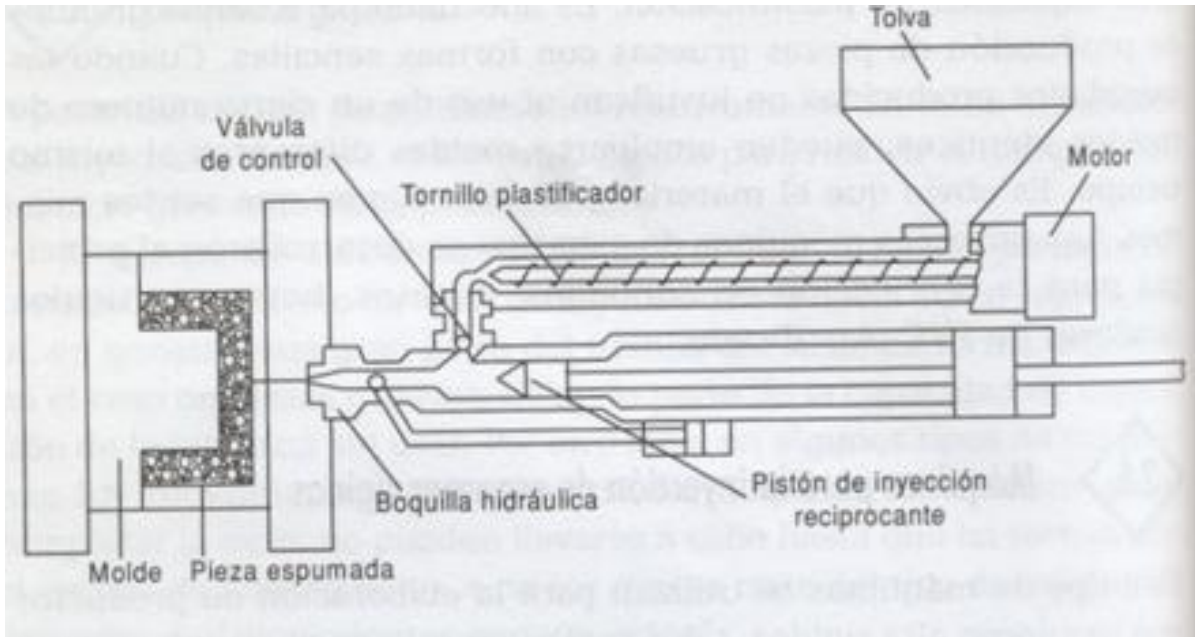


Fig. 1.20 Máquina para la inyección de espumas rígidas. (Referencia 2)

Máquinas de coinyección

Esta técnica involucra el uso de dos o más unidades de inyección para inyectar cada capa con el mismo o diferente tipo de material. Las piezas obtenidas mediante este proceso tienen mayor resistencia a la flexión, además de que no presentan rechupes en piezas gruesas. Esta técnica consiste en coinyectar concéntricamente las dos corrientes de fundido, utilizando una válvula especial.

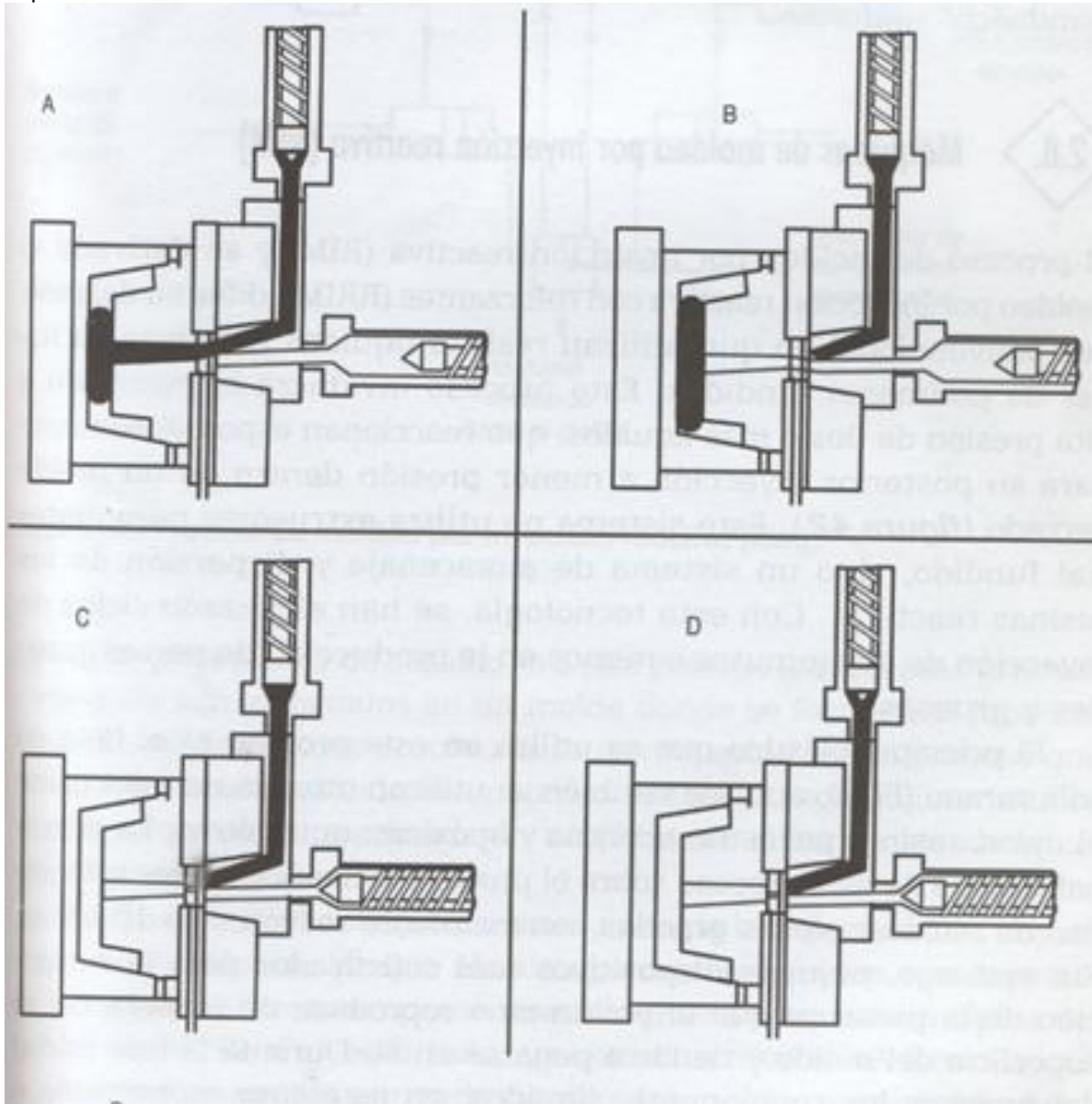


Fig. 1.21 Proceso de coinyección o “sándwich” (Referencia 2)

En el primer paso (parte A) del ciclo de trabajo, el molde se encuentra cerrado, mientras el tornillo de la primera unidad inyecta una parte del material a través de la válvula giratoria. Posteriormente en el segundo paso (parte B), la válvula bloquea el paso de la primera unidad de inyección y

CAPÍTULO 1, ANTECEDENTES.

permite el paso de la masa expandible acumulada en la segunda unidad hacia el molde. En esta etapa del ciclo se llena completamente la cavidad a presión, mientras que en el tercer paso (parte C) la válvula abre de nuevo, cubriendo así totalmente el núcleo espumado para evitar que sea visible en la pieza final. Por último (parte D), la válvula bloquea el paso a ambas unidades, mientras actúa la fuerza de cierre sobre el molde.

Máquinas con diferentes arreglos en sus unidades

Las posiciones relativas de las distintas unidades de la maquina pueden variar de unas maquinas a otras, si bien la posición normal es la que tiene las unidades de cierre y de inyección en posición horizontal.

Las diferentes posiciones de las máquinas toman en cuenta aspectos tales como:

- Forma de trabajo
- Facilidad de manejo
- Accesibilidad a los dispositivos de la maquina
- Facilidad de montaje
- Accesibilidad para el mantenimiento
- Superficie de suelo ocupada

Para especificar las diferentes posiciones constructivas de las maquinas se toma en cuenta la unidad e cierre y la de inyección. Las cuatro variaciones principales que se diferencian por la permutación de estas unidades en posición vertical y horizontal son las siguientes:

- Inyección y cierre horizontal
- Cierre horizontal con inyección vertical
- Cierre e inyección verticales
- Cierre vertical e inyección horizontal

1.4 MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

Normalmente los moldes para inyección se elaboran en acero, aunque también se utilizan aleaciones de berilio-cobre y otros materiales no ferrosos. Las partes principales de un molde de inyección de plástico son las siguientes:

El diseño del molde de inyección determina el tamaño, forma, dimensiones, acabado y, a veces, las propiedades físicas del producto final, por lo que es conveniente tener en cuenta una serie de aspectos que contribuirán a la obtención de un mejor desempeño del mismo. Los principales aspectos por considerar son:

- Conocer perfectamente el plano de la pieza por inyectar
- Establecer líneas de partición, lugar de la entrada y de botadores
- Aplicación del producto moldeado
- Revisar las dimensiones y tolerancias de la pieza
- Conocer el tamaño y peso de la pieza, así como el numero de cavidades, basándose en el tamaño de la maquina y las exigencias de fabricación o de costos
- Determinar el tipo de máquina y su efecto en el diseño del molde

- Tener en cuenta la contracción, características de flujo, abrasión y requerimientos de calentamiento y enfriamiento del material a inyectar.

1.4.1 TIPOS DE MOLDES

Los tipos de moldes usados con más frecuencia son los siguientes:

Molde de dos placas

Las cavidades del molde se montan en una placa y los machos (o núcleos) en otro; el bebedero central va situado en la mitad fija del molde y alimenta directamente al sistema de canales de alimentación en moldes de cavidades múltiples o sirve de entrada directa en el cetro en moldes de una sola cavidad. Normalmente, la mitad móvil del molde contiene los machos (o núcleos) y el mecanismo extractor y, en la mayor parte de los casos, los canales de alimentación. Este es el diseño básico del moldeo por inyección y todos los demás derivan de este esquema fundamental. (Referencia 2).

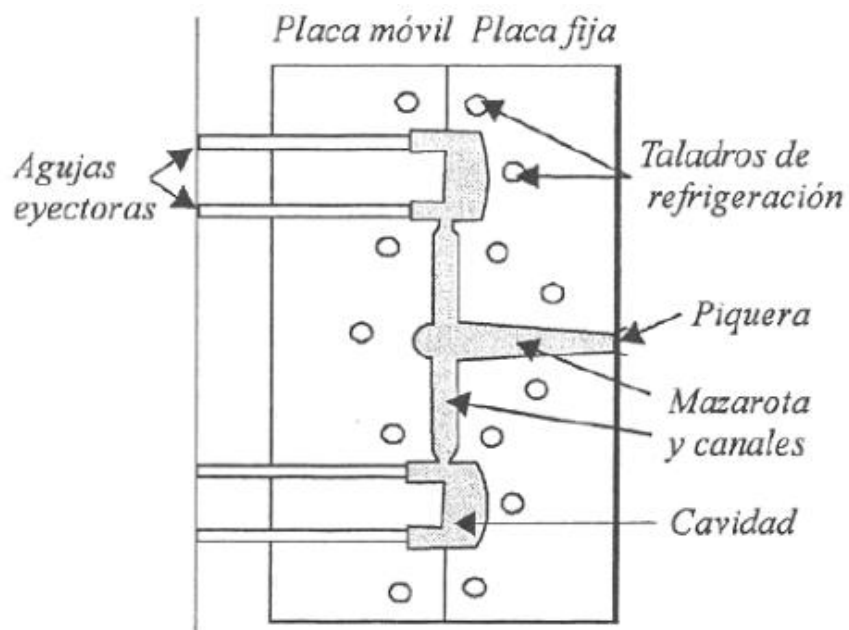


Fig 1.22 Molde de dos placas.

Molde de tres placas

Este tipo de molde está formado por tres placas: uno estacionario o fijo, que está unida a la placa porta moldes de la maquina, el cual normalmente contiene la vena y la mitad de los canales de alimentación. Una segunda placa intermedio (o flotante), el cual contiene la otra mitad de los canales de alimentación, las entradas y las cavidades. Por último, un tercer plato móvil, que contiene la parte macho o núcleos del molde, así como el sistema expulso de la pieza. (Referencia 4)

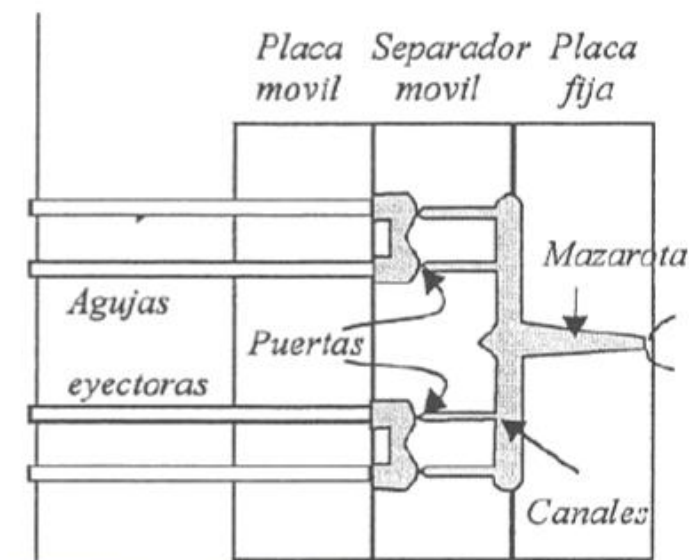


Fig 1.23 Molde de tres placas.

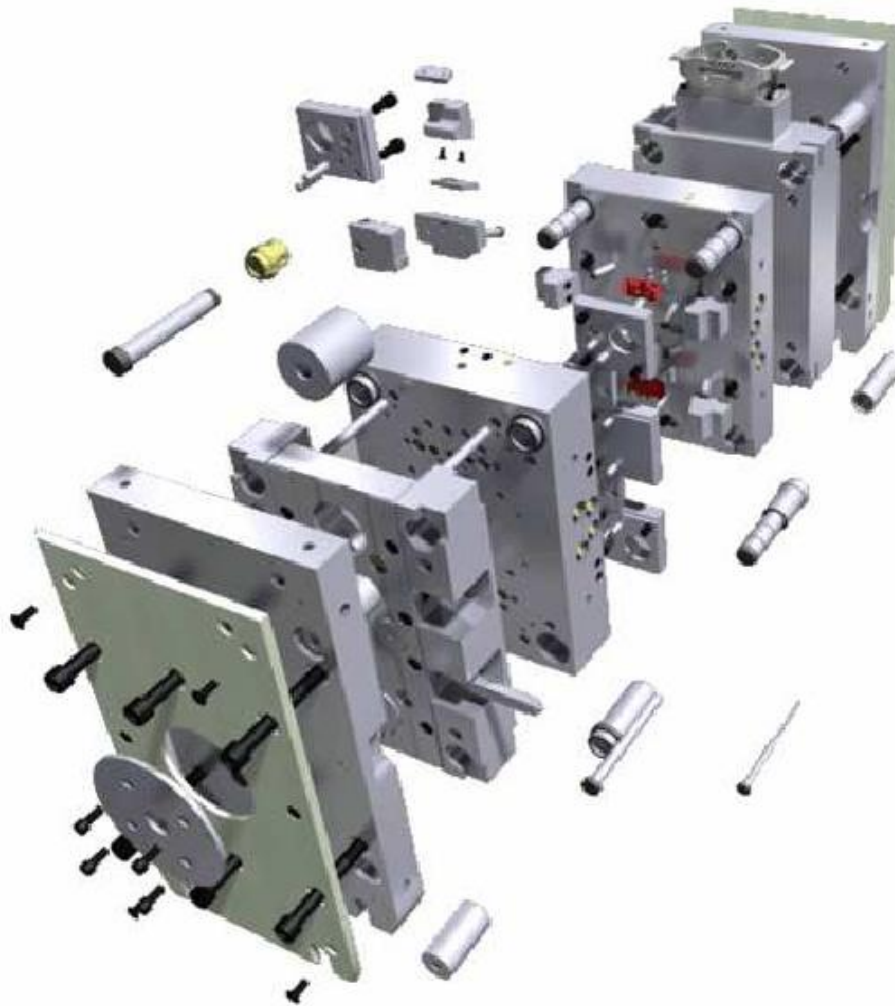
Moldes de canales calientes

Los moldes de canales calientes se utilizan para mantener el plástico en el estado fundido hasta la misma entrada de la cavidad. Este procedimiento también se llama moldeo sin canales o de colada caliente, cuando se abre el molde, la entrada que acaba de endurecerse, queda libre del sistema de canales de alimentación, los cuales todavía siguen calientes. De este modo, la pieza sale del molde libre de las entradas y canales de alimentación lo cual permite un moldeo automático.

Este tipo de moldes, mantiene caliente ya sea la placa que porta los canales o los canales mismos. La temperatura de los canales calientes debe controlarse perfectamente y, en moldes de grandes superficies, es fundamental el empleo de varios dispositivos de calentamiento con voltaje variable, con objeto de poder mantener las temperaturas correctas en todas las zonas. Debe instalarse dispositivos indicadores que llamen la atención cuando ocurre una variación indebida de calor, para evitar que el material solidifique, se tire o gotee. (Referencia 4).

Molde con canales aislados

Este tipo de molde es una variación del diseño de canales calientes. En este diseño la capa externa del material en el canal actúa como aislante para mantener fundido el material, que fluye por el centro del canal. En moldes, se utilizan con gran éxito multicavidades con entradas centrales. El diámetro de los canales llega a ser casi el doble que el de los canales de moldes convencionales



Capítulo 2.

Consideraciones teóricas para el diseño de moldes.

2.1 Definición CAD/CAM/CAE.

2.2 Componentes de un molde de inyección de plástico.

2.3 Diseño de moldes de inyección de plásticos.

2.1 CAD/CAM/CAE.

DEFINICIONES.

El diseño y la fabricación asistidos por ordenador (CAD-CAM) es una disciplina que estudia el uso de sistemas informáticos como herramienta de soporte en todos los procesos involucrados en el diseño y la fabricación de cualquier tipo de producto. Esta disciplina se ha convertido en un requisito indispensable para la industria actual que se enfrenta a la necesidad de mejorar la calidad, disminuir los costos y acortar los tiempos de diseño y producción. La única alternativa para conseguir este triple objetivo es la de utilizar la potencia de las herramientas informáticas actuales e integrar todos los procesos, para reducir los costos (de tiempo y dinero) en el desarrollo de los productos y en su fabricación. (Referencia 15)

El uso cooperativo de herramientas de diseño y de fabricación ha dado lugar a la aparición de una nueva tecnología denominada "Fabricación integrada por ordenador", como el último escalón de automatización hacia el que todas las empresas deben orientar sus esfuerzos. Esta tecnología consiste en la gestión integral, además de los procesos de diseño y fabricación, los procesos administrativos y de gestión de la empresa lo que rebasa el objetivo más modesto de esta asignatura que se centra en los procesos de diseño y fabricación, básicos para la gestión integrada.

CAD es el acrónimo de "Computer Aided Design" o diseño asistido por computadora. Se trata de la tecnología implicada en el uso de ordenadores para realizar tareas de creación, modificación, análisis y optimización de un diseño. De esta forma, cualquier aplicación que incluya una interfaz gráfica y realice alguna tarea de ingeniería se considera software de CAD. Las herramientas de CAD abarcan desde herramientas de modelado geométrico hasta aplicaciones a medida para el análisis u optimización de un producto específico. Entre estos dos extremos se encuentran herramientas de modelado y análisis de tolerancias, cálculo de propiedades físicas (masa, volumen, momentos, etc.), modelado y análisis de elementos finitos, ensamblado, etc. La función principal en estas herramientas es la definición de la geometría del diseño (pieza mecánica, arquitectura, circuito electrónico, etc.). (Referencia 15)

La geometría de un objeto se usa en etapas posteriores en las que se realizan tareas de ingeniería y fabricación. De esta forma se habla también de la ingeniería asistida por Ordenador o Computer Aided Engineering (CAE) para referirse a las tareas de análisis, evaluación, simulación y optimización desarrolladas a lo largo del ciclo de vida del producto. De hecho, este es el mayor de los beneficios de la tecnología CAD, la reutilización de la información creada en la etapa de síntesis en las etapas de análisis y también en el proceso CAM. (Referencia 15)

El término CAD se puede definir como el uso de sistemas informáticos en la creación, modificación, análisis u optimización de un producto.

El término CAM se puede definir como el uso de sistemas informáticos para la planificación, gestión y control de las operaciones de una planta de fabricación mediante una interfaz directa o indirecta entre el sistema informático y los recursos de producción. Así pues, las aplicaciones del CAM se dividen en dos categorías:

- **Interfaz directa:** Son aplicaciones en las que el ordenador se conecta directamente con el proceso de producción para monitorizar su actividad y realizar tareas de supervisión y control. Así pues estas aplicaciones se dividen en dos grupos:
 1. **Supervisión:** Implica un flujo de datos del proceso de producción al computador con el propósito de observar el proceso y los recursos asociados y recoger datos.

- 2. Control:** Supone un paso más allá que la supervisión, ya que no solo se observa el proceso, sino que se ejerce un control basándose en dichas observaciones.
- **Interfaz indirecta:** Se trata de aplicaciones en las que el ordenador se utiliza como herramienta de ayuda para la fabricación, pero en las que no existe una conexión directa con el proceso de producción. (Referencia 15)

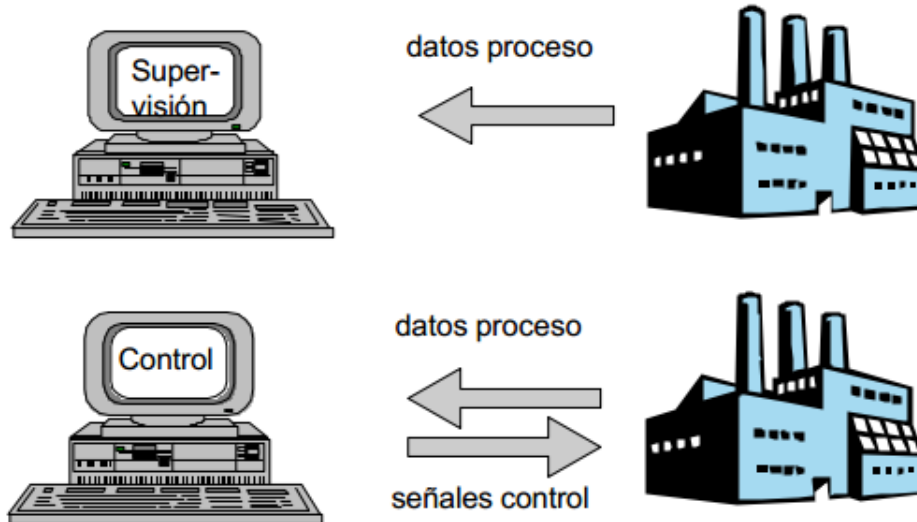


Fig. 2.1 Interfaz directa CAD/CAM (Referencia 15)

Una de las técnicas más utilizadas en la fase de fabricación es el Control Numérico. Se trata de la tecnología que utiliza instrucciones programadas para controlar máquinas herramienta que cortan, doblan, perforan o transforman una materia prima en un producto terminado. Las aplicaciones informáticas son capaces de generar, de forma automática, gran cantidad de instrucciones de control numérico utilizando la información geométrica generada en la etapa de diseño junto con otra información referente a materiales, máquinas, etc. que también se encuentra en la base de datos. Los esfuerzos de investigación se concentran en la reducción de la intervención de los operarios. (Referencia 15)

Otra función significativa del CAM es la programación de robots que operan normalmente en células de fabricación seleccionando y posicionando herramientas y piezas para las máquinas de control numérico. Estos robots también pueden realizar tareas individuales tales como soldadura, pintura o transporte de equipos y piezas dentro del taller. (Referencia 15)

La planificación de procesos es la tarea clave para conseguir la automatización deseada, sirviendo de unión entre los procesos de CAD y CAM. El plan de procesos determina de forma detallada la secuencia de pasos de producción requeridos para fabricar y ensamblar, desde el inicio a la finalización del proceso de producción. Aunque la generación automática de planes de producción es una tarea compleja, el uso de la Tecnología de Grupos supone una gran ayuda, ya que permite generar nuevos planes a partir de los planes existentes para piezas similares. Las piezas se organizan en familias y cada nueva pieza se clasifica dentro de una familia, según las características o los elementos que la componen. Esta tarea puede realizarse fácilmente utilizando técnicas de Modelado Basado en Características (Feature-Based Modeling) junto con la tecnología de grupos. (Referencia 15)

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Además, los sistemas informáticos pueden usarse para determinar el aprovisionamiento de materias primas y piezas necesarias para cumplir el programa de trabajo de la manera más eficiente, minimizando los costos financieros y de almacenaje. Esta actividad se denomina Planificación de Recursos Materiales (Material Requirement Planning o MRP). También es posible ejercer tareas de monitorización y control de la actividad de las maquinas del taller que se integran bajo el nombre de Planificación de Recursos de Manufacturación (Manufacturing Requirement Planning o MRPII). (Referencia 15)

La ingeniería Asistida por Ordenador (Computer Aided Engineering o CAE) es la tecnología que se ocupa del uso de sistemas informáticos para analizar la geometría generada por las aplicaciones de CAD, permitiendo al diseñador simular y estudiar el comportamiento del producto para refinar y optimizar el producto dicho diseño. Existen herramientas para un amplio rango de análisis. Los programas de cinemática, por ejemplo, pueden usarse para determinar trayectorias de movimiento y velocidades de ensamblado de mecanismos. Los programas de análisis dinámico de (grandes) desplazamiento se usan para determinar cargas y desplazamientos en productos complejos como los automóviles. Las aplicaciones de temporización lógica y verificación simulan el comportamiento de circuitos electrónicos complejos.

El método de análisis por ordenador mas ampliamente usado en ingeniería es el método de los elementos finitos o FEM (Finite Element Method). Se utiliza para determinar tensiones, deformaciones, transmisión de calor, distribución de campos magnéticos, flujo de fluidos, y cualquier otro problema de campos continuos que serian prácticamente imposibles de resolver utilizando otros métodos. En este método, la estructura se representa por un modelo de análisis constituido de elementos interconectados que dividen el problema en elementos manejables por el ordenador. (Referencia 15)

Como se ha mencionado anteriormente, el método de elementos finitos requiere más un modelo abstracto de descomposición espacial que la propia geometría del diseño. Dicho modelo se obtiene eliminando los detalles innecesarios de dicha geometría o reduciendo el numero de dimensiones. Por ejemplo, un objeto tridimensional de poco espesor se puede convertir en un objeto bidimensional cuando se hace la conversión al modelo de análisis. Por tanto, es necesario generar dicho modelo abstracto de forma interactiva o automática para poder aplicar el método de elementos finitos. Una vez creado dicho modelo, se genera la malla de elementos finitos para poder aplicar el método. Al software que se encarga de generar el modelo abstracto y la malla de elementos finitos se le denomina pre-procesador. Después de realizar el análisis de cada elemento, el ordenador ensambla los resultados y los visualiza. Las regiones con gran tensión se destacan, por ejemplo, mostrándose en color rojo. Las herramientas que realizan este tipo de visualización se denominan post-procesadores. (Referencia 15)

La ventaja del análisis y optimización de diseños es que permite a los ingenieros determinar cómo se va comportar el diseño y eliminar errores sin la necesidad de gastar tiempo, dinero construyendo y evaluando prototipos reales. Ya que costo re-ingeniería crece exponencialmente en las últimas etapas del desarrollo de un producto y en la producción, la optimización temprana que permiten las herramientas CAE supone un gran ahorro de tiempo y una notable disminución de costos.

Así pues, CAD, CAM y CAE son tecnologías que tratan de automatizar ciertas tareas del ciclo de producto y hacerlas más eficientes. Dado que se han desarrollado de forma separada, aun no se han conseguido todos los beneficios potenciales de integrar las actividades de diseño y fabricación del ciclo de producto. (Referencia 15)

2.1.1 CAD/CAM EN EL PROCESO DE DISEÑO Y FABRICACIÓN.

En la práctica, el CAD/CAM se utiliza de distintas formas, para producción de dibujos y diseño de documentos, animación, análisis de ingeniería, control de procesos, control de calidad, etc. Por tanto, para clarificar el ámbito de las técnicas CAD/CAM, las etapas que abarca y las herramientas actuales y futuras, se hace necesario estudiar las distintas actividades y etapas que deben realizarse en el diseño y fabricación de un producto.

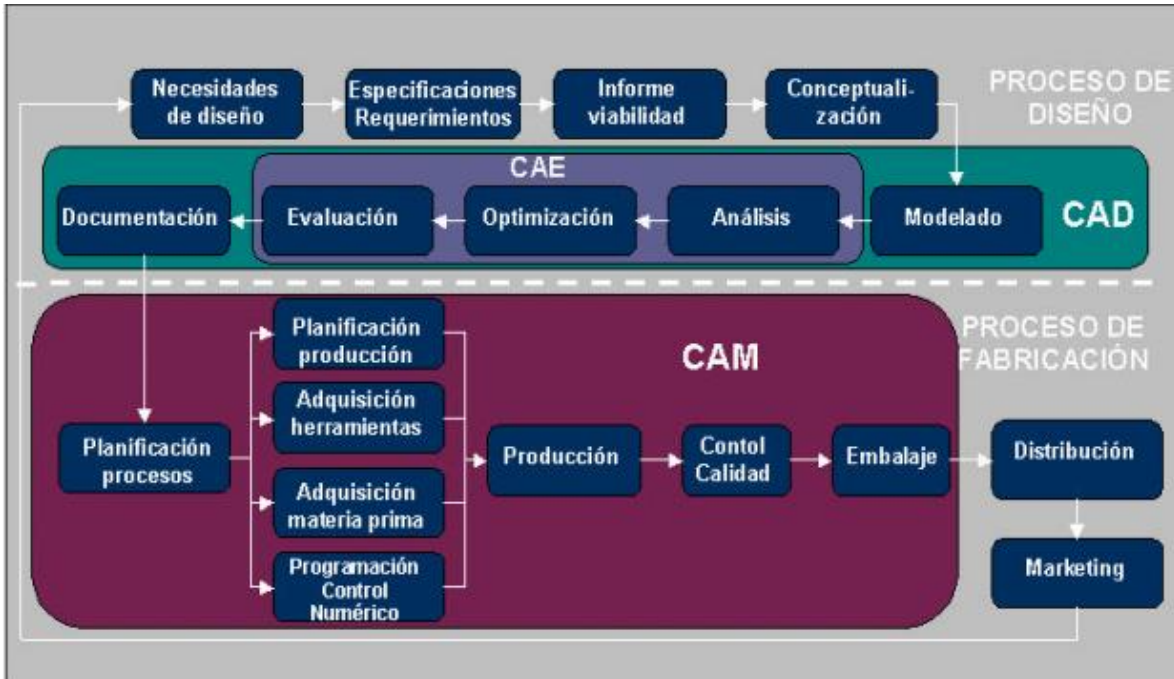


Diagrama 2.1 Proceso de diseño y fabricación CAD/CAM/CAE (Referencia 15)

Ciclo del producto

Para convertir un concepto o idea en un producto, se pasa por dos procesos principales, el de diseño y el de fabricación. A su vez, el proceso de diseño se puede dividir en una etapa de síntesis, en la que se crea un producto y una etapa de análisis en la que se verifica, optimiza y evalúa el producto creado. Una vez finalizadas estas etapas se aborda la etapa de fabricación en la que, en primer lugar se planifican los procesos a realizar y los recursos necesarios, pasando después a la fabricación del producto resultante antes de pasar a la fase de distribución y marketing.

Debido a la demanda del mercado de productos cada vez más baratos, de mayor calidad y cuyo ciclo de vida se reduce cada vez más, se hace necesaria la intervención de los ordenadores para poder satisfacer estas exigencias. Mediante el uso de técnicas de CAD/CAM se consigue abaratar costos, aumentar la calidad y reducir el tiempo de diseño y producción. Estos tres factores son vitales para la industria actual.

Dentro del ciclo de producto descrito se ha incluido un conjunto de tareas agrupadas en proceso CAD y otras en proceso CAM, que, a su vez son subconjuntos del proceso de diseño y proceso de fabricación respectivamente. (Referencia 15)

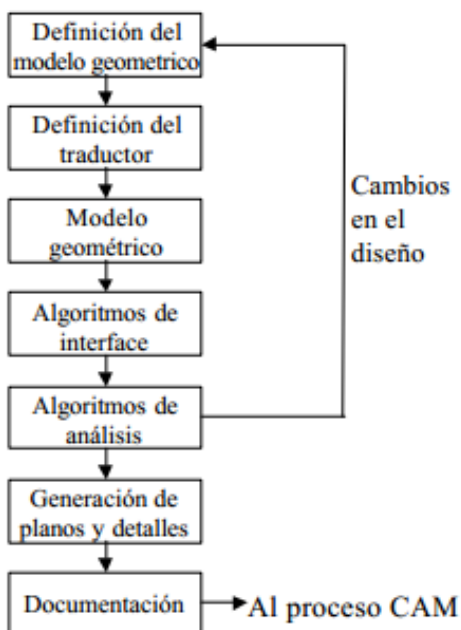


Fig. 1.3 El proceso CAD

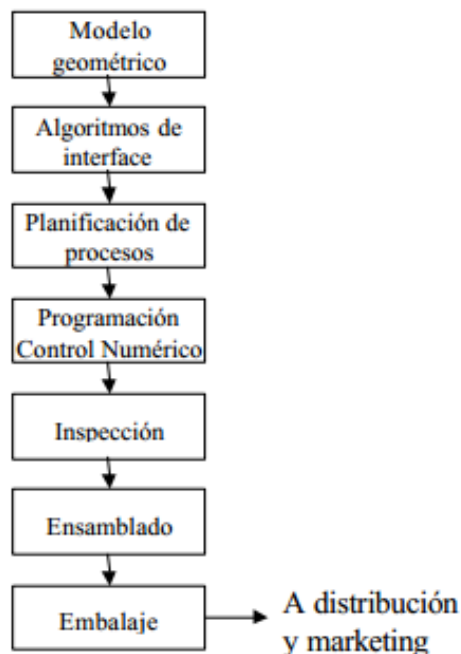


Fig. 1.4 El proceso CAM

FASE DE DISEÑO	HERRAMIENTAS CAD REQUERIDAS
Conceptualización del diseño	Herramientas de modelado geométrico
Modelado del diseño y simulación	Las anteriores más herramientas de animación, ensamblaje y aplicaciones de modelado específicas
Análisis del diseño	Aplicaciones de análisis generales (FEM), aplicaciones a medida
Optimización del diseño	Aplicaciones a medida, optimización estructural
Evaluación del diseño	Herramientas de acotación, tolerancias, listas de materiales
Informes y documentación	Herramientas de dibujo de planos y detalles, imágenes color

FASE DE FABRICACIÓN	HERRAMIENTAS CAM REQUERIDAS
Planificación de procesos	Herramientas CAPP, análisis de costes, especificaciones de materiales y herramientas
Mecanizado de piezas	Programación de control numérico
Inspección	Aplicaciones de inspección
Ensamblaje	Simulación y programación de robots

Diagrama 2.2 Proceso CAD y proceso CAM (Referencia 15).

2.1.2 COMPONENTES DEL CAD/CAM

Los fundamentos de los sistemas de Diseño y fabricación asistidos por computadora son muy amplios, abarcando múltiples y diversas disciplinas, entre las que cabe destacar las siguientes:

- **Modelado geométrico.** Se ocupa del estudio de métodos de representación de entidades geométricas. Existen tres tipos de modelos, alámbricos, de superficies y sólidos, y su uso depende del objeto a modelar y la finalidad para la que se construya el modelo. Se utilizan modelos alámbricos para modelar perfiles, trayectorias, redes, u objetos que no requieran la disponibilidad de propiedades físicas (áreas, volúmenes, masa). Los modelos de superficie se utilizan para modelar objetos como carrocerías, fuselajes, etc. Los modelos sólidos son los que mas información contienen y se usan para modelar piezas mecánicas, envases, moldes, y en general, objetos en los que es necesario disponer de información relativa a propiedades físicas como masas, volúmenes, centro de gravedad, momentos de inercia, etc.
- **Técnicas de visualización.** Son esenciales para la generación de imágenes del modelo. Los algoritmos usados dependerán del tipo de modelo. Es habitual utilizar técnicas específicas para la generación de documentación dependiente de la aplicación, como por ejemplo, curvas de nivel, secciones o representación de funciones sobre sólidos o superficies.
- **Técnicas de interacción grafica.** Son el soporte de la entrada de información geométrica del sistema de diseño. Entre ellas, las técnicas de posicionamiento se utilizan para la introducción de coordenadas 2D o 3D. las técnicas de selección permiten la identificación interactiva de un componente del modelo, siendo por tanto esenciales para la edición del mismo.
- **Base de datos.** Es el soporte para almacenar toda la información del modelo, desde los datos de diseño, los resultados de los análisis que se realicen y la información de fabricación. El diseño de las bases de datos para sistemas CAD/CAM plantea una serie de problemas específicos por la naturaleza de la información que deben soportar.
- **Métodos numéricos.** Son la base de los métodos de cálculo empleados para realizar las aplicaciones de análisis y simulación típicas de los sistemas CAD/CAM.
- **Conceptos de fabricación.** Referentes a maquinas, herramientas y materiales, necesarios para entender y manejar ciertas aplicaciones de fabricación y en especial la programación de control numérico.
- **Conceptos de comunicaciones:** Necesarios para interconectar todos los sistemas, dispositivos y maquinas de un sistema CAD/CAM. (Referencia 15)



Diagrama 2.3 Componentes del CAD/CAM (Referencia 15)

Otra alternativa de estudiar los componentes del CAD/CAM se basa en cómo se implementan. Según este criterio el CAD estaría formado por el hardware más el software de diseño y el CAM estaría formado por el hardware más el software de fabricación y además los mecanismos de comunicación necesarios para establecer la comunicación con las máquinas y robots.

2.1.3 EL CAD/CAM DESDE EL PUNTO DE VISTA INDUSTRIAL

La mayoría de las aplicaciones del CAD/CAM incluyen diferentes módulos entre los que están modelado geométrico, herramientas de análisis, de fabricación y módulos de programación que permiten personalizar el sistema.

Las herramientas de modelado geométrico realizan funciones tales como transformaciones geométricas, planos y documentación, sombreado, coloreado y uso de niveles. Las herramientas de análisis incluyen cálculos de masas, análisis por elementos finitos, análisis de tolerancias, modelado de mecanismos y detección de colisiones. En algunas ocasiones, estas aplicaciones no cubren las necesidades específicas de un determinado trabajo, en cuyo caso se pueden utilizar las herramientas de programación para suplir estas carencias. Una vez que el modelado se completa, se realizan los planos y la documentación con lo que el trabajo queda listo para pasar a la fase CAM en la que se realizan las operaciones tales como planificación de procesos, generación y verificación de trayectorias de herramientas, inspección y ensamblaje. (Referencia 15)

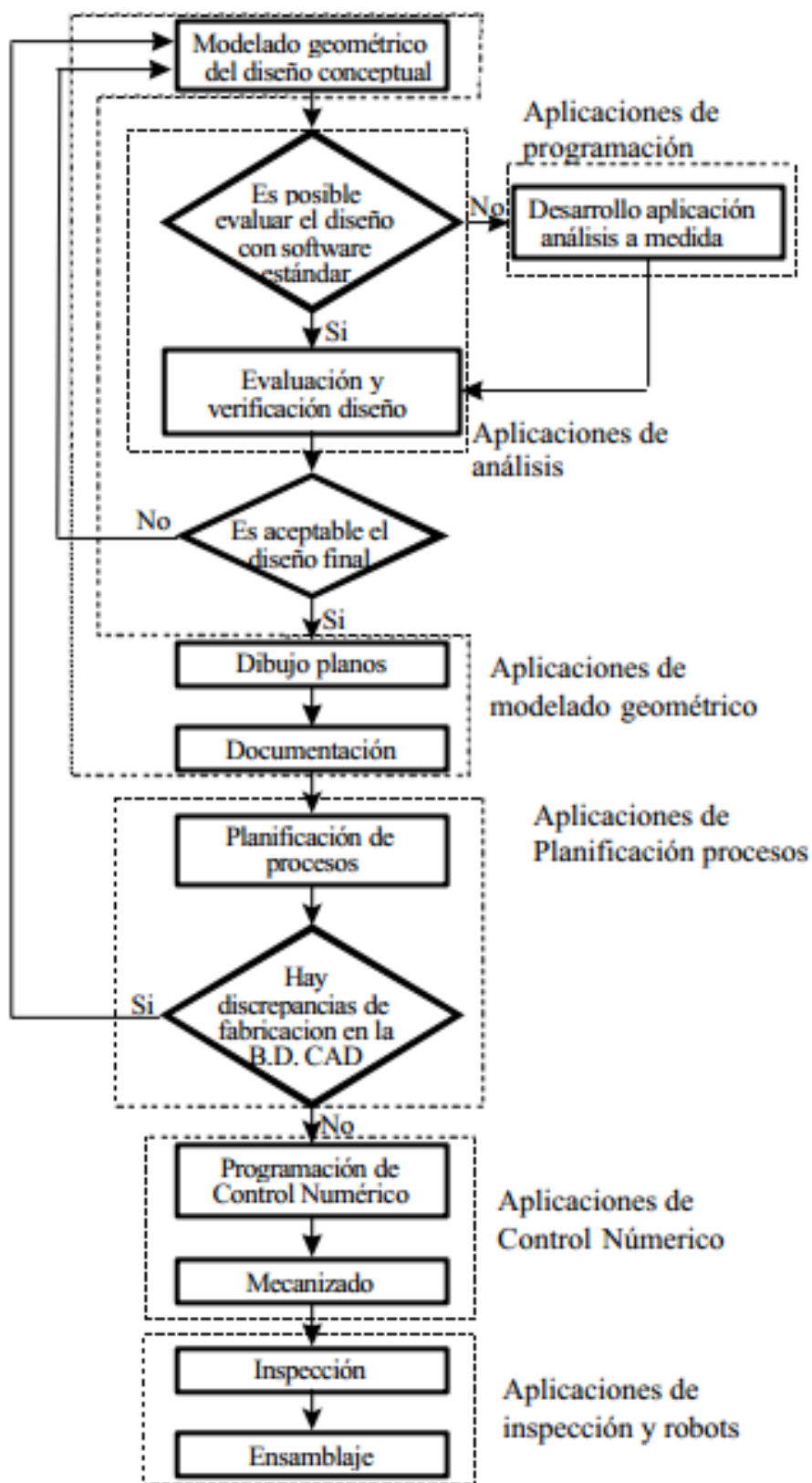


Diagrama 2.4 El CAD/CAM desde el punto de vista industrial (Referencia 15)

2.2 COMPONENTES DE UN MOLDE DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO.

El diseñador de moldes siempre enfrenta retos distintos en cada proyecto, cada pieza de inyección tiene características particulares que la hacen única.

Esta singularidad hace de cada molde un conjunto único de piezas, que si bien se pueden describir de manera general, se deberá tener especial atención a los detalles geométricos, estéticos, mecánicos y económicos de la pieza a moldear. Así mismo, veremos que existen distintas nomenclaturas y nombres técnicos distintos para una misma parte del molde, sin embargo, si comprendemos la función de cada una de las piezas podremos entonces familiarizarnos rápidamente con nuevos términos descriptivos.

En general, las partes de los moldes estándar (de dos placas y colada fría) se pueden enumerar de la siguiente forma:

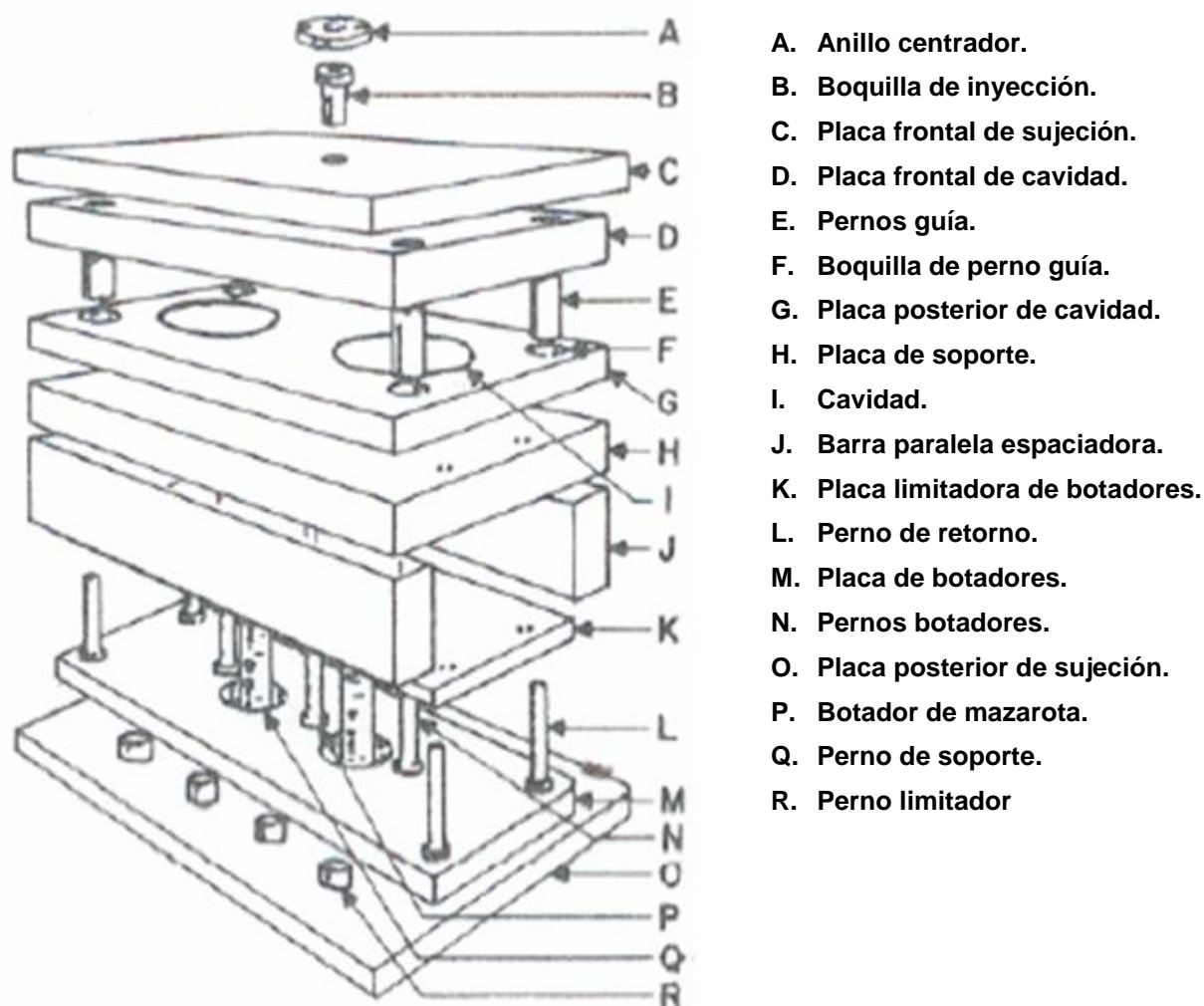


Fig. 2.2 Componentes de un molde de inyección (Referencia 4)

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

LADO FIJO	LADO MÓVIL
Platina aisladora	Placa aisladora
Placa sujetadora	Placa sujetadora
Bebedero	Barra expulsora
Pernos guía	Tacones espaciadores
Placa porta cavidades	Placa expulsora
Cavidades	Placa retenedora de botadores
	Placas paralelas
	Pernos de expulsión
	Tacones de soporte
	Placa de soporte
	Placa porta corazones
	Corazones

Tabla 2.1 Componentes de un molde de inyección

Brida. También conocida como clamp, sirve para fijar las placas sujetadoras a las platinas fija y móvil.

Placa aislante. Normalmente se utiliza en moldes de inyectores y/o canales calientes para evitar las pérdidas de calor por contacto con las platinas de la máquina. También puede ser utilizada en los moldes de colada fría.

Tornillo. Elemento de sujeción

Tope. También conocidos como tacón espaciador de la placa de expulsión. Sirve para evitar que las superficies de la placa sujetadora y la placa expulsora se peguen por efecto del vacío creado por dos superficies rectificadas. También sirven para evitar el choque directo de ambas placas cuando la placa expulsora regresa a su posición de inicio.

Muelle de tirante de expulsión. Es un resorte que ayuda a la barra a regresar el sistema de expulsión. Las máquinas normalmente cuentan con un sistema expulsor que hace este trabajo, únicamente se usa como un seguro mecánico, para evitar que los botadores queden fuera del corazón cuando el molde cierre.

Tirante de expulsión. También conocido como barra expulsora. Se conecta al sistema de expulsión de la máquina y guía a las placas botadoras durante el proceso de acuerdo a lo programado en el control.

Columna de apoyo. También conocido como tacón de soporte. Este elemento sirve para reducir el claro que existe entre paralelas en la placa de soporte. Utilizando este tipo de soportes reducimos el espesor de dicha placa, ya que reducimos la deflexión al reducir la longitud en voladizo que soporta la fuerza de inyección.

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Casquillo de guía. Sirven para la alineación del lado móvil y el lado fijo del molde. Dependiendo del tipo de cargas y cantidad de ciclos esperados por el molde podemos encontrar casquillos embalados, casquillos de bronce o acero. (Referencia 4)

Cáncamo. Es un arillo de metal que sirve para transportar el molde con una grúa viajera o con una pluma. Es importante considerar el peso del molde para la selección de este elemento. El fabricante deberá tener especificaciones claras de la capacidad máxima de carga.

Sonda de temperatura. También conocido como termopar.

Es un elemento de control, retroalimenta constantemente al sistema de control de la máquina para hacer los ajustes pertinentes de temperatura.

Grupilla. Mayormente conocido como perno dowel. Es un elemento de guiado entre el ensamble de placas.¹³

Guía de corredera. También son conocidos como pernos inclinados o pernos de acciones (carros) laterales. Son utilizados en moldes con acciones laterales, la inclinación del perno permite que al cerrarse el molde los carros auxiliares cierren sincronizadamente, para así formar, generalmente, ventanas o huecos en las paredes laterales de la pieza inyectada.

Muelle de la corredera. Es utilizado para asegurarse que el carro auxiliar se moverá a su posición original una vez que el molde es abierto.

Bebedero. Es el elemento del molde que recibirá el fundido de la boquilla de inyección y lo dirigirá hacia la cavidad del molde. Este elemento es de vital importancia, ya que una geometría inadecuada o un cálculo de diámetro de orificio mal efectuado puede hacer que nuestro molde no sea rentable.

Anillo de centrado. Conocido también como arillo de retención. Sirve para centrar el molde en la platina fija de la máquina. También sirve para sujetar el bebedero.

Pieza. Producto inyectado.

Pozo de bebedero. También conocido como pozo frío. Tiene la función de alojar el frente frío del fundido y evitar problemas de apariencia como diferencia de brillo en la pieza. También es utilizada para crear un negativo en la colada y romperla desde la boquilla de inyección una vez que ha solidificado la pieza, esto permite que la colada se quede en el lado móvil de la pieza para ser removida fácilmente por el operador o por el robot.

Centrador. Cuando el molde se encuentra en operación muchas fuerzas actúan sobre las placas y cavidades de los moldes, creando el efecto de desplazamiento entre placas. Para evitar esto se utilizan elementos centradores, que nos ayudan a recuperar la alineación en cada ciclo de inyección.

Guía. Elemento de guiado entre placas.

Casquillo de guía. Elemento de desgaste para el frecuente deslizamiento del perno guía. (Referencia 4)

2.3 DISEÑO DE MOLDES DE INYECCIÓN DE PLÁSTICO

El proceso de diseño para moldes de inyección es complejo y existen varios puntos que se deben de tomar en cuenta cuando se desea realizar un diseño completamente nuevo a partir de ya sean los dibujos de una pieza o un modelo físico de la pieza que se desea moldear. Varios autores recomiendan que el diseñador esté al tanto de los siguientes puntos antes de comenzar el proceso de diseño:

- Características de moldeo del material a utilizar.
- Cuantas piezas serán moldeadas.
- Cuál será el ciclo de moldeo.
- Como será utilizado el producto moldeado.
- Tolerancias de ensamble de ser necesarias.
- Datos de contracción.
- Ángulos de salida.
- Tipo de sistema de canales (canales fríos, canales calientes).
- Tipo de molde que se usará (2 placas, 3 placas).
- Localización de puntos de inyección.
- Acabados superficiales.
- Número de cavidades.
- Características de la máquina con la que se cuenta.
- Tipo de sistema de expulsión.

Una vez que se cuenta con todos estos datos es posible el comenzar con el proceso de diseño del molde. A lo largo de éste capítulo se tratarán los puntos más importantes para el diseño de moldes.

2.3.1 FUNCIONES DEL MOLDE DE INYECCIÓN Y CICLO DE MOLDEO.

Antes de comenzar a definir las características técnicas de un molde, es necesario que el diseñador conozca y siempre tenga en mente las funciones básicas del molde de inyección de plásticos, de esta manera siempre se asegurará de que algún mecanismo o sistema implementado cumpla con los propósitos fundamentales para los que un molde es creado, así mantendrá el costos de manufactura y diseño lo más óptimo posible. (Referencia 6)

- Recibir el material fundido de la unidad de inyección.
- Dar la forma geométrica requerida a la pieza, con las dimensiones, tolerancias y acabados superficiales requeridos por el diseño.

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

- Enfriar el fundido hasta solidificarlo.
- Soportar las presiones de inyección, sostenimiento y cierre durante todo el ciclo de moldeo.
- Mantener la pieza enfriando hasta que se presente la mayor cantidad de contracciones en la pieza.
- Expulsar la pieza del molde con la menor fuerza de expulsión posible, sin dañarla estética, mecánica, funcional o dimensionalmente.
- Garantizar la seguridad de montaje, desmontaje, operación y mantenimiento.
- Asegurar que el ciclo de inyección sea lo más corto posible.

Fase I inyección.- el material fundido es inyectado en el molde cerrado, el cual es comprimido por las altas fuerzas ejercidas por la unidad de cierre, de esta forma el material no puede salir de la cavidad. El plástico fundido es inyectado desde la unidad de plastificación, hasta la cavidad de moldeo por la acción de un tornillo recíproco.-

Fase II presión mantenida.- durante esta fase la presión del plástico fundido se mantiene para compensar las contracciones sufridas con el enfriamiento.-

Fase III expulsión.- cuando el material se ha solidificado, la unidad de inyección se separa del molde. El molde permanece cerrado hasta que la pieza moldeada tiene la temperatura adecuada para ser expulsada.

En cada una de estas fases es necesario el tomar en cuenta varios factores para que el moldeo se lleve a cabo con éxito. Los factores más importantes se mencionan a continuación. Durante la Fase I de moldeo es necesario que la fuerza dentro de la cavidad producida por la presión de inyección sea menor a la fuerza de cierre.

La estimación correcta de la presión dentro de la cavidad, solo puede ser estimada con la colocación de transductores de presión dentro de ésta, o modelando el flujo del plástico dentro de la cavidad con software especializado.

Es por eso que para el proceso de diseño se recomienda usar la siguiente regla empírica para las presiones dentro de la cavidad:

- Asumir una presión de 7.75kg/mm para productos de pared delgada.-
- Asumir una presión de 3.1 a 4.6kg/mm para productos técnicos

Con el uso de estos datos es posible calcular la fuerza máxima y así poder determinar factores importantes como:

- Área máxima de cierre de los moldes.
- Número de cavidades del molde. Ya que, entre mayor sea el número de cavidades, mayor será el área proyectada y por lo tanto mayor la presión dentro de la cavidad y la fuerza de cierre requerida.

Como se puede apreciar estos datos determinan:

- Dimensiones de las placas de cavidad y corazón del molde

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

- Características de la máquina (si no se cuenta con una)
- Número de piezas que se pueden moldear en un ciclo.

Durante la fase II es necesario considerar:

- Correcto enfriamiento de la pieza dentro de la cavidad
- Mantenimiento de la presión de inyección.

Durante la fase III, es necesario asegurarse que la expulsión de la pieza se lleve a cabo sin producir daños tanto a la pieza como al molde. Los cálculos para el diseño de los elementos de expulsión deben de hacerse tomando en cuenta la fuerza máxima de expulsión que la máquina es capaz de proporcionar F_{max} . (Referencia 6)

2.3.2 MATERIALES UTILIZADOS EN LA CONSTRUCCIÓN DE MOLDES DE INYECCIÓN.

Con el objetivo de conseguir la máxima utilidad es necesario que los materiales usados en la fabricación de moldes tengan las siguientes propiedades:

- **Alta resistencia al desgaste.** Para aumentar la rigidez de las piezas inyectadas, estas se refuerzan con fibras de vidrio, materiales minerales, etc. Estos, así como los pigmentos de color, son altamente abrasivos. Por lo tanto, es de gran importancia la elección del material y/o del recubrimiento de las superficies.
- **Alta resistencia a la corrosión.** Los componentes agresivos como, por ejemplo, los equipamientos protectores contra el fuego, o el mismo material pueden originar agresiones químicas a las superficies del molde. Junto con los materiales de relleno y de refuerzo con efectos abrasivos pueden surgir daños acumulativos en el molde. Es aconsejable utilizar aceros de alta resistencia a la corrosión o con recubrimientos de las superficies (por ejemplo, cromado múltiple).
- **Alta estabilidad de medidas.** La inyección, por ejemplo, de plásticos de elevada resistencia térmica exige temperaturas internas de la pared del molde de hasta 250 °C. Esto presupone la aplicación de aceros con una elevada temperatura de revenido. Si no se tiene en cuenta esta exigencia se puede producir, en función de la temperatura, un cambio en la estructura del molde y con ello un cambio de las medidas del mismo. El cambio en las medidas debido a tratamientos térmicos (por ejemplo, un temple por cementación) debe ser mínimo, pero por lo general no se puede evitar (salvo excepciones, tal es el caso de los aceros martensíticos). Un tratamiento térmico de moldes con grandes diferencias de espesor encierra riesgos (deformaciones, grietas, etc.). Preferentemente se utilizan aceros bonificados que pueden ser mecanizados por arranque de viruta. Por regla general, después de la mecanización se puede suprimir el tratamiento térmico, ya que no será necesario. Pero también es cierto que la dureza y la resistencia mecánica de estos aceros es baja, Por el contrario, si se mecanizan aceros mediante electroerosión, se pueden utilizar templados con la máxima dureza.
- **Buena conductibilidad térmica.** En el caso de inyectar termoplásticos semicristalinos, la conductibilidad térmica del molde adquiere gran importancia. Para influenciar adecuadamente la conducción del calor, se pueden utilizar aceros de diferente aleación. No obstante, esta medida para controlar la termo conducción es relativamente limitada. Respecto a una termo conducción sensiblemente superior del cobre y de sus aleaciones, se han de tener en cuenta el bajo módulo de elasticidad, la poca dureza y la baja

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

resistencia al desgaste. Pero por medio de la cantidad y tipo de componentes de la aleación se pueden variar los valores mecánicos hasta ciertos límites. Sin embargo, al mismo tiempo, varía la conductividad térmica. La resistencia al desgaste se puede aumentar considerablemente mediante recubrimientos de la superficie (por ejemplo, niquelado sin corriente). No obstante, se ha de tener en cuenta que en caso de elevada presión superficial, la superficie templada puede ceder, debido al escaso apoyo prestado por el material base blando. Además de estos requisitos, los materiales deben presentar una buena mecanización, alto grado de pureza y permitir un buen pulido, entre otros. (Referencia 10)

La rigidez de una herramienta está en función de la selección del acero, ya que el módulo de elasticidad es prácticamente igual en todos los aceros comunes para herramientas. Pero según las exigencias específicas, los diferentes materiales pueden cumplirlas de forma más o menos óptima son:

- Aceros para cementación.
- Aceros bonificados.
- Aceros para temple integral.
- Aceros resistentes a la oxidación.
- Materiales especiales.

Aceros de cementación.

Se utilizan aceros de bajo carbono (C 0.3%), que mediante cementación obtiene una superficie dura y resistente al desgaste. Durante el proceso de cementación (temperatura de tratamiento entre 900 y 1000°C) el carbono se difunde en la superficie de la pieza. La profundidad de cementación depende de la temperatura y de la duración del proceso. Con tiempos largos de cementación (varios días) se consigue una profundidad aproximada de 2 mm. Una superficie dura, resistente al desgaste, se consigue por enfriamiento de la pieza cementada, durante el cual el núcleo de la pieza, suponiendo que esta tenga el espesor suficiente, permanece blando.

NOMENCLATURA	DIN	AISI / SAE	DUREZA SUPERFICIAL HRC	OBSERVACIONES
CK 15	1.1141	1015	62-64	Piezas de bajas exigencias
21MnCr5	1.2162	-	58-62	Acero para cementación estándar, buenas cualidades para el pulido
X6CrMo4	1.2341	P4	58-62	Preferentemente sumergible en frío
X19NiCrMo4	1.2764	-	60-62	Perfecto para el pulido y grandes exigencias de calidad superficial

Tabla 2.2 Aceros de cementación (Referencia 10)

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Este tipo de aceros es ideal para tacones expulsores y de soporte, pernos guía de baja y mediana producción, elementos de mecanismos que requieran alta dureza superficial para evitar desgaste pero núcleo suave para resistir cargas de torsión o de impactos.

Aceros para bonificación.

El bonificado es un tratamiento térmico compuesto de un temple y sucesivo calentamiento (generalmente revenido) para mejorar las propiedades mecánicas de una aleación metálica. El tratamiento térmico se efectúa calentando la pieza por encima de la temperatura crítica en la que la estructura austenítica es estable y enfriando después muy rápidamente (sumergiéndola en agua y en aceite) a temperatura ambiente. En este punto el acero tiene un máximo de dureza y de resistencia, pero resulta muy frágil; por ello se realiza el revenido, calentando la pieza a temperaturas entre 550 y 650 °C y enfriándola después lentamente; variando la velocidad de enfriamiento se obtienen las distintas características deseadas.

NOMENCLATURA	DIN	AISI / SAE	MAX. DUREZA SUPERFICIAL HRC	OBSERVACIONES
40CMnMo7	1.2311	P20	48-51	Alta resistencia mecánica, fácil mecanizado, acero para temple, también es posible el nitrurado
40CrMnMoS8	1.2312	P20-S	28-32	Acero pre-endurecido, hasta 32 HRC, semejantes propiedades al P20
4Cr5MoSiV1	1.2344	H13	51-54	Acero resistente a la abrasión, excelente resistencia al impacto, mantiene sus propiedades a altas temperaturas
54NiCrMoV6	1.2711	-	38-40	Buena soldabilidad y maquinabilidad, acero resistente a la abrasión

Tabla 2.3 Aceros bonificados para construcción de herramientas.(Referencia 4)

Aceros para fabricación de corazones y cavidades de gran tamaño. Sus propiedades de maquinabilidad y soldabilidad los hace una excelente elección para moldes con mediana producción, moldes donde los cambios al producto se prevén frecuentemente. Buena opción donde se requieren cavidades pulidas.

Acero para temple integral.

Para conseguir una estructura homogénea, incluso en grandes secciones, se utilizan aceros para temple integral, cuya dureza, resistencia y tenacidad se pueden adaptar individualmente a las necesidades por medio del proceso de revenido.

A través de la temperatura de revenido se pueden influenciar estas propiedades de forma óptima. Los aceros de temple integral han dado muy buenos resultados para moldes de inyección de plásticos con efectos abrasivos, por ejemplo, con fibra de vidrio.

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

NOMENCLATURA	DIN	AISI / SAE	MAX. DUREZA SUPERFICIAL HRc	OBSERVACIONES
X38CrMoV51	1.2342	P2	48-52	Acero estándar para trabajar en caliente
41CrMo4	1.7212	4140	28-36	Alta resistencia mecánica, buena resistencia al impacto, buena maquinabilidad y baja soldabilidad
X45NiCrMo4	1.2767	-	50-54	Muy bueno para el pulido, alta tenacidad
9CrWMn	1.2510	O1	63-65	Buena estabilidad dimensional en frío una vez templado, buena maquinabilidad, muy baja soldabilidad
90MnCrV8	1.2842	O2	56-62	Resistencia al desgaste normal

X155CrVMo121	1.2397	-	58	Buena resistencia al desgaste, buena tenacidad
X210Cr12	1.2080	D3	62-62	Alta resistencia al desgaste
Cr12Mo1V1	1.2201	D2	64	Pobre maquinabilidad, baja soldabilidad, alta resistencia al desgaste, mínima distorsión dimensional después de temple
X165CrMoV12	1.2601	-	63	Acero de elevada resistencia al desgaste

Tabla 2.4 Aceros para temple integral (Referencia 4)

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Aceros resistentes a la corrosión.

Como protección contra plásticos o sus aditivos con efectos corrosivos, existe básicamente la posibilidad de galvanizar los moldes. Como posible desventaja se ha de mencionar la elevada presión superficial en las aristas de cierre, que pueden provocar el agrietamiento de este recubrimiento. Por lo tanto, es aconsejable el uso de aceros resistentes a la corrosión. Se debe evitar de forma estricta la nitruración de estos aceros, ya que disminuye su propiedad de resistencia a la corrosión.

NOMENCLATURA	DIN	AISI / SAE	MAX. DUREZA SUPERFICIAL HRc	OBSERVACIONES
X42Cr13	1.2083	-	54-56	Resistente a la corrosión solo con tratamiento de pulido
X36CrMo17	1.2316	-	50	Mecanización después de tratamiento de revenido, alta resistencia a la corrosión
X20Cr13	1.4021	420	57-60	Acero inoxidable con buenas condiciones de pulido, ideal para inyectar PVC, pobre maquinabilidad y soldabilidad
X105CrMo17	1.4125	440C	57-60	Acero resistente a la corrosión y a los ácidos, resistente al desgaste

Tabla 2.5 Aceros resistentes a la corrosión (Referencia 4)

Este tipo de aceros es utilizado para corazones y cavidades, así como para insertos dónde es requerida la resistencia a la corrosión. Su uso normalmente se ve limitado a resinas y/o ambientes corrosivos debido al alto costo y la baja maquinabilidad del mismo.

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Metales no ferrosos.

El uso de insertos de metales no ferrosos es muy común en áreas del molde dónde la conductividad térmica es importante debido a las características geométricas de la pieza, o bien debido a la dificultad de hacer llegar las líneas de enfriamiento a dicha zona.

NOMENCLATURA	DIN	AISI / SAE / ASTM	MAX. DUREZA SUPERFICIAL HRb	OBSERVACIONES
CuBe2 UNSC17200	-	B194- 08	78	Cobre-berilio con alta conductividad térmica, alta maquinabilidad y soldabilidad, pobre resistencia a la abrasión
AlZn5.5MgCu	-	7075- T6	87	Buena resistencia a la corrosión, buena conductividad térmica, resistencia a la abrasión pobre

Tabla 2.6 Metales no ferrosos (Referencia 4)

2.3.3 ANÁLISIS CARACTERÍSTICO DE LA MÁQUINA DE INYECCIÓN.

Son muchos los datos que los fabricantes de las máquinas de inyección proporcionan en sus catálogos, sin embargo es necesario conocer los datos necesarios que el diseñador de moldes deberá recopilar o calcular en función de magnitudes relacionadas o derivadas. A continuación se enumeran la información mínima requerida para el diseñador de moldes.

Es claro que no se deberá limitar a lo aquí propuesto, estos son solo los requerimientos mínimos para iniciar un buen proceso de diseño.

- **Volumen nominal.** (pulg^3 ó cm^3) Es necesario conocer el volumen nominal de inyección, para de esta manera, con el dato de la densidad o peso específico de la resina a inyectar podemos encontrar el peso nominal de inyección y así poder seleccionar adecuadamente la máquina dónde será montado nuestro molde.
- **Caudal.** (pulg^3/s ó cm^3/s). Para poder calcular el diámetro del orificio de llenado de la pieza será necesario tener este dato.
- **Presión de inyección** (PSI o KPa). Es necesario conocerla para poder determinar si la pieza va a ser llenada con la máquina seleccionada, esto es en caso de que se haya hecho un análisis CAE de llenado antes de iniciar el diseño del molde, de otra forma será complicado determinar la presión de inyección necesaria para llenar la cavidad.
- **Máximo peso de disparo** en PS (OZ o g). Los fabricantes de maquinaria normalmente utilizan, por convención, el poliestireno (PS) para definir el peso de disparo de su unidad de inyección, ya que el peso del disparo varía en función de la densidad o peso específico de la resina. Es importante conocer este dato para saber si la máquina seleccionada será capaz de dar el peso deseado de inyección para el producto a inyectar.

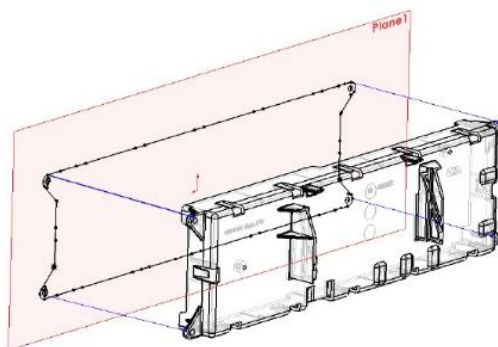
CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

- **Fuerza de cierre.** Como veremos más adelante, la fuerza de cierre requerida para una pieza se puede calcular con el área proyectada de la pieza y la longitud de disparo requerida para llenarla. Es por eso que es indispensable saber este dato para determinar la capacidad de inyectar la pieza sin que se presenten rebabas durante el proceso.
- **Espacio entre barras.** Es la distancia que hay entre las barras guía de la máquina, con esta magnitud podemos determinar si el molde diseñado entrará en la máquina.
- **Dimensiones de las platinas.** Para poder diseñar un molde es necesario conocer dónde será montado este, con esta información podemos determinar si las placas sujetadoras o de montaje y las bridas de montaje caben dentro del área de las platinas, el diámetro de la barra de expulsión, la posición de las barras auxiliares de botado, así como el diámetro y altura del anillo centrador.
- **Máxima y mínima altura de molde.** Es importante conocer este dato, ya que podemos incurrir en un error importante al diseñar un molde que no cabe en la máquina seleccionada.
- **Carrera de expulsión.** Si no tenemos en cuenta este dato, podemos tener un molde que no se pueda trabajar automáticamente por no tener espacio suficiente para la expulsión de la pieza, disminuyendo así la rentabilidad del herramental.

Conocer las dimensiones de las platinas fija y móvil de la máquina es indispensable para el diseñador, ya que con ello se determina la forma de sujeción del molde y el acoplamiento del sistema de expulsión del molde. (Referencia 6).

2.3.4 ÁREA PROYECTADA.

El área proyectada en un molde es el área que será llenada con plástico fundido en la línea de partición. La línea de partición es la apertura primaria del molde dónde la cavidad y el corazón se separan, permitiendo así la expulsión de la pieza. El área proyectada es también conocida como la sombra que proyecta la pieza en el molde en el plano paralelo a la línea de partición. Esta área también incluye a la colada. El área proyectada de la pieza en el molde es utilizada para calcular el tonelaje de inyección y cierre requerido por la máquina para determinada parte a inyectar. Es muy importante que el diseñador comprenda cómo calcular el área proyectada.



Determinación del área proyectada en el molde.

Fig. 2.3 Determinación del área proyectada en el molde (Referencia 6).

2.3.5 FUERZA DE CIERRE.

Durante la fase de llenado y sostenimiento se genera presión dentro de la cavidad del molde, esta presión es debida a la fuerza de inyección con la que la unidad de plastificación empuja al polímero fundido dentro de la cavidad. Esta medición exacta solo puede ser realizada una vez que tenemos el molde construido, lo que es, en la mayoría de las veces, demasiado tarde para el diseñador. La presión dentro de la cavidad del molde puede ser determinada también con el uso de un software de simulación de llenado a través del método de los elementos finitos.

Esta simulación calcula y predice con gran nivel de confiabilidad la magnitud de la presión en cada uno de los puntos de la cavidad del molde, ya que por lo general, estos simuladores tienen cargados los datos técnicos de la mayoría de los polímeros que existen en el mercado y de la mayoría de las máquinas de inyección. En caso de que el simulador no cuente con los datos de la resina o la máquina, siempre es posible cargar estos datos manualmente y hacer una simulación aceptable.

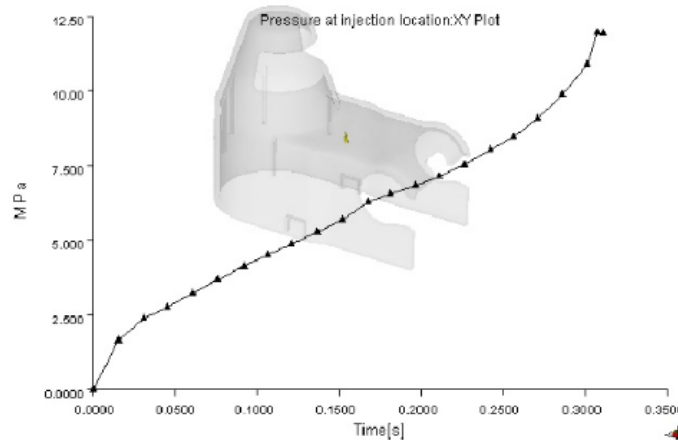
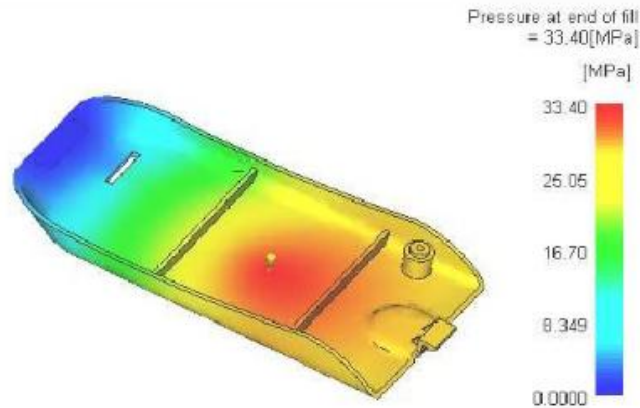


Gráfico Presión de Inyección vs. Tiempo, calculada con simulador CAE.

Fig. 2.4 Gráfico presión de inyección vs tiempo, calculada con simulador CAE (Referencia 6).

El gráfico anterior es un ejemplo de la obtención de la relación presión de inyección con respecto al tiempo.

El cálculo de esta presión se puede hacer tan exacto como se requiera, sin embargo siempre se deberá evaluar la necesidad de utilizar un recurso tan costoso como lo son los simuladores CAE de inyección. Para la mayoría de las piezas de alto consumo este análisis no es indispensable; sin embargo, cuando tratamos de diseñar un molde para una pieza que se fabrica de una resina sensible a la degradación por altas presiones y/o velocidades de inyección y en las que se comprometa la funcionalidad mecánica es entonces más que recomendable el uso de estas herramientas.



Presión dentro de la cavidad determinada con simulador CAE.

Fig. 2.5 Presión dentro de la cavidad determinada con simulador CAE (Referencia 6).

Ahora bien, la fuerza de cierre requerida por el molde está en función de la presión dentro de la cavidad del molde, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$P_i = \frac{F_c}{A_p}$$

Dónde:

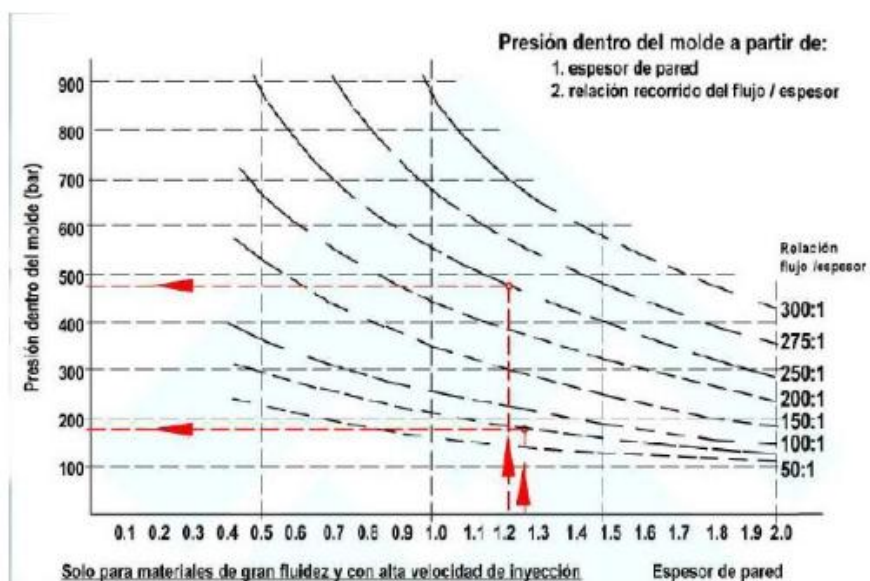
P_i = Presión de Inyección (kg/cm^2).

F_c = Fuerza de cierre requerida de la máquina (kg).

A_p = Área proyectada de la pieza (cm^2).

(Referencia 5).

Como ya mencionamos, la presión dentro de la cavidad varía en función de que tan alejado se encuentre el punto de análisis y de la geometría de la pieza. Esta caída de presión se debe a que el área de contacto del polímero con el molde va aumentando conforme avanza el polímero, disminuyendo a su vez la presión dentro de la cavidad. Se calcula primero la relación de recorrido de flujo/espesor, con lo cual seleccionamos la curva correspondiente, enseguida se ubica en la curva seleccionada el espesor de pared de la pieza y nos da como resultado la presión nominal en la cavidad del molde.



Curvas de presión promedio y relación de flujo/espesor.

Fig. 2.6 Gráficas de presión promedio y relación de flujo/ espesor (Referencia 6).

En la figura podemos observar dos ejemplos para las curvas de 100:1 y 250:1, las cuales corresponden a espesores de pared de 1.2 y 1.25m respectivamente. Estos datos dan por resultado presiones de 180 y 480 bar, lo cual es una aproximación bastante aceptable para iniciar el diseño del molde.

Ahora bien, si se encuentra a pie de máquina, sin acceso a las curvas de presión de la figura 5.22, se puede tomar para cálculos rápidos la presión promedio dentro del a cavidad del molde de 175,75 kg/cm² (2.50 Ton/plg²). Este valor es también bastante aceptable para fines de cálculo de tonelaje requerido de inyección, e inclusive, para cálculos de deflexión de la placa de respaldo, paralelas y pernos guía.

2.3.6 CÁLCULO DEL NÚMERO DE CAVIDADES.

El tamaño del molde depende, en primera instancia, de la máquina. A menudo, la máquina es una variable dada al diseñador a las cuáles se deberá sujetarse. En la determinación del número de cavidades intervienen criterios técnicos, en la forma de la o las máquinas disponibles, de la calidad requerida, de los criterios económicos, en la forma de la pieza, en el tiempo requerido para la producción y, en especial, de los costos.

Partiendo de que el costo de producción de un producto está en estrecha relación con el tipo de proceso empleado, es comprensible que este debe ser analizado desde el diseño del molde, a fin de encontrar soluciones óptimas. El tamaño del molde está en relación directa al tamaño de la máquina donde será montado y de la demanda de producción. Las variables dadas de esta son:

- Capacidad de inyección (cm³).
- Capacidad de plastificación (cm³/min).

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

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

Estos criterios pueden ser cuantificados fácilmente. Con estos se puede determinar el máximo teórico de cavidades en el molde. Primero es necesario calcular el número máximo de cavidades del molde en función de la máxima capacidad de plastificación de la máquina (o caudal) y del volumen de la pieza a inyectar.

$$N_1 = \frac{V_m}{V_p}$$

Donde:

N_1 : Cant. Máx. Cav. en función del volumen (adimensional).

V_m : Volumen máximo de plastificación de la máquina (cm³).

V_p : Volumen de la pieza + Volumen de colada (cm³).

(Referencia 5).

Este cálculo asume el uso de toda la capacidad de plastificación de la máquina para la inyección de la, o las, piezas.

Sin embargo no es una práctica recomendable por razones de calidad, debido a la conservación del colchón y en función de una plastificación uniforme.

Debe de considerarse por supuesto también la capacidad de plastificación de la máquina. En este caso el máximo teórico de cavidades sería:

$$N_2 = \frac{Q_m}{R_m V_p}$$

Donde:

- N_2 : Cant. Máx. Cav. en función del caudal (adimensional).
- Q_m : Caudal o capacidad de plastificación de la máquina (cm³/min).
- R_m : Requerimiento de piezas por minuto (1/min).

Una regla práctica indica que:

$$0.4N_1 \leq N_2 \leq 0.8N_1$$

Otro de los medios para calcular el número de cavidades de un molde es el que se da a través del tiempo de ciclo estimado.

$$N_3 = R_m t_c$$

Donde:

- N_3 : Máx. Cav. en función del tiempo ciclo (adimensional).
- t_c : Tiempo ciclo esperado (min).

(Referencia 5).

Se sabe que el tiempo de ciclo es un valor que se determina con exactitud hasta que se está produciendo masivamente, ya que son muchos los factores que afectan a la inyección.

El uso de software especializado para la estimación del tiempo ciclo es muy útil para poder usar esta ecuación, sin embargo no todos los diseñadores de moldes tienen acceso a esta herramienta, por lo que es necesario hacer una estimación aproximada

El tiempo de ciclo se calcula a través de la siguiente ecuación:

$$t_c = t_{cm} + t_i + t_{enf} + t_{ap} + t_{exp}$$

Donde:

t_c : Tiempo ciclo esperado (s).

t_{cm} : Tiempo de cierre de molde (s).

t_i : Tiempo de inyección (s).

t_{enf} : Tiempo de enfriamiento (s).

t_{ap} : Tiempo de apertura de molde (s).

t_{exp} : Tiempo de expulsión de la pieza (s). (Referencia 5).

Los tiempos de apertura y cierre de molde, así como el de expulsión estarán directamente relacionados con las dimensiones de la pieza, el tipo de máquina, el sistema periférico de extracción y de las condiciones de seguridad al operar la máquina. Es por eso que estos tiempos se deberán estimar, o bien ser proporcionados por quien va a fabricar la pieza, ya que son los estándares de cada fabricante de piezas plásticas los que darán el tiempo estimado de estos pasos del proceso de inyección.

Ahora bien, el cálculo del tiempo de inyección se da a través de la siguiente ecuación.

$$t_i = \frac{V_p}{Q_m}$$

(Referencia 5).

También es posible calcular el tiempo de inyección en función de la velocidad de inyección. Comúnmente encontraremos este valor en las hojas de datos técnicas de las máquinas de inyección en función del poliestireno (PS). Para poder conocer la velocidad de inyección de cualquier otro material utilizaremos la siguiente fórmula.

$$S_i = S_{PS} \frac{\rho_n}{\rho_{PS}}$$

Donde:

S_i : Velocidad de inyección del material (g/s).

S_{PS} : Velocidad de inyección del PS (g/s).

ρ_n : Densidad del material (g/cm³).

ρ_{PS} : Densidad del PS (g/cm³).

(Referencia 5).

Con esta información se puede entonces calcular el tiempo de inyección en función de la velocidad de inyección.

$$t_i = \frac{w_p}{S_i} \quad (\text{Referencia 5}).$$

Donde:

w_p : Peso de la pieza (g).

Resultados experimentales muestra que el tiempo de inyección se relaciona con el espesor y otras características geométricas de la pieza, así como de factores adimensionales dependientes de la temperatura del fundido, de la temperatura del molde y de la temperatura de deflexión bajo carga (HDT).

$$t_i = \frac{\left(\frac{e_{\min} D_{\max}}{R_{fe}} \right)^3}{8 \left(\frac{T_{\exp} - T_{mold}}{T_{mat} - T_{mold}} \right)^3}$$

Donde:

- e_{\min} : Espesor mínimo de la pieza (cm).
- D_{\max} : Recorrido máximo del fundido desde la entrada del molde (cm).
- R_{fe} : Relación entre el recorrido de flujo y el espesor de pared (cm/cm).
- T_{mat} : Temperatura del material fundido (°C).
- T_{mold} : Temperatura del molde (°C).
- T_{exp} : Temperatura de la pieza al momento de la expulsión,

(Referencia 5).

Comúnmente se usa la temperatura de distorsión bajo carga HD T (°C). Debe de observarse que esta relación se deduce suponiendo que el material comienza a solidificarse el entrar en contacto con las paredes de la cavidad del molde, reduciendo así, paulatinamente, el área a través de la cual puede circular el material fundido que va entrando. Por lo cual, si se aumenta la temperatura del molde, mayor será el tiempo de inyección, pues mayor tiempo se requerirá para que el material se solidifique. El tiempo de enfriamiento inicia desde que termina el tiempo de inyección, durante la aplicación de la presión de sostenimiento y hasta la apertura del molde.

Es la etapa más larga del ciclo, debido a que en este tiempo se debe asegurar que el material ha solidificado y que al extraer la pieza esta no se distorsionará. Normalmente llega a alcanzar del 50-85% del tiempo total. La siguiente fórmula puede ser utilizada para determinar teóricamente el tiempo de enfriamiento.

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

Donde:

- e_{\max} : Espesor máximo de la pieza (cm).
- α_{ii} : Difusividad térmica del material (cm²/°C).

(Referencia 5).

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

La difusividad térmica es un valor que podemos encontrar en las hojas de datos del material, sin embargo no todos los fabricantes de polímeros tienen estos datos disponibles en sus hojas técnicas, lo que hace que necesitemos saber cómo calcularlo.

$$\alpha_n = \frac{\lambda_n}{\rho_n c_p}$$

Donde:

λ_m : Conductividad térmica (J/s cm °C)

c_p : Calor específico (J/g °C).

(Referencia 5).

Sin embargo sabemos que estos son cálculos teóricos, que son muchos los factores que intervienen en el proceso de inyección y que se deberá de tomar ciertos factores de seguridad para la selección del número de cavidades. Es entonces importante calcular el número de cavidades necesarias, de lo contrario tendremos un molde que genera pérdidas. En ocasiones el cliente tratará de invertir lo menos posible en su molde, pero es trabajo del ingeniero diseñador del molde hacer un estudio comparativo de la cantidad mínima y máxima de cavidades requeridas.

En la siguiente tabla vemos un estudio comparativo entre 4 posibles configuraciones de molde, en la de 8 cavidades el costo de maquila se incrementa debido a que el tamaño de la máquina requerida es mayor. Sin embargo se puede observar que el molde de 1 cavidad presenta pérdidas y no cumple con la cantidad de piezas requeridas por el cliente.

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

REQ. ANUAL	HORAS TRABAJADAS / TURNO	TURNOS / DIA	DIAS / AÑO	COSTO MATERIA PRIMA / PZA (MXN)	PRECIO VENTA (MXN)	
2,000,000	7.5	3	250	\$3.50	\$7.00	
NUM. CAV.	TIEMPO CICLO ESPERADO (s)	COSTO DE MOLDE (MXN)	PROD. / HORA (PZAS)	PROD. ANUAL (PZAS)	COSTO MAQUILA / HORA (MXN)	
1	25	\$80,000.00	144	810,000	\$ 500.00	
2	30	\$150,000.00	240	1,350,000	\$ 500.00	
4	40	\$220,000.00	360	2,025,000	\$ 500.00	
8	55	\$350,000.00	524	2,945,455	\$ 750.00	
NUM. CAV.	COSTO MAQUILA / AÑO (MXN)	COSTO DE MOLDE / PIEZA (MXN)	COSTO DE PROD. / PIEZA (MXN)	COSTO PROD. ANUAL (MXN)	VENTAS ANUALES (MXN)	UTILIDAD ANUAL (MXN)
1	\$ 2,812,500.00	\$0.10	\$7.07	\$5,727,500.00	\$5,670,000.00	-\$137,500.00
2	\$ 2,812,500.00	\$0.11	\$5.69	\$7,687,500.00	\$9,450,000.00	\$1,762,500.00
4	\$ 2,812,500.00	\$0.11	\$5.00	\$10,120,000.00	\$14,175,000.00	\$4,055,000.00
8	\$ 4,218,750.00	\$0.12	\$5.05	\$14,877,840.91	\$20,618,181.82	\$5,740,340.91

Tabla 2.7 Estudio comparativo moldes de inyección (Referencia 5).

Por otro lado, el molde de 8 cavidades, a pesar de ser más caro y con un costo de maquila más alto, produce con mucha más utilidad que la invertida en un inicio. Además de que genera casi un millón de piezas más que las requeridas por el cliente, lo que nos permitirá trabajar 2 turnos en lugar de tres, o bien descansar el molde algunas semanas, lo que nos da un ahorro mucho más grande, además de que nos permite tener tiempo para los mantenimientos de la herramienta pertinentes.

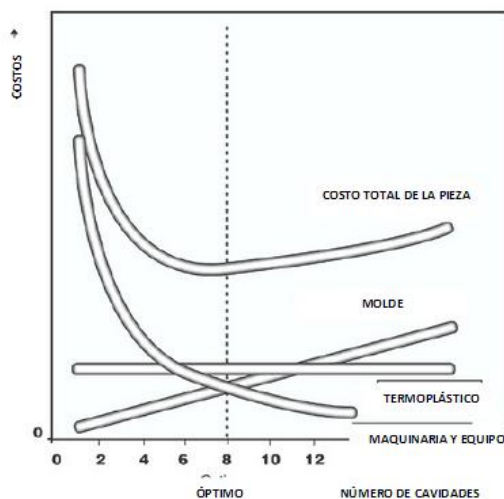


Fig. 2.7 Relación costo y número de cavidades (Referencia 5).

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Es por esto, que hay que tratar de diseñar nuestros moldes con la mayor cantidad de cavidades posibles, siempre y cuando el tamaño de la máquina nos lo permita.

2.3.7 COLADA FRÍA.

La colada es la zona de transición entre el bebedero y la cavidad del molde. La localización de las coladas es de suma importancia para las propiedades mecánicas y de apariencia de la pieza. El fundido deberá llenar completamente y uniformemente la cavidad.

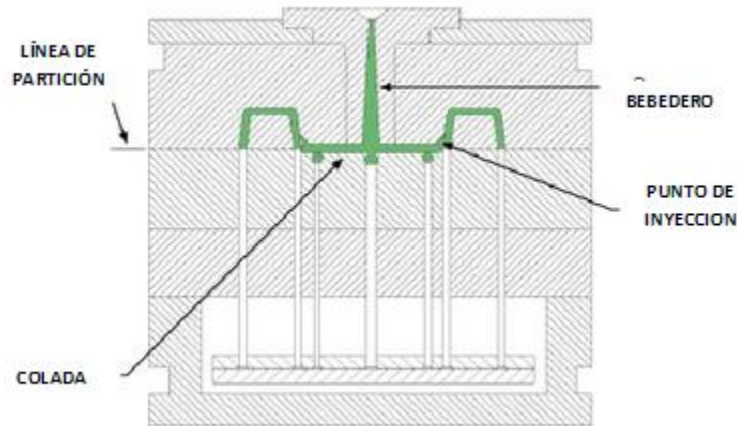


Fig. 2.8 Diagrama colada fría en molde de inyección de plástico (Referencia 6).

Para el diseño de coladas deberán considerarse los siguientes puntos:

- Localizar la colada en la sección más gruesa.
- Verificar las marcas de inyección en productos cosméticos.
- Evitar el efecto gusanillo (jetting) por modificar la localización y tamaño de la colada.
- Balancear el flujo de llenado para garantizar un llenado y empaquetamiento uniforme de la pieza.
- Evitar líneas de soldadura, o direccionarlas a secciones menos críticas.
- Minimizar el aire atrapado para evitar el efecto Diesel.
- Evitar colocar la colada en zonas sometidas a impacto o esfuerzo mecánico.
- Localizar la colada para su fácil expulsión.

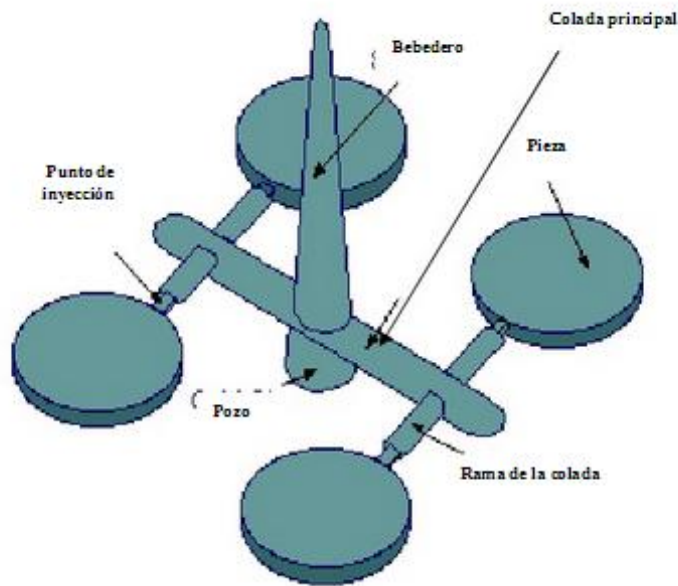


Fig. 2.9 Componentes en una colada (Referencia 6).

El bebedero conecta la boquilla de la máquina al sistema de alimentación o colada. Para asegurar una limpia expulsión del bebedero, este deberá un suave ángulo de desmoldeo y deberá de ser pulido en la dirección de desmoldeo.

El uso de un extractor de colada es recomendado. El uso de una trampa de material frío (pozo frío) es recomendado. Esta trampa previene que el material frío entre en el sistema de alimentación y finalmente en la parte, lo cual afectaría las propiedades finales de la pieza.

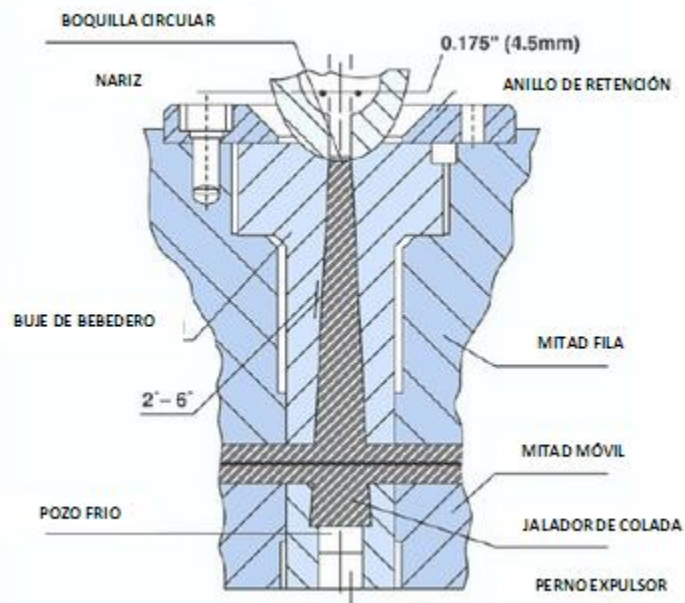


Fig. 2.10 Distribución de los componentes de la colada en el molde (Referencia 6).

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Las dimensiones del bebedero dependen primariamente de las dimensiones de la parte moldeada, en particular del espesor nominal de pared. Como una guía de diseño podemos considerar lo siguiente:

- El bebedero no se debe de enfriar antes que cualquier otra sección de la pieza, para permitir la suficiente transmisión de la presión de sostenimiento.
- El bebedero se debe expulsar fácilmente y con seguridad.

GEOMETRÍA DE LA COLADA.

La sección ideal de la colada es la circular, ya que esta asegura un flujo del fundido favorable y un enfriamiento uniforme.

Sin embargo, representa más esfuerzo maquinar una colada de sección circular, ya que una de las mitades se tendrá que construir en la parte fija y la otra mitad en la parte móvil del molde.

A	CIRCULAR		TRAPEZOIDAL RECTO		TRAPEZOIDAL CIRCULAR		
	(in)	(mm)	(in ²)	(mm ²)	(in ²)	(mm ²)	
1/8	3.2	0.012	8.0	0.016	10.4	0.015	9.7
3/16	4.8	0.028	18.1	0.036	23.4	0.033	21.8
1/4	6.4	0.049	32.2	0.063	41.6	0.059	38.7
5/16	7.9	0.077	49.0	0.099	63.4	0.092	59.0
3/8	9.5	0.110	70.9	0.143	91.6	0.133	85.3
7/16	11.1	0.150	96.8	0.194	125.1	0.181	116.4
1/2	12.7	0.196	126.7	0.254	163.8	0.236	152.4
5/8	15.9	0.307	198.6	0.397	256.7	0.369	230.9

Tabla 2.8 Relación área y geometría en coladas (Referencia 6).

Canales de colada traapezoidales en una de las mitades del molde provee una alternativa barata para el maquinado. La geometría combinada redonda traapezoidal provee de propiedades de fácil mecanización y se aproxima a las ventajas del canal circular. La altura del canal traapezoidal deberá de ser al menos el 80% del ancho máximo. Los canales de medio círculo no son recomendados, debido a su bajo

Volumen de alimentación. El diámetro de la colada depende de su longitud, del volumen de la parte, longitud de llenado, capacidad de la máquina y del tamaño del punto de inyección. Generalmente nunca deben de ser menores que el mayor espesor de pared de la pieza y usualmente están en un rango de entre 3 a 15mm.

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Dimensiones recomendadas de la colada son dadas en la siguiente tabla. La selección del diámetro de la colada deberá estar basada en los tamaños estándar de cortadores para su mecanizado.

ESPEJOR DE PARED mm (in)	DIÁMETRO DEL PUNTO DE INYECCIÓN / LONGITUD mm / (in)
0.7 - 1.2 mm (0.02 - 0.05)	0.7 - 1.0 / 0.8 - 1 (0.02 - 0.04 / 0.03 - 0.04)
1.2 - 3.0 mm (0.05 - 0.12)	0.8 - 2.0 / 0.8 - 1 (0.03 - 0.08 / 0.03 - 0.04)
3.0 - 5.0 mm (0.12 - 0.20)	1.5 - 3.5 / 0.9 - 1 (0.06 - 0.14 / 0.04 - 0.04)
≥ 5.0* (0.20)	3.5 - 6.0 / 0.9 - 1 (0.14 - 0.24 / 0.03 - 0.04)

Tabla 2.9 Relación espesor de pared y punto de inyección (Referencia 6).

Mientras que los canales de alimentación o bebederos largos facilitan el flujo de material a relativamente bajos requerimientos de presión, estos requieren de un mayor tiempo de enfriamiento, más consumo y desperdicio de material y mayor fuerza de cierre.

Diseñar el más corto y adecuado sistema de alimentación maximizará la eficiencia en el consumo de material y la energía necesario para el proceso de moldeo. La reducción del tamaño del sistema de alimentación es restringida por la capacidad de inyección de la máquina.

Inicialmente el diámetro de la colada puede ser calculado con la ecuación, sin embargo, análisis más detallados y precisos pueden ser desarrollados con el uso de software de análisis de flujo, donde los efectos del calentamiento por esfuerzo cortante y la formación de la capa aislante pueden ser tomados en consideración.

$$\phi_c = \left(\frac{\sqrt{w_f} \sqrt[4]{l_c}}{3.7} \right)$$

Donde:

ϕ_c : Diámetro de la colada (cm).

l_c : Longitud de la colada (cm).

(Referencia 5).

Por otro lado, la profundidad del pozo frío no deberá de ser mayor que el diámetro de la colada de manera que no se desperdicie material.

También es importante establecer que solo una trampa de material frío es recomendada cuando se diseñan las coladas, ya que se necesita atrapar un posible material solidificado que se haya quedado en la punta de la boquilla durante el proceso de enfriamiento y expulsión de la pieza, una vez atrapado dicho material no es necesario poner más trampas, que todo el material que sigue fluyendo hacia la cavidad ya está fundido y a la temperatura de trabajo.

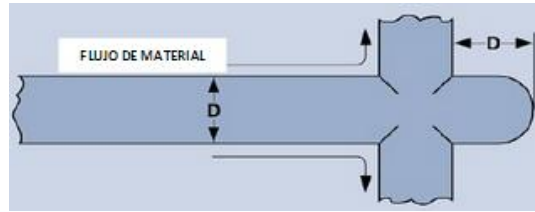


Fig. 2.11 Relación diámetro de colada y trampa de material (Referencia 6).

2.3.8 ORIFICIO DE LLENADO.

Para calcular el diámetro del orificio de llenado necesitamos conocer la tasa de corte o velocidad de corte. También se puede obtener las de mediciones directas con el viscosímetro rotacional.

$$\phi_z = \sqrt[3]{\frac{32 Q_m}{\pi \gamma}}$$

Donde:

(Referencia 5).

ϕ_z : Diámetro del orificio de llenado (cm).

γ : velocidad de corte (1/s).

Otra forma de obtener la tasa de corte es a través de la fórmula de Bingham para análisis de los fluidos no newtonianos independientes del tiempo.

$$\tau_r = \tau_o + \eta_p \gamma$$

Donde:

τ_r : Esfuerzo cortante del fluido reológico (N/cm²).

τ_o : Esfuerzo de fluencia del fluido reológico (N/cm²).

η Viscosidad plástica (N s/cm²).

(Referencia 5).

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

Material	Velocidad de corte (1/S)
PP	100,000
POM	60,000
PA	60,000
PPS	50,000
ABS	50,000

PBT	50,000
PEHD	40,000
PS	40,000
PSHI	40,000
SAN	40,000
PUR	40,000
PVC	20,000
PET	6,000

Tabla 2.10 Velocidades de corte para diversos plástico (Referencia 5).

Máxim a tasa de corte	CAUDAL (cm ³ /s)											c m
	25	50	75	100	150	200	250	300	350	400	450	
5,000	0.37	0.47	0.53	0.59	0.66	0.73	0.80	0.85	0.89	0.93	0.97	
10,000	0.29	0.37	0.42	0.47	0.53	0.59	0.63	0.67	0.71	0.74	0.77	
20,000	0.23	0.29	0.33	0.37	0.42	0.47	0.50	0.53	0.56	0.59	0.61	
30,000	0.19	0.26	0.29	0.32	0.36	0.40	0.44	0.47	0.49	0.51	0.53	
40,000	0.15	0.23	0.26	0.29	0.32	0.35	0.40	0.42	0.44	0.47	0.49	
50,000	0.13	0.22	0.25	0.28	0.31	0.34	0.37	0.39	0.41	0.43	0.45	
60,000	0.11	0.20	0.23	0.26	0.28	0.31	0.35	0.37	0.39	0.41	0.42	
100,00	0.09	0.17	0.20	0.22	0.24	0.26	0.29	0.31	0.33	0.34	0.36	

CAPÍTULO 2, CONSIDERACIONES TEORICAS PARA EL DISEÑO DE MOLDES

0	4		0	2	5	7		1	3			
CAUDAL (cm ³ /s)												
Máxim a tasa de corte	500	550	600	650	700	750	800	850	900	950	100 0	c m
5,000	1.01	1.040 0	1.07	1.10	1.13	1.15	1.18	1.2 0	1.22	1.25 0	1.27	
10,000	0.8 0	0.82	0.8 5	0.8 7	0.8 9	0.9 1	0.93	0.9 5	0.9 7	0.99	1.01	
20,000	0.6 3	0.65	0.6 7	0.6 9	0.71	0.7 3	0.74 0	0.7 6	0.7 7	0.79	0.8	
30,000	0.5 5	0.57	0.5 9	0.6 0	0.6 2	0.6 3	0.65	0.6 6	0.6 7	0.69	0.70	
40,000	0.5 0	0.52	0.5 3	0.5 5	0.5 6	0.5 8	0.59	0.6 0	0.6 1	0.62	0.63	
50,000	0.4 7	0.48	0.5 0	0.5 1	0.5 2	0.5 3	0.55	0.5 6	0.5 7	0.58	0.59	
60,000	0.4 4	0.45	0.4 7	0.4 8	0.4 9	0.5 0	0.51	0.5 2	0.5 3	0.54	0.55	
100,00 0	0.3 7	0.38	0.3 9	0.4 0	0.4 1	0.4 2	0.43 0	0.4 4	0.4 5	0.46	0.47	

Tabla 2.11 Relación caudal y velocidad de corte del material con respecto al diámetro del orificio. (Referencia 5).

Múltiples puntos de inyección.

A menos de que la longitud de llenado exceda los límites prácticos, una sola colada deberá de serla opción preferida. Coladas múltiples siempre crean líneas de partición donde los flujos de los distintos puntos de inyección se unen. Por otro lado, puede hallarse una diferencia entre las piezas inyectadas al centro y las piezas inyectadas en la orilla. Las piezas inyectadas por el centro muestran un flujo de llenado radial.

Este tipo de punto de inyección es particularmente bueno para partes simétricas, como piezas en forma de taza o engranes, porque de esta forma se asegura una uniforme distribución del material, temperaturas, empaquetamiento y una mejor orientación de las cadenas que dan resultados bastante predecibles. Por otra parte, en el flujo lineal y cruzado sus propiedades siempre difieren.

En partes planas este tipo de flujo puede inducir esfuerzos residuales adicionales y resultar en alabeo o contracción irregular.

Tipos de puntos de inyección.

Tan importante como seleccionar el óptimo tamaño de la colada, el óptimo tamaño del punto de inyección y la localización del lugar de inyección, es importante también el tipo de punto de inyección. Los puntos de inyección pueden ser divididos en dos tipos:

- Punto de inyección de corte manual.
- Punto de inyección de corte automático.

Dentro de los puntos de inyección de corte manual podemos encontrar los siguientes:

Entrada de boquilla directa.

Recomendada para moldes de una sola cavidad o para partes que requieren un llenado uniforme. Este tipo de punto de inyección es conveniente para partes de pared gruesa debido a que la presión de sostenimiento es más efectiva. Una trampa de material frío o pozo frío deberá de incluirse al final de la colada. Un bebedero corto es recomendado ya que permite un llenado rápido del molde y bajas pérdidas de presión. La desventaja de utilizar este tipo de coladas es el vestigio del punto de inyección después de que es retirada de la pieza inyectada. El enfriamiento es controlado por el espesor nominal de pared, el cual determina el espesor de la colada.

Generalmente la contracción de la pieza en la zona cercana al punto de inyección será baja, por el contrario, la contracción en el material de la colada será alta.

Esto da como resultado altos esfuerzos de tensión cerca de la zona de inyección.



Fig. 2.13 Máquina con sistema de preplastificación con tornillo (Referencia 6).

- Dimensiones

El diámetro de inicio del bebedero está controlado por la boquilla de la máquina. Este diámetro deberá de ser alrededor de 0,5mm más grande que el diámetro de salida de la boquilla de inyección. Los bebederos estándar tienen un ángulo de 2,4°, que inician desde la boquilla de inyección y terminan en la pieza inyectada. Por lo tanto, la longitud del bebedero controlará el diámetro del punto de inyección, el cual deberá ser al menos 1,5mm más largo (o aproximadamente el doble) que el espesor de la pieza en el punto de inyección. La unión de la colada y la pieza deberá de tener radios, para así evitar fracturas por concentración de esfuerzos. Un ángulo menor al recomendado (un mínimo de 1°) corre el riesgo de no desmoldear el bebedero al momento de la expulsión. Un bebedero muy largo desperdicia mucho material y extiende el tiempo de enfriamiento. Bebederos no estandarizados pueden resultar a la larga más costosos, solo se ahorrará muy poco en su manufactura.

Entrada laminar o lateral.

La entrada laminar es apropiada para espesores medianos y gruesos y pueden ser usadas en moldes de dos placas y múltiples cavidades.

El punto de inyección es localizado en la línea de partición y llena la pieza desde un costado, desde arriba o desde la parte inferior.

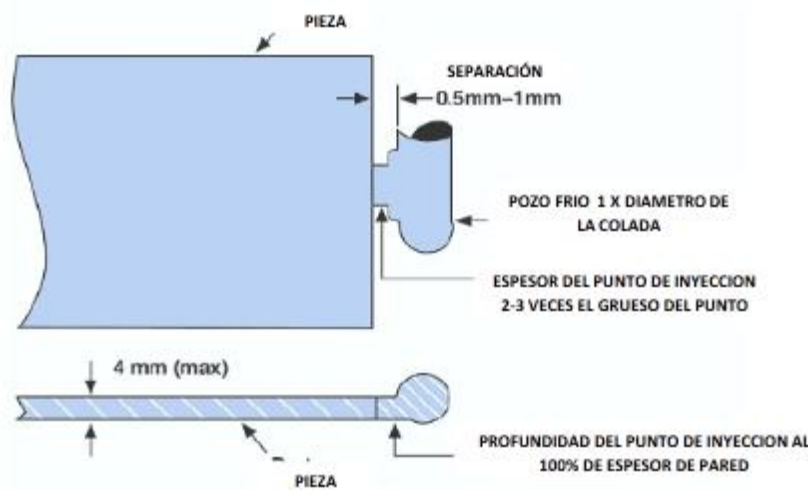


Fig. 2.14 Entrada laminar o lateral (Referencia 6).

- Dimensiones:

Generalmente el tamaño del punto de inyección es del 80-100% de espesores arriba de 3,5mm, con un ancho de 1-12mm. La separación entre la colada y la pieza no debe ser más de 1,00mm, siendo 0,5mm el óptimo.

Entrada de lengüeta.

Este tipo de entrada es usada para partes planas y delgadas, reduce el esfuerzo cortante en la cavidad. Los altos esfuerzos cortantes generados alrededor del punto de inyección son confinados a la lengüeta auxiliar, la cual es cortada después de la inyección.

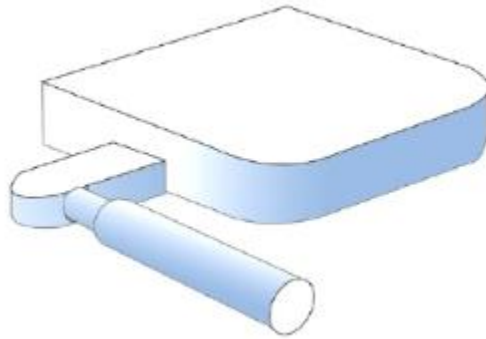


Fig. 2.15 Entrada de lengüeta (Referencia 6).

- Dimensiones:

El ancho mínimo de la lengüeta es de 6,00mm, el espesor mínimo es el 75% de la profundidad de la cavidad.

Entrada laminar superpuesta.

Este tipo de entrada es similar a la entrada laminar, excepto que el punto de inyección está superpuesto a la superficie de la pieza. Este tipo de entrada es usualmente utilizada para eliminar los problemas de gusanillo (jetting).

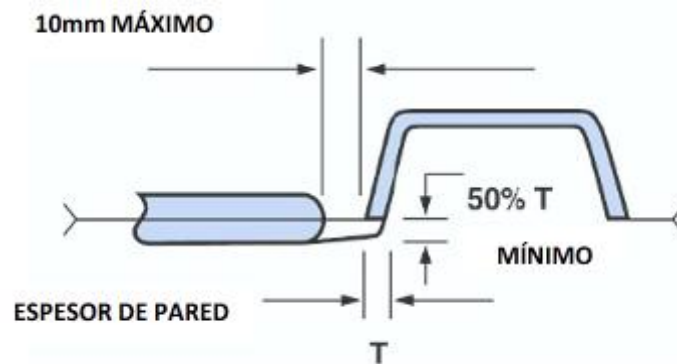


Fig. 2.16 Entrada laminar superpuesta (Referencia 6).

Entrada tipo abanico.

Este es un tipo de entrada ancha con espesor variable. Este tipo de entrada es utilizada para piezas de pared gruesa y permite una inyección suave sin el problema de frente de llenado con material frío, lo cual favorece a bajar los esfuerzos residuales por moldeo o cuando el alabeo y la estabilidad dimensional son críticos. Este tipo de entrada deberá tener ángulo a lo ancho y a lo largo del punto de inyección, para mantener una sección transversal constante. Con esto aseguraremos que la velocidad de llenado sea constante, el ancho del punto de inyección sea utilizado en su totalidad para el flujo del fundido y la presión de llenado sea la misma en toda la sección transversal.

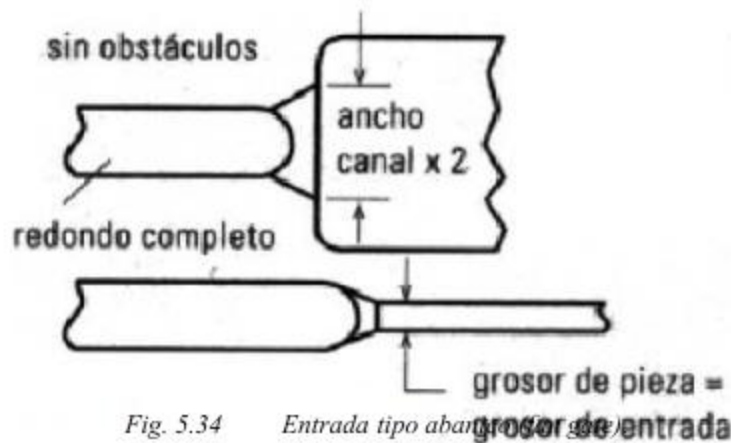


Fig. 5.34 Entrada tipo abanico

Fig. 2.17 Entrada tipo abanico (Referencia 6).

- Dimensiones:

Al igual que en otros puntos de inyección de corte manual, el máximo espesor no deberá de ser mayor que el 80% del espesor nominal de la pieza. El ancho del punto de inyección varía generalmente de 6,00mm hasta el 25% de la longitud de la cavidad.

Entrada laminar.

Este tipo de entrada consiste en un bebedero recto y un punto de inyección a lo largo de toda la longitud de la pared de la pieza. Es utilizada para paredes delgadas y largas, proveyendo un llenado uniforme. Las contracción es también serán más uniformes, lo cual es especialmente importante para materiales reforzados y donde el alabeo deba mantenerse al mínimo.



Fig. 2.18 Entrada laminar (Referencia 6).

- Dimensiones:

El punto de inyección es pequeño, generalmente de 0,25-0,50mm de espesor. La distancia entre el bebedero y el punto de inyección deberá mantenerse tan corta como sea posible, entre 0,50 1,00mm de longitud.

Entrada de diafragma.

La entrada tipo diafragma es frecuentemente utilizada para inyectar piezas cilíndricas o piezas plásticas secciones redondas huecas. Es utilizada para moldes de una sola cavidad con pequeño o mediano diámetro interno. Es usada cuando la concetricidad de la pieza es importante y cuando la presencia de líneas de soldadura no es aceptable.

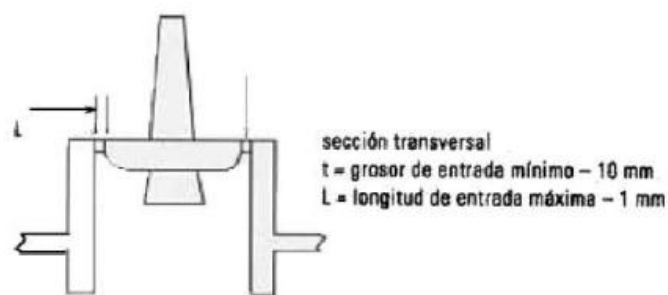


Fig. 2.19 Entrada de diafragma (Referencia 6).

- Dimensiones:

El espesor de la sección de inyección es generalmente de 0,25-1,5mm.

Entrada anular interna y externa.

Este tipo de entradas son utilizadas para partes cilíndricas o secciones redondas huecas de la pieza. Son utilizadas en moldes multicavidades o cuando la entrada tipo diafragma no es práctica. El material entra al anillo interno o externo únicamente por un lado del bebedero, formando una línea de soldadura en el lado opuesto al punto de la entrada de material. Esta línea de unión normalmente no se transfiere a la pieza.

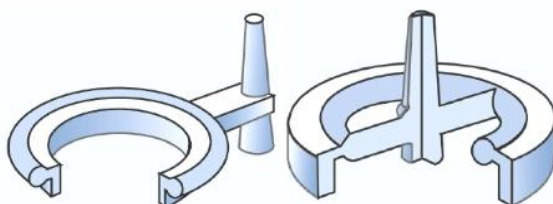


Fig. 2.20 Entrada anular interna y externa (Referencia 6).

Entrada múltiple.

Esta clase de entrada es utilizada para piezas cilíndricas y ofrece una separación fácil del punto de inyección y ahorro de material. Sus desventajas son la posibilidad de presencia de líneas de soldadura y el hecho de que la redondez perfecta es improbable.



Fig. 2.21 Entrada múltiple (Referencia 6).

Entrada capilar.

La entrada capilar es posible usarla solamente con moldes de tres placas, debido a que la colada deberá de ser expulsada separadamente de la pieza y en la dirección opuesta.

El punto de inyección deberá de ser lo suficientemente débil para romperse sin dañar la pieza. Este tipo de punto de inyección es recomendado para piezas de pared delgada. El diseño es particularmente útil cuando se requieren múltiples puntos de inyección para una sola pieza, a manera de asegurar un llenado simétrico o cuando la longitud de flujo deba de ser reducida para asegurar el empaquetamiento en todas las áreas de la pieza.

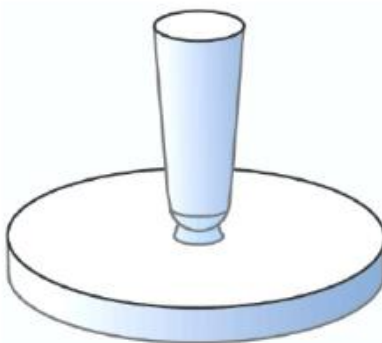


Fig. 2.22 Entrada capilar (Referencia 6).

- Dimensiones:

El diámetro del punto de inyección para termoplásticos sin refuerzos está en un rango de 0,8 ±6,0mm. Puntos de inyección menores pueden inducir altos esfuerzos cortantes y crear degradación térmica. Para termoplásticos reforzados se requiere puntos de inyección ligeramente mayores a 1,00mm.

El claro máximo entre la colada y la pieza deberá de ser de 1,00mm. Las dimensiones recomendadas para este tipo de punto de inyección son mostradas en la tabla

ESPESOR DE PARED mm (in)	DIÁMETRO DEL PUNTO DE INYECCION / LONGITUD mm (in)
0.7 - 1.2 mm (0.02 - 0.05)	0.7 - 1.0 / 0.8 - 1 (0.02 - 0.04 / 0.03 - 0.04)
1.2 - 3.0 mm (0.05 - 0.12)	0.8 - 2.0 / 0.8 - 1 (0.03 - 0.08 / 0.03 - 0.04)
3.0 - 5.0 mm (0.12 - 0.20)	1.5 - 3.5 / 0.9 - 1 (0.06 - 0.14 / 0.04 - 0.04)
≥ 5.0*	3.5 - 6.0 / 0.9 - 1 (0.14 - 0.24 / 0.03 - 0.04)

Tabla 2.12 Colada entrada capilar (Referencia 6).

2.3.9 ANILLO CENTRADOR

Cálculo del montaje.

Una vez seleccionado el sistema de inyección que más satisfaga las necesidades de nuestra pieza es necesario hacer algunos cálculos para su montaje.

- Tamaño de tornillos

El anillo de centrado y sus tornillos deberán soportar las fuerzas de empuje que genere la unidad de cierre. Cuando la máquina está inyectando el fundido dentro de la cavidad se genera una fuerza perpendicular a la línea de partición, la cual intentará abrir el molde; para evitar esto la unidad de cierre genera lo que conocemos como fuerza de cierre F_c la cual es proporcional al área proyectada,

Esta fuerza de cierre intentará sacar al inyector caliente fuera del molde, es entonces que los tornillos del anillo de centrado soportan esta carga. Los tornillos y el anillo de centrado deberán entonces ser dimensionados apropiadamente y mantener el círculo base de los tornillos lo más pequeño posible. Valores guía para la selección de tornillos pueden ser tomados de la tabla.

El torque de apriete para el tornillo debe ejercer suficiente fuerza de precarga, de manera que esta tensión inicial esté aún presente cuando se inicie la fuerza de operación. La precarga deberá de ser calculada con un factor de seguridad de 2-4 veces la fuerza anticipada de operación. Los tornillos deberán seleccionarse tan largos como sea posible.

TIPO DE TORNILLO	MAXIMA PRECARGA F_p EN Kn		MÁXIMO TORQUE DE APRIETE M_a EN Nm	
	PROPIEDAD CLASE		PROPIEDAD CLASE	
ROSCAMETRICA DE PASO ESTANDAR	10.9	12.9	10.9	12.9
M8	24	28	37	43
M10	38	45	73	84
M12	56	65	125	148
M16	105	122	315	370
M20	165	190	615	700
M24	235	275	1050	1250
ROSCAMETRICA DE PASO FINO				
M8x1	26	31	40	46
M10x1,25	41	43	77	90
M12x1,5	59	69	132	155
M16x1,5	114	134	340	390
M20x1,5	188	220	680	800
M24x2	265	310	1150	1350

Tabla 2.13 Tornillos para el montaje en el anillo centrador (Referencia 6).

Despejando la fuerza de cierre

$$F_c = P_i A_p$$

(Referencia 5).

Sin embargo para este caso la fuerza de cierre F_c es nuestra fuerza de operación en N. De la ecuación anterior solamente tendremos que dividir la fuerza de precarga entre el número de tornillos y multiplicarla por el factor de seguridad deseado, de 2-4 veces la fuerza de operación y así tenemos la fuerza de precarga requerida.

$$F_v = \frac{F_c}{N_t} FS$$

Donde:

F_v : Fuerza de precarga (N).

FS: Factor de seguridad seleccionado, de 2-4 (adimensional).

(Referencia 5).

2.3.10 UBICACIÓN DEL PUNTO DE INYECCIÓN.

La determinación del punto de inyección es, en la mayoría de las ocasiones, la que nos determina el correcto funcionamiento de nuestro molde. Esto es debido a que la solidificación del fundido dentro de las cavidades del molde es un fenómeno influenciado por la temperatura del molde y el espesor nominal de pared.

Es por esto que el punto de inyección deba de estar siempre posicionado en una sección gruesa de la pieza. Si el punto de inyección no se encuentra en una sección gruesa, vacuolas y hundimientos pueden presentarse durante la solidificación de la pieza. Por supuesto que estos fenómenos se presentan también por la baja presión de sostenimiento y por el enfriamiento prematuro del área cercana al punto de inyección. La posición del punto de inyección determinará la dirección del flujo del material inyectado dentro de la cavidad, lo cual es la causa de la orientación de las cadenas dentro de la pieza, lo cual puede afectar o beneficiar las propiedades mecánicas de la pieza. La orientación de las cadenas puede determinar la dirección principal de contracción, ocasionándonos problemas dimensionales incorregibles, generando así un molde que no cumple con las especificaciones de calidad del cliente.

El grado de orientación de las moléculas es mucho más crítico en piezas de pared delgada. Los mejores resultados de las resistencias a la tensión y al impacto son cuando las cargas se aplican en la dirección del flujo. Cuando las cargas son perpendiculares a la orientación de las cadenas la resistencia se ve drásticamente disminuida. A continuación vemos una lista de las características en las que la localización del punto de inyección hace influencia.

- **Apariencia.** Siempre que sea posible localice el punto de inyección donde no sea visible, para evitar problemas de los residuos o vestigios que pudiese dejar el punto de inyección.
- **Esfuerzos residuales.** Evitar localizar el punto de inyección en los lugares de alta exigencia mecánica o de impacto. El área de inyección presenta altos esfuerzos residuales, además de que el vestigio del punto de inyección actúa como concentrador de esfuerzos.
- **Presión.** Localizar el punto de inyección en la parte más gruesa de la pieza asegura la adecuada distribución de la presión de sostenimiento en la pieza. Esto también ayudará a evitar vacuolas y hundimientos.

- **Orientación.** Como ya lo mencionamos, la orientación molecular es más crítica en piezas de pared delgada. Las moléculas normalmente se alinean en la dirección del flujo. Por otro lado, altos grados de orientación resultan en piezas que tienen resistencia uniaxial, es decir, piezas con resistencia a la carga en una sola dirección. Para minimizar la orientación molecular el punto de inyección deberá estar localizado de tal manera de que el fundido entre a la cavidad y choque con la pared de la cavidad, para así diversificar la orientación de las cadenas.



Fig. 2.23 Importancia de la orientación en el punto de inyección (Referencia 6).

- **Líneas de unión.** Localizar el punto de inyección de manera que se minimice el número y longitud de líneas de unión, o bien es necesario localizar el punto de inyección de tal manera que las líneas de unión se orienten en una dirección que no perjudique el desempeño mecánico, funcional o estético de la pieza. Cuando las líneas de unión sean inevitables, trate de colocar el punto de inyección lo más cerca posible de la unión de los flujos, esto ayudará a mantener altas temperaturas en el fundido lo cual es benéfico para la resistencia de la línea de soldadura



Fig. 2.24 Influencia de la localización del punto de inyección en las líneas de unión (Referencia 6).

- **Alabeo.** Un incorrecto dimensionamiento o localización del punto de inyección pueden también resultar en patrones de flujo indeseado dentro de la cavidad. Esto en ocasiones puede resultar en líneas de soldadura visibles en la pieza. Esos patrones de flujo indeseables pueden también causar deformación en la pieza debido al alabeo.

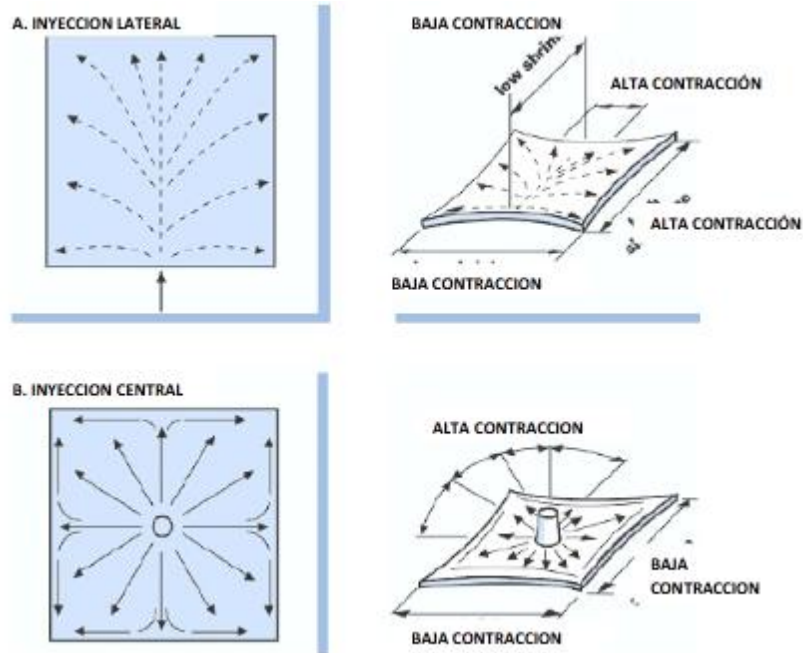


Fig. 2.25 Influencia del patrón de flujo en el alabeo de la pieza (Referencia 6).

2.3.11 CÁLCULO DE LA CONTRACCIÓN.

El diseñador del molde debe considerar todos los factores que generen contracción, ya que es de vital importancia determinar en qué dirección se pueden presentar mayores índices de contracción en función del alineamiento de cadenas

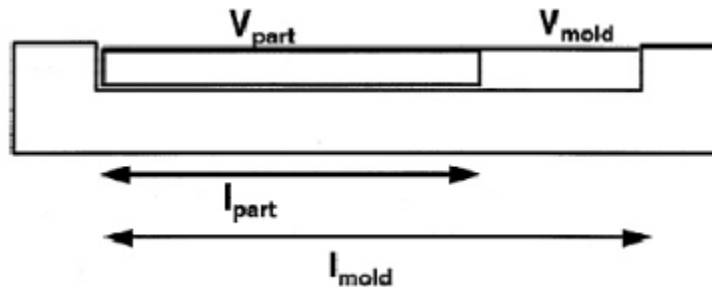


Fig. 2.26 Cálculo de la contracción en la pieza (Referencia 5).

El cálculo de esta contracción está dado en la siguiente ecuación, dónde el porcentaje de contracción está en función de la longitud de la pieza y la longitud de la cavidad.

$$R_c = \frac{d_m - d_p}{d_m}$$

Donde:

- R_c : Rango de contracción (cm/cm).
- d_m : Dimensión requerida en el molde (cm).
- d_p : Dimensión requerida en la pieza (cm).

(Referencia 5).

Este rango o índice de contracción lo podemos encontrar en las hojas técnicas de los polímeros como un porcentaje. Comúnmente encontraremos moldes donde la contracción se ha considerado uniforme a todas las direcciones de la pieza, sin embargo esto solo puede ser considerado de tal forma solo si hemos seguido todas las recomendaciones para tener contracciones uniformes.

Sin embargo, el cálculo exacto de estas contracciones y de su dirección no puede ser evaluado, ya que dependemos también de un material polimérico, generalmente anisotrópico. De cualquier manera el diseñador del molde deberá seleccionar la dirección y la cantidad de contracción en función de las propiedades del flujo, enfriamiento, ubicación del lugar de inyección, tipo del punto de inyección, tipo de material y condiciones generales de moldeo. Es decir, no es lo mismo moldear una pieza pequeña a bajos volúmenes de producción, que una pieza que requiere gran parte de la capacidad de plastificación de la máquina con grandes requerimientos de producción y con un tiempo ciclo lo más bajo posible.

2.3.12 ÁREA DE CONTACTO.

Es importante determinar el área mínima necesaria para soportar la fuerza de cierre F_c en la cavidad del molde. No tener suficiente área que soporte esta fuerza representará deformación a la compresión, de manera que los venteos realizados en el molde se cerrarán, provocando todos los problemas que ya mencionamos en el apartado de venteos.

Cuando se hace un buen cálculo de esta área los mantenimientos requeridos para reparar los venteos se reducen enormemente, la vida de estas ranuras se prolonga en proporción directa del área de contacto. Aún cuando el diseñador ya tenga estimada o definida la máquina donde será montado el molde, se deberá prever de que se podrá montarlo en una máquina de mayor tonelaje, por lo que el cálculo deberá estar orientado a esta posibilidad.

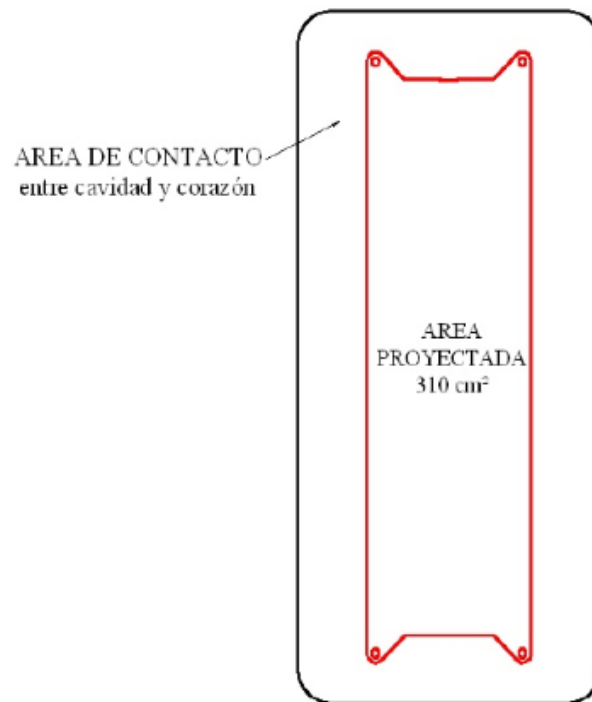


Fig. 2.27 Área de contacto

$$A_c = \frac{F_c}{\sigma_c}$$

Donde:

A_c : Área de contacto (cm²).

σ_c : Factor de esfuerzo por contacto, 13,8MPa para aceros templados y 41.4MPa para aceros tratados.

(Referencia 5).

2.3.13 CÁLCULO DEL PERNO GUÍA.

En los moldes de 3 placas los pernos guía sostienen todo el peso de la placa porta cavidades y la placa expulsora, por lo que presentan deformaciones que son importantes de calcular, ya que la deflexión de estos elementos del molde puede ocasionar desgaste prematuro de los casquillos guía o hasta del propio perno.

La deflexión máxima del perno guía está dada en la ecuación:

$$\varepsilon_{pg} = \frac{m_{pg} L_{pg}^3}{3 E_{pg} I_{pg}}$$

Donde:

ε_{pg} : Deformación máxima del perno guía (cm).

L_{pg} : Longitud del perno guía (cm).

E_{pg} : Módulo de Young del perno guía (kg/cm²).

I_{pg} : Momento de inercia del perno guía (cm⁴).

Sabemos que el momento de inercia del perno guía es:

$$I_{pg} = \frac{\pi \phi_{pg}^4}{64}$$

Donde:

ϕ_{pg} : Diámetro del perno guía (cm).

(Referencia 5).

También sabemos que normalmente son 4 los pernos guía que sostienen a la placa porta corazones en un molde, por lo que el diámetro que se utilice para la fórmula deberá ser multiplicado por 4, o bien, la suma de todos los diámetros, para así obtener valores lo más aproximados a la realidad.

2.3.14 SISTEMA DE EXPULSIÓN.

Después de que la pieza moldeada ha solidificado y enfriado, esta deberá de ser retirada del molde. Sería ideal que la pieza saliera de las cavidades del molde solamente por la acción de la gravedad, sin embargo, la pieza moldeada permanece dentro del molde debido a posibles ángulos negativos de la pieza, la adhesión y los esfuerzos internos.

Es por esto que es necesario emplear otro tipo de sistemas o dispositivos para expulsar la pieza fuera del molde.

El equipo de expulsión es normalmente accionado mecánicamente por el sistema de apertura y expulsión de la máquina. Si este simple arreglo de dispositivos no es suficiente para expulsar la pieza, esta deberá ser desmoldeada a través de elementos neumáticos o hidráulicos. La expulsión manual de la pieza solo deberá ser permitida durante corridas piloto o de muestras, cuando el tiempo ciclo y su exactitud no son importantes, o bien cuando la cantidad de producción anual sea lo bastante baja como para no justificar en gasto de un sistema automático de expulsión

El sistema de expulsión es normalmente dispuesto en la mitad móvil del molde. La apertura del molde el accionamiento mecánico del sistema de expulsión por delante de la línea de partición. Un requisito para este sistema es, por supuesto, que la pieza permanezca del lado móvil del molde.

Esto puede ser conseguido a través de la incorporación de ángulos negativos en la pieza o permitiendo que la pieza moldeada presente sus contracciones sobre la mitad móvil o corazón. Sin embargo el ángulo de desmoldeo y los acabados superficiales deberán asegurar que la pieza moldeada no se sujete demasiado al corazón. Retener la pieza moldeada sobre la mitad móvil puede convertirse en un problema si el corazón está en la mitad fija del molde. Esto deberá de ser evitado o se requerirá de sistemas de expulsión demasiado complejos y caros. En general podemos establecer como una regla práctica que la carrera de expulsión del molde deberá de ser de al menos 2.5 veces la altura máxima de la pieza

PERNOS BOTADORES

Este es el tipo más empleado para la expulsión de piezas plásticas. Se hace a través de pernos expulsores que tocan directamente a la pieza para sacarla del corazón. Para este tipo de expulsión encontraremos una gran variedad de pernos expulsores, de los cuales el diseñador deberá seleccionar el que mejor se adapte a las necesidades del molde y de la pieza.

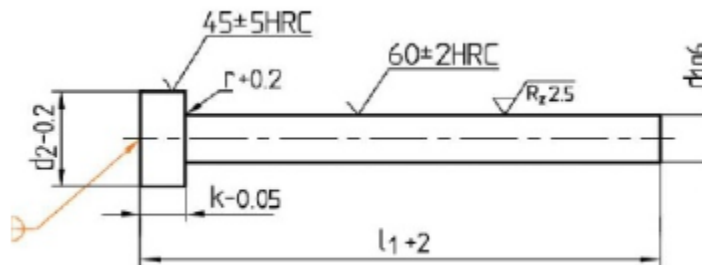
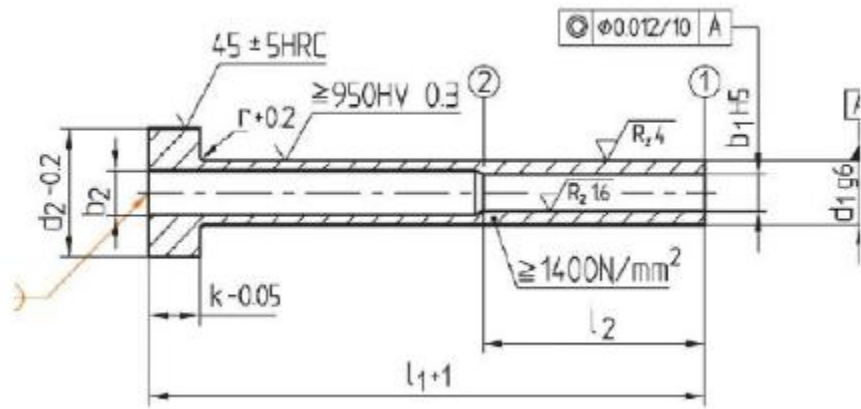
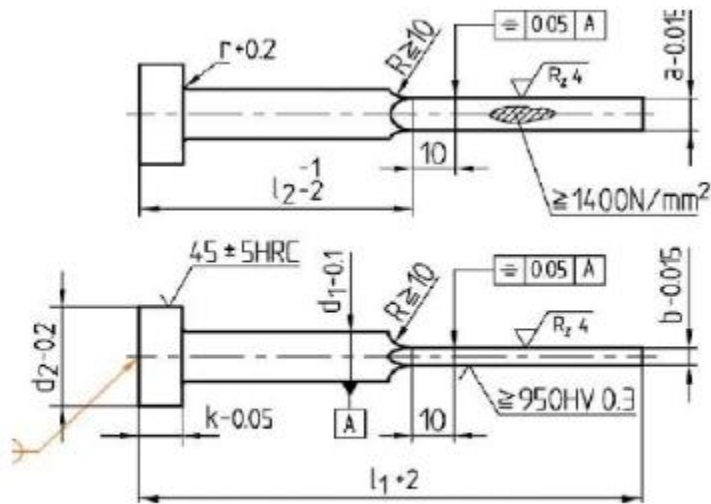


Fig. 2.28 Perno expulsor cilíndrico (Referencia 6).

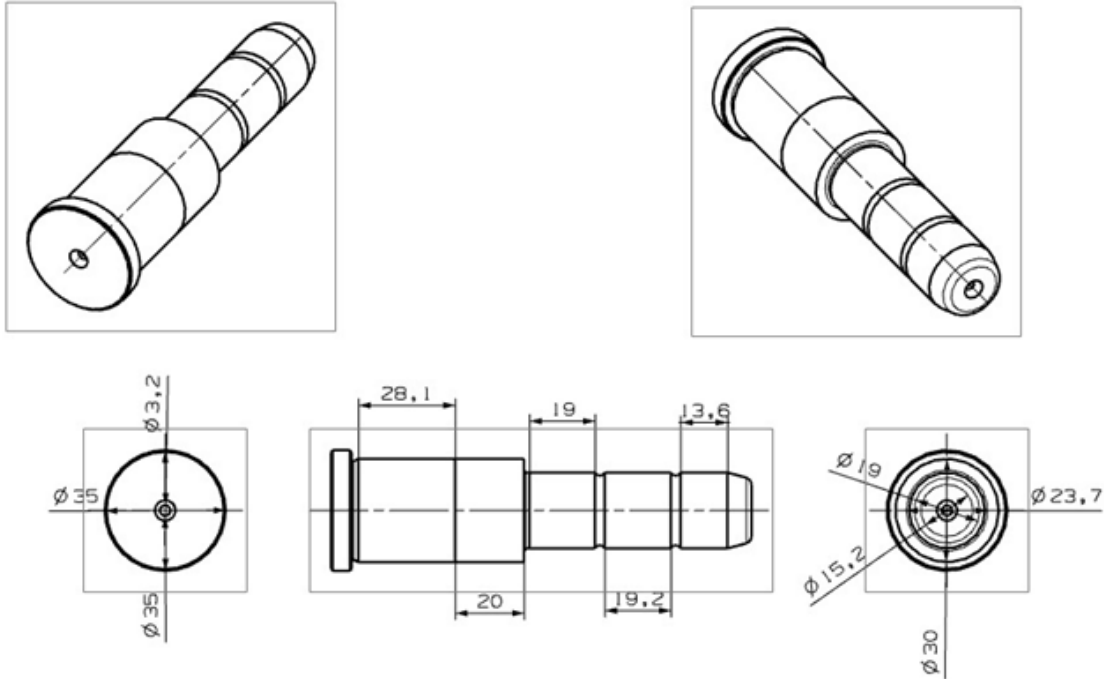


Perno expulsor tubular.



Perno expulsor laminar.

Fig. 2.29 Perno expulsor tubular y perno expulsor laminar (Referencia 6).



Capítulo 3

Modelado CAD, condiciones iniciales del portamolde.

- 3.1 Introducción.
- 3.2 Herramienta de diseño CAD.
- 3.3 Condiciones iniciales del portamolde.
- 3.4 Modelado CAD componentes molde.
- 3.5 Ensamblés.
- 3.6 Implementaciones necesarias.

3.1 INTRODUCCIÓN.

En el capítulo anterior se habló de la importancia del CAD/CAM como herramienta de diseño en la ingeniería. Utilizando el conocimiento que esta herramienta computacional nos ofrece, combinado con los conocimientos de materias de la carrera de ingeniería mecánica, como dibujo mecánico e industrial o bien la materia de diseño y manufactura asistida por computadora, podemos utilizar todo esto como conocimiento básico para el desarrollo del siguiente capítulo.

Mencionado lo anterior, se utiliza el CAD/CAM como herramienta principal para modelar las condiciones iniciales de cada una de las piezas del portamolde en estudio. Para ello es importante conocer las características del portamolde, es decir, conocer todos los componentes originales que lo comprenden, para esto nos se usa la ficha técnica del mismo para después realizar las mediciones correspondientes utilizando herramientas de medición como el calibrador, para obtener las dimensiones características de cada pieza en cuestión.

En este capítulo se presenta el software seleccionado para la digitalización de cada una de las piezas, cabe mencionar que será el mismo con el que se realizará todo el trabajo presentado en capítulos posteriores.

Al terminar de tomar las mediciones correspondientes se presenta una lista de todos los componentes o partes con las que se encuentra el portamolde, es decir las condiciones iniciales del mismo, se digitalizarán los planos de las mediciones y se realizan las extrusiones correspondientes de cada una de las piezas con las que el molde cuenta inicialmente.

La importancia de hacer lo anterior radica en ayudar a visualizar los componentes faltantes en el portamolde así como el futuro diseño y rediseño de los mismos.

Se resume todo lo anterior en:

- Análisis de condiciones iniciales del portamolde.
- Digitalización CAD de las partes del portamolde.
- Ensamble de las piezas del portamolde.
- Análisis de las piezas faltantes.
- Análisis sobre los procesos de manufactura que se requieren.

3.2 HERRAMIENTA DE DISEÑO CAD/CAM

UNIGRAPHICS NX 7

La herramienta CAD seleccionada para el levantamiento de elementos, planos y modelos sólidos es Unigraphics NX7, a continuación se muestra una descripción sobre el software.

Unigraphics es un completo sistema CAD/CAM/CAE en tres dimensiones, con una estrecha relación entre todos sus módulos. Combinando todos ellos se puede diseñar, analizar, crear planos y programas de mecanizado del producto. Unigraphics proporciona diseño basado en curvas y superficies paramétricas. Esta es una de sus principales y más importantes características, ya que asegura una total asociatividad del diseño, tanto internamente (asociatividad entre entidades geométricas) como externamente (asociatividad con los módulos de CAM y CAE).

Es una herramienta CAD/CAM/CAE que cubre todo el ciclo de desarrollo de un producto, desde la primera idea del diseñador hasta la obtención de la pieza terminada.

- Como modelador híbrido combina el diseño paramétrico con el tradicional complementándose con un potente y fiable módulo para el mecanizado y el análisis térmico y estructural.

- Permite trabajar con secciones, combinar sólidos paramétricos con superficies complejas evolutivas, permitiendo añadir nuevas especificaciones al diseño o anular anteriores restricciones, dando al diseñador absoluta libertad de trabajo.

- El principio básico es la utilización del modelo tridimensional como punto de partida, facilitando la creación de vistas, secciones, detalles y proyecciones de un modo automático. El dibujo así creado está totalmente asociado con la pieza de partida.

- Proporciona las técnicas de procesado, mallado de la geometría, análisis básico de esfuerzos y post procesado de datos interpretando gráficamente los resultados obtenidos.

UG se basa en el núcleo modelador subyacente, Parasolid, desarrollado directamente por Unigraphics Solutions. Este núcleo proporciona una extensa librería de funciones orientadas a objetos, especialmente desarrolladas para el modelado sólido.



Fig. 3.1 Software CAD/CAM/CAE Unigraphics Nx7 (Referencia 16).

3.3 CONDICIONES INICIALES PORTAMOLDE DE INYECCIÓN

ESPECIFICACIONES DEL PORTAMOLDE DE INYECCIÓN

El molde a rediseñar está ubicado en el laboratorio de procesamiento de plásticos, en el edificio del departamento de materiales de la Facultad de Ingeniería.

Tiene como objetivo ser parte de las actividades de investigación, manufactura entre otras que se realizan dentro del laboratorio de las materias de Ciencia de Materiales y CAD/CAM que se imparten en la Facultad de Ingeniería de la U.N.A.M.



(Referencia 11)

A continuación se presentan las características del molde a rediseñar

Portamolde Estándar Tipo Europeo Polimold 246 x 296 mm Montaje 5ª

- Placa base superior: 27 mm, EN ACERO 1045
- Placa A: 66 mm, EN ACERO P20
- Placa B: 76 mm, EN ACERO P20
- Placa de soporte: 36 mm, EN ACERO 1045
- Paralelas: 76 mm , EN ACERO 1045
- Contra placa de botado: 12 mm, EN ACERO 1045
- Placa de botado 17 mm, EN ACERO 1045
- Placa base inferior: 27 mm, EN ACERO 1045

Incluye: Pernos y bujes guía en placas de cavidades, botado guiado desde la placa de soporte, pernos de retorno, tornillería.

CONDICIONES INICIALES

Cabe destacar que las piezas que componen al portamolde se encontraron en excelente estado. Es importante tener conocimiento de los componentes iniciales del portamolde, estos componentes pueden ser percibidos con claridad sin la necesidad de desarmar el molde. Pero es importante hacer un desarme del mismo para poder realizar las mediciones correspondientes.

El molde puede ser dividido básicamente en dos partes:

- Parte fija
- Parte móvil

La parte fija: llamada así porque es la parte del molde que no se mueve cuando la máquina de inyectar realiza todos sus movimientos. Está sujeta al plato de la máquina fijo, y es donde apoya el cilindro de **inyección** de la máquina, para introducir en el molde el plástico fundido. O sea es el que está más cerca del grupo inyección.

La parte móvil: llamada así porque es la parte que está sujeta al plato móvil de la máquina y solidariamente con esta, se mueve. También es donde está normalmente ubicado el sistema de expulsión de la pieza cuando está terminada.

A continuación se muestra un diagrama de las piezas con las que inicialmente se encontró el portamolde, así como imágenes fotográficas del mismo.

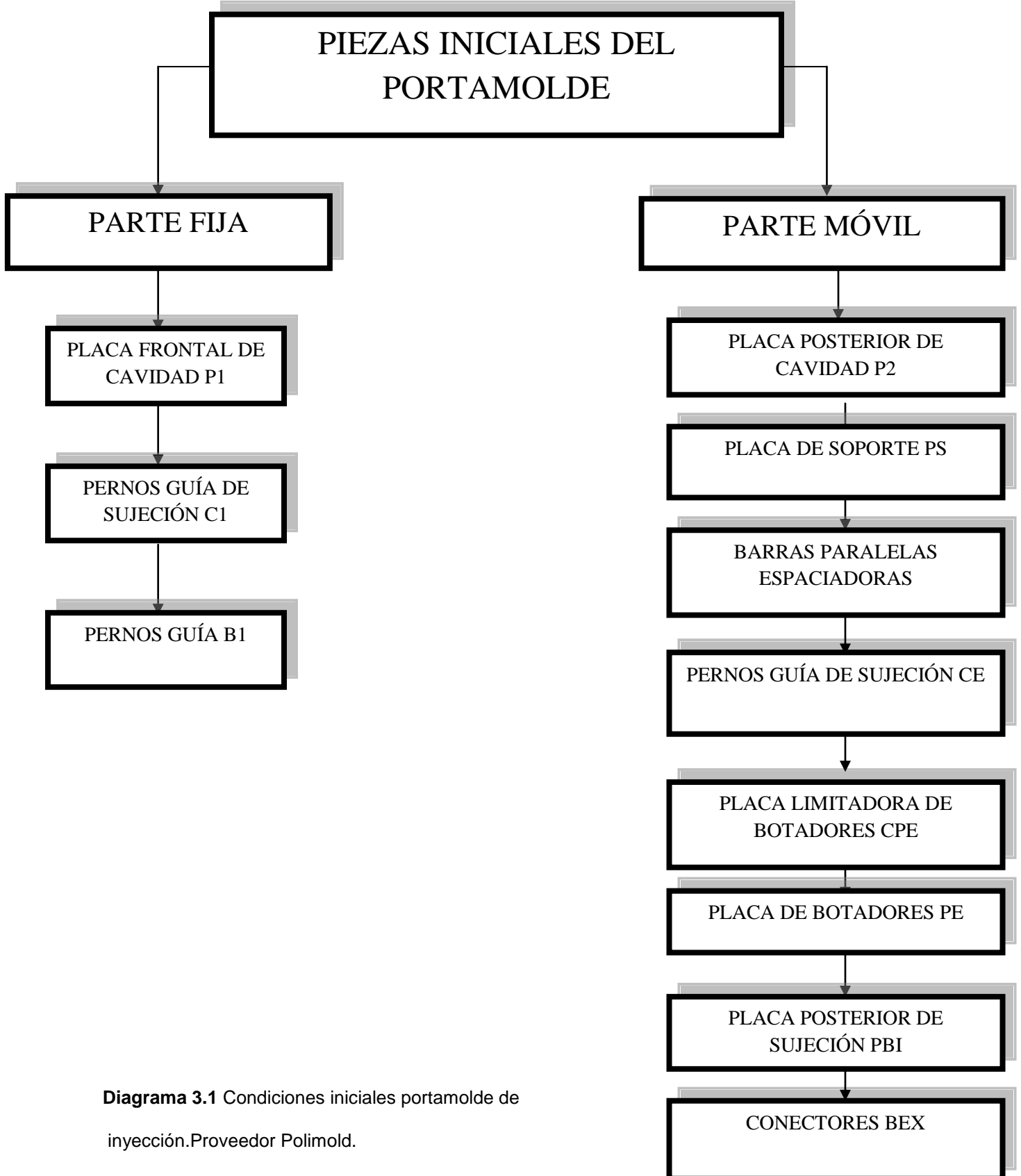


Diagrama 3.1 Condiciones iniciales portamolde de inyección. Proveedor Polimold.



Fig. 3.2 Vista posterior portamolde.



Fig. 3.3 Vista isométrica portamolde.



Fig. 3.4 Vista lateral portamolde.



Fig. 3.5 Vista frontal portamolde.

3.4 OBTENCIÓN DE LOS MÓDELOS SÓLIDOS DE LOS COMPONENTES DEL PORTAMOLDE.

3.4.1 PERNOS GUÍA Y DE SUJECIÓN C1.

Ambas partes del molde tienen un sistema de **guías** en una parte y de **agujeros guía**, de alto nivel de ajuste, que aseguran un perfecto acoplamiento de las partes, evitando movimientos de una parte respecto a la otra cuando recibe la presión del plástico fundido que llega a las cavidades. Permite también el poder realizar los ajustes finos de ambas partes, en las fases de construcción o reparación del molde. El número de guías y agujeros guía y su situación en los moldes depende del tamaño del mismo, suelen ser **4** para tamaños pequeños o medianos, y su situación suele estar en las 4 esquinas del molde, para moldes de forma rectangular, que son los más frecuentes.

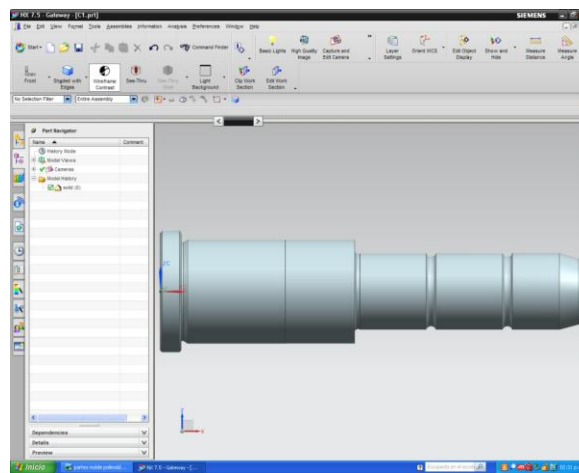


Fig. 3.6 Pernos Guía y de sujeción C1, vista lateral.

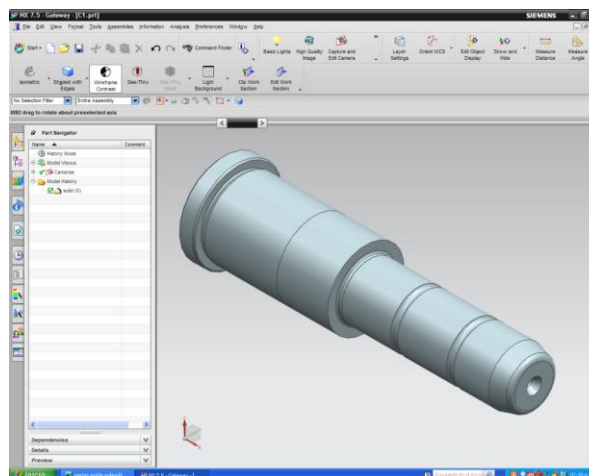


Fig. 3.7 Pernos guía y de sujeción C1, vista isométrica.

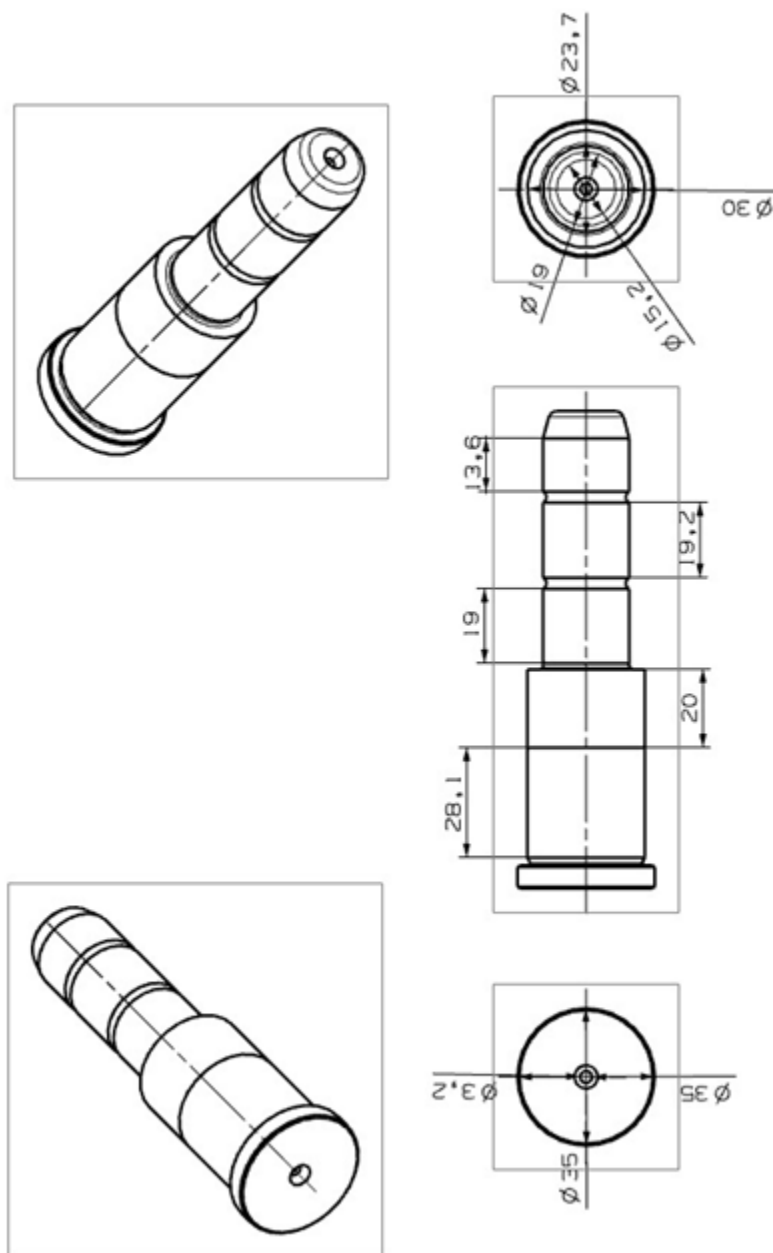


Fig. 3.8 Descripción, pernos guía y de sujeción C1.

3.4.2 PERNOS GUÍA B1

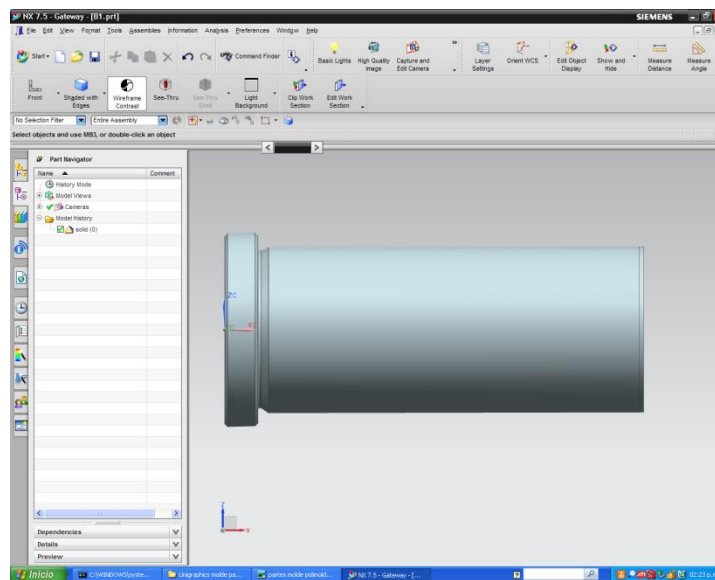


Fig. 3.9 Pernos guía B1, vista lateral.

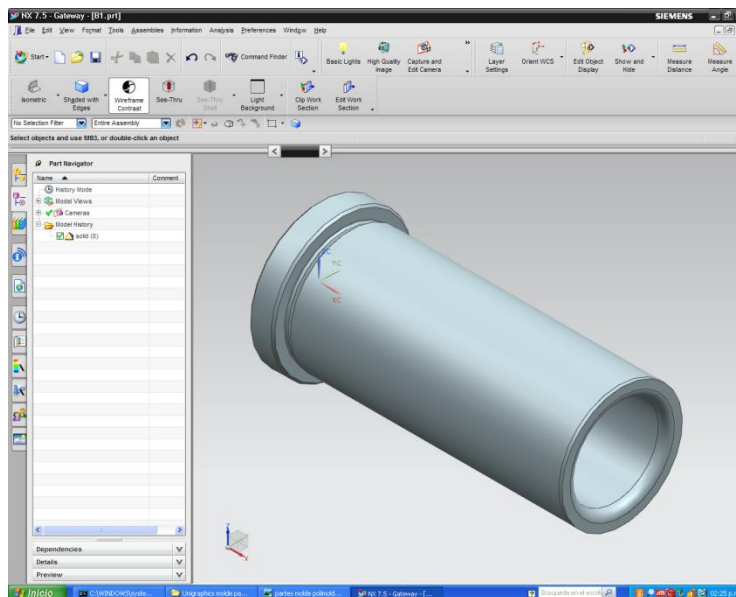


Fig. 3.10 Pernos guía B1, vista isométrica.

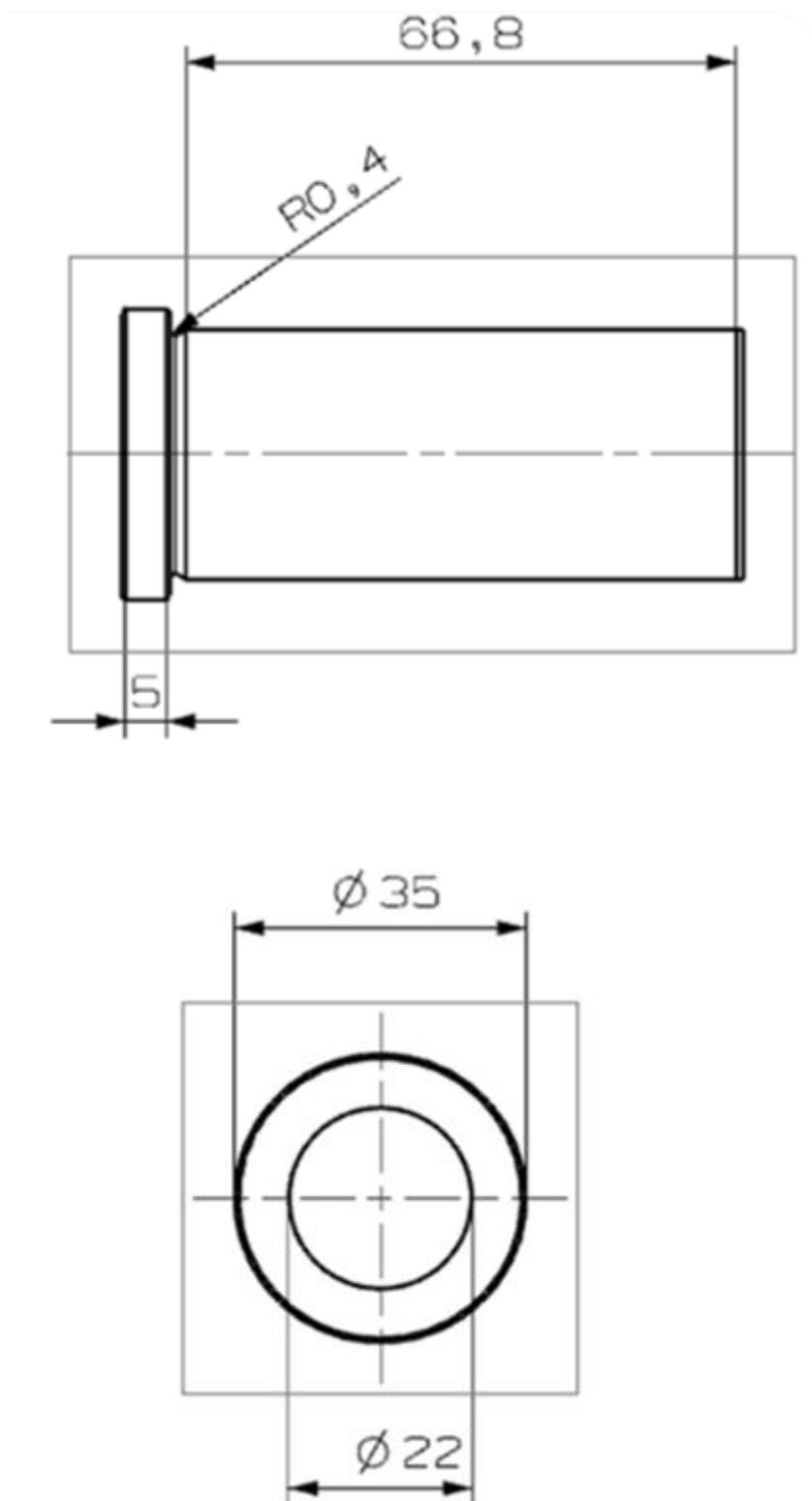


Fig. 3.11 Descripción, pernos guía B1.

3.4.3 PLACA FRONTAL DE CAVIDAD P1

Son las placas donde se realizan las figuras de la pieza, bien sea como postizos ajustados en la misma, o directamente realizados sobre ella. Estos postizos o figuras, uno será hembra y otro macho. La hembra llamada **cajera** suele realizarse siempre que sea posible en la parte fija del molde, y el macho llamado **punzón** suele realizarse en la parte móvil.

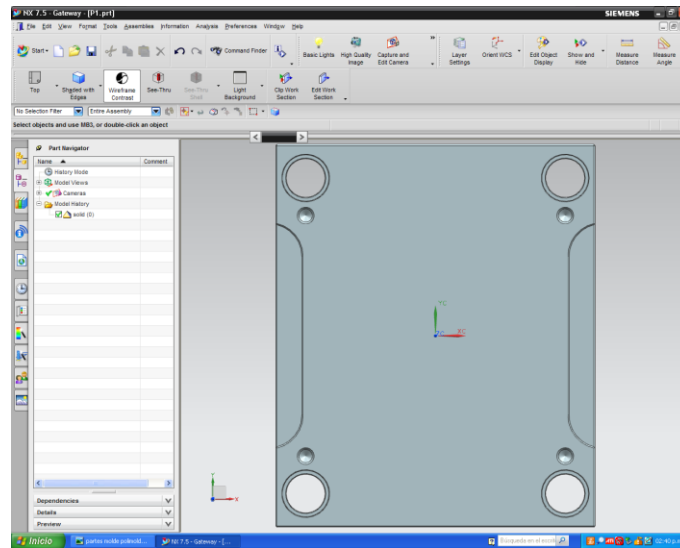


Fig. 3.12 Placa frontal de cavidad P1, vista frontal.

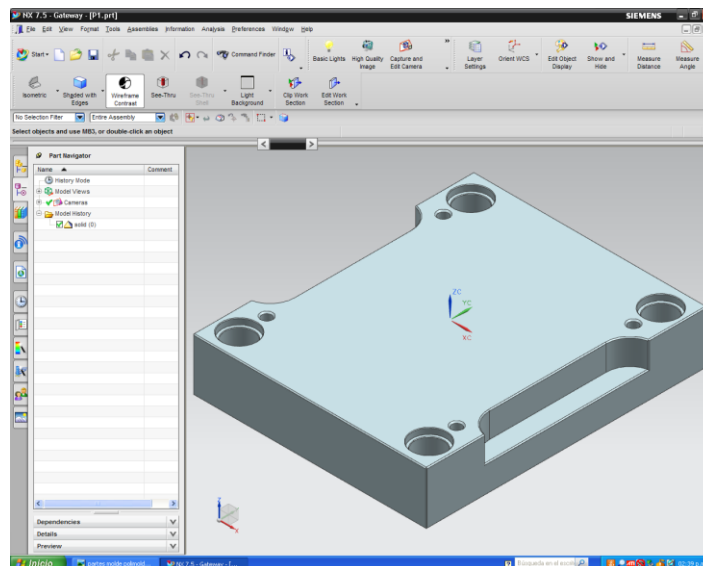


Fig. 3.13 Placa frontal de cavidad P1, vista isométrica.

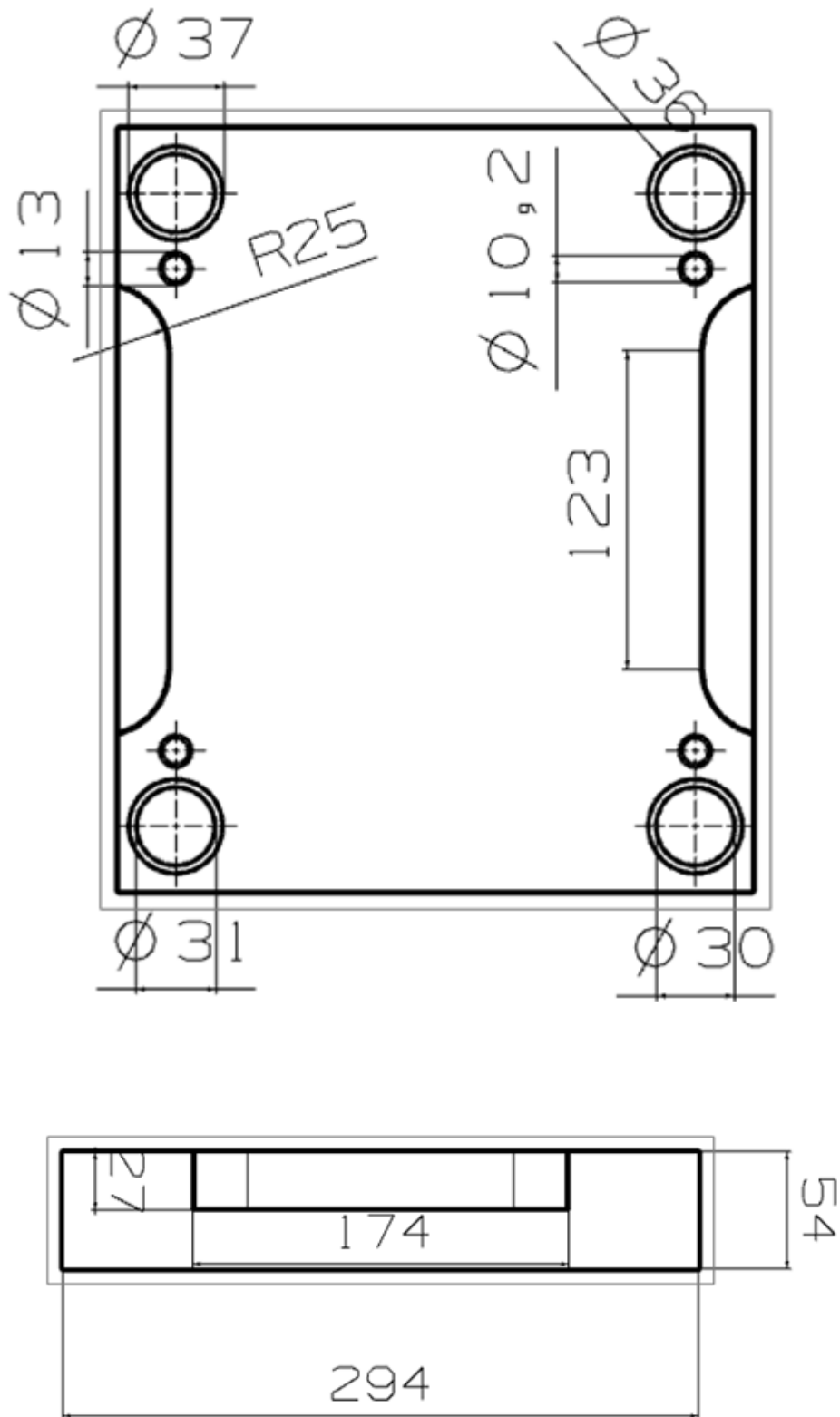


Fig. 3.14 Descripción, placa frontal de cavidad.

3.4.4 PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD P2

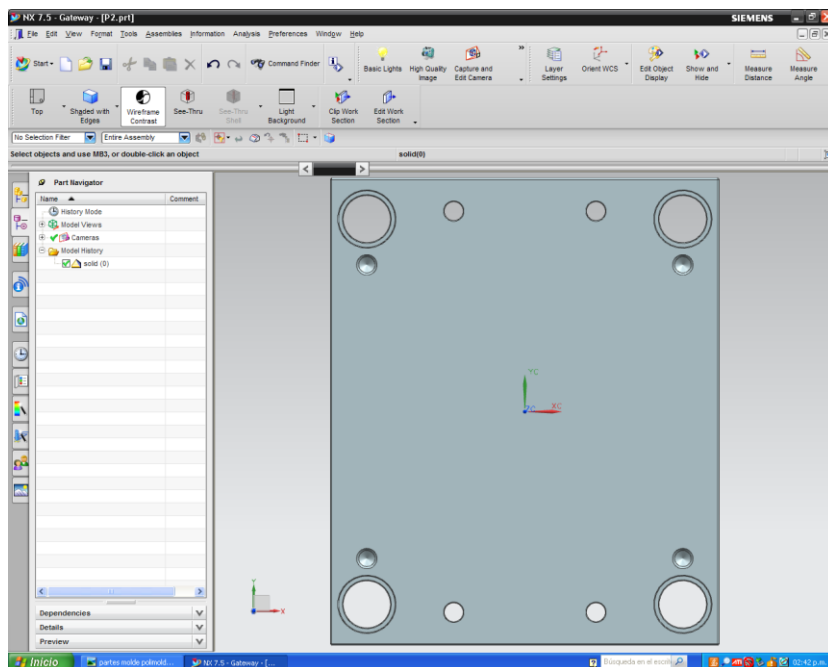


Fig. 3.15 Placa posterior de cavidad P2, vista frontal.

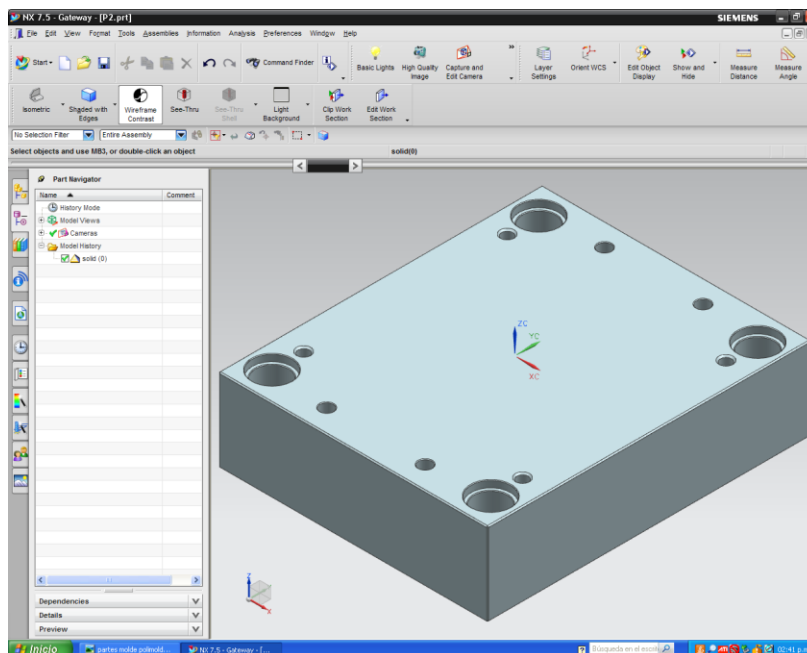


Fig. 3.16 Placa posterior de cavidad P2, vista isométrica.

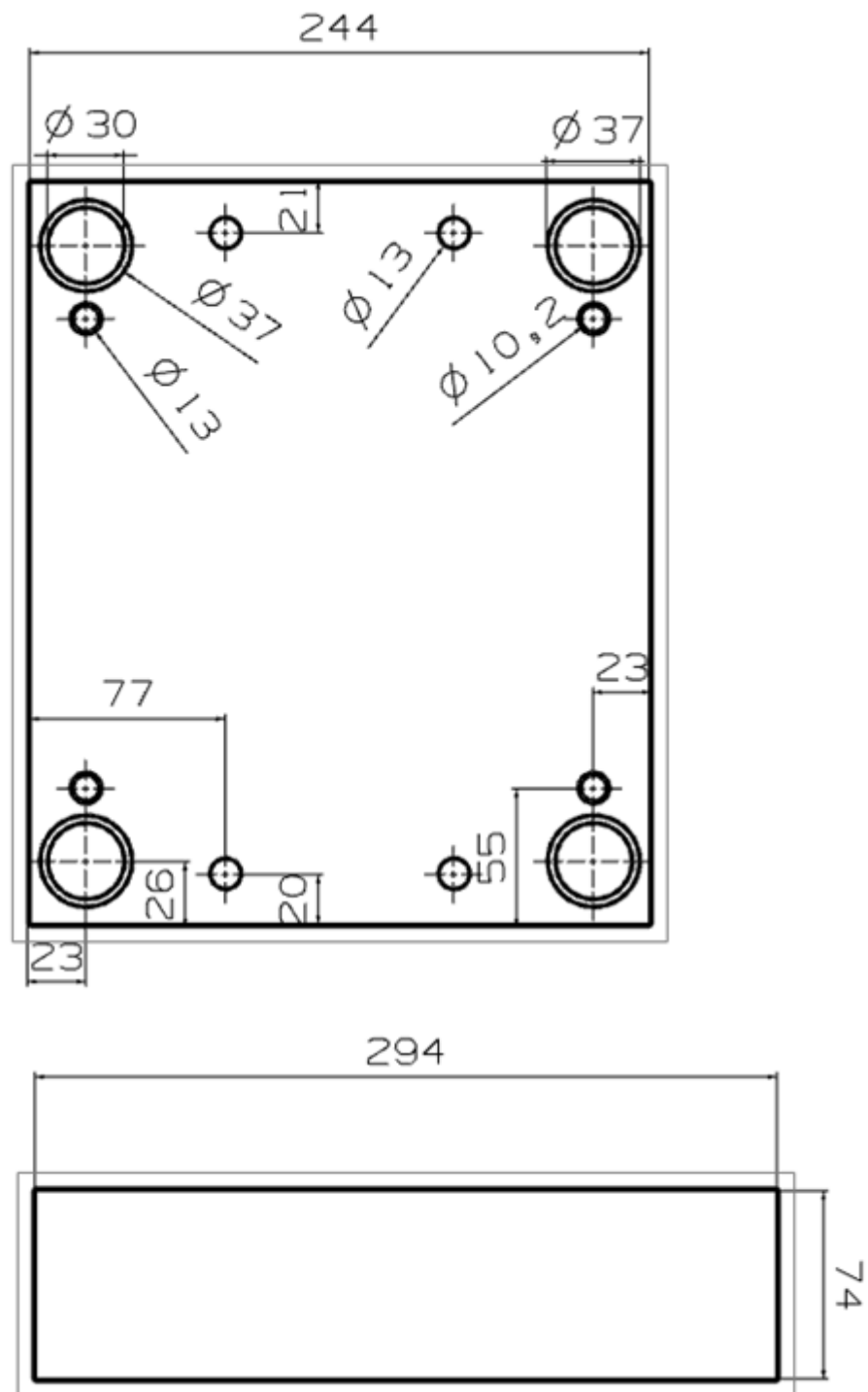


Fig. 3.17 Descripción, placa posterior de cavidad P2.

3.4.5 PLACA DE SOPORTE PS

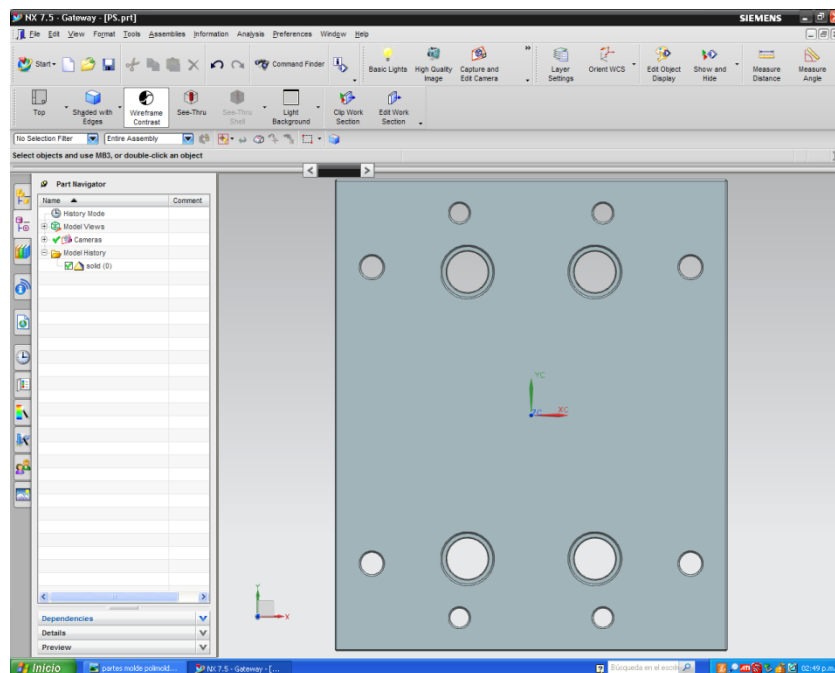


Fig. 3.18 Placa de soporte PS, vista frontal.

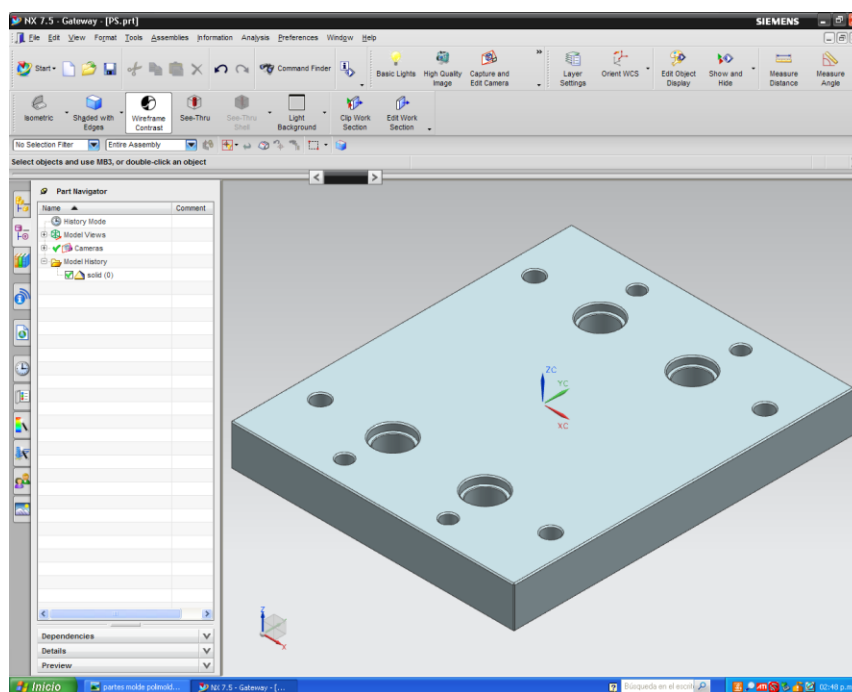


Fig. 3.19 Placa de soporte PS, vista isométrica.

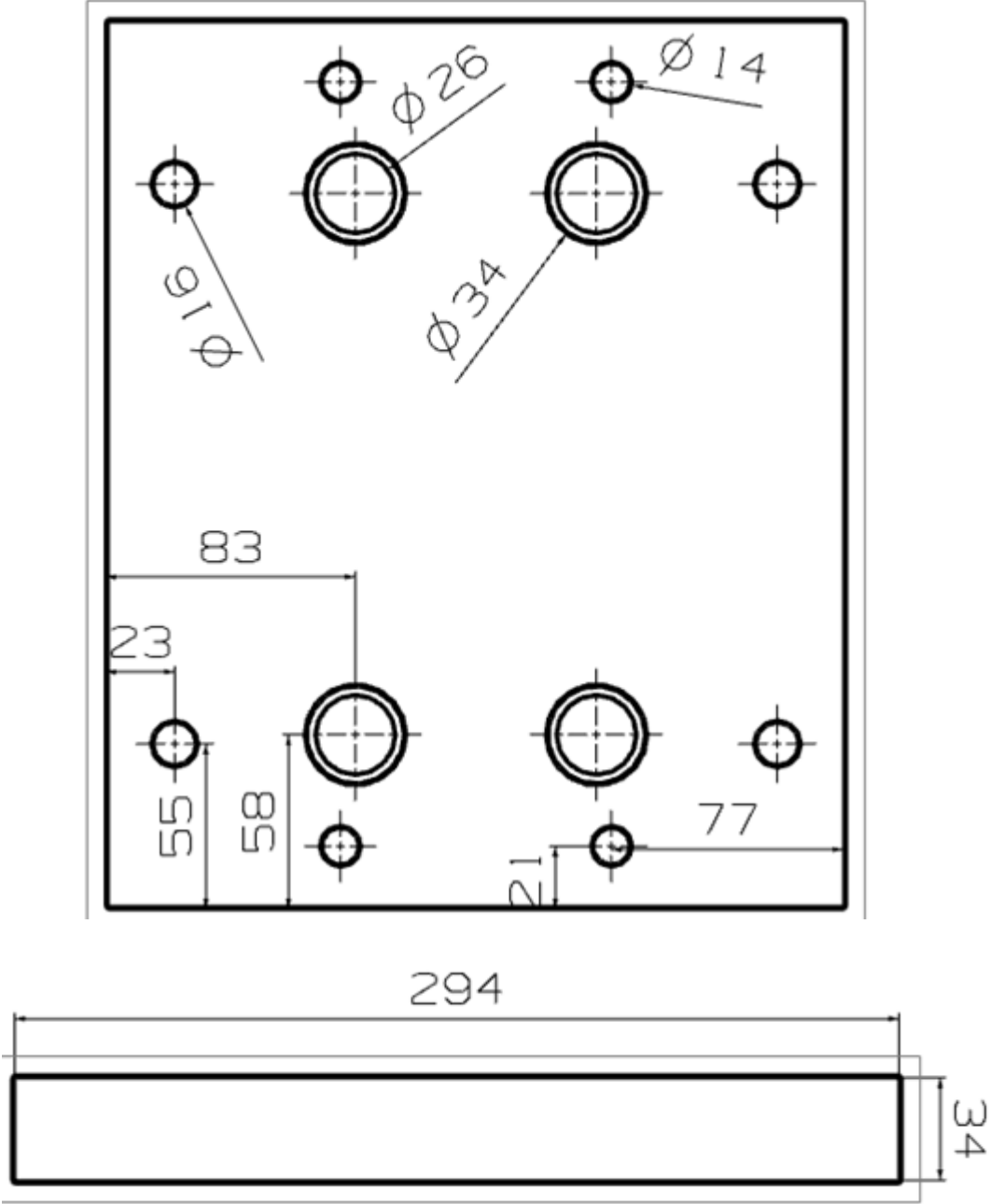


Fig. 3.20 Descripción, placa de soporte PS.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

3.4.6 BARRA PARALELA ESPACIADORA (Regle).

Son gruesos, pueden ser de hierro o acero estos están colocados en ambos lados del molde, sujetos a la placa base y placa porta figuras mediante tornillos, creando un hueco central entre la placa base y la placa porta figuras, por donde se deslizará mediante guías la placa expulsora.

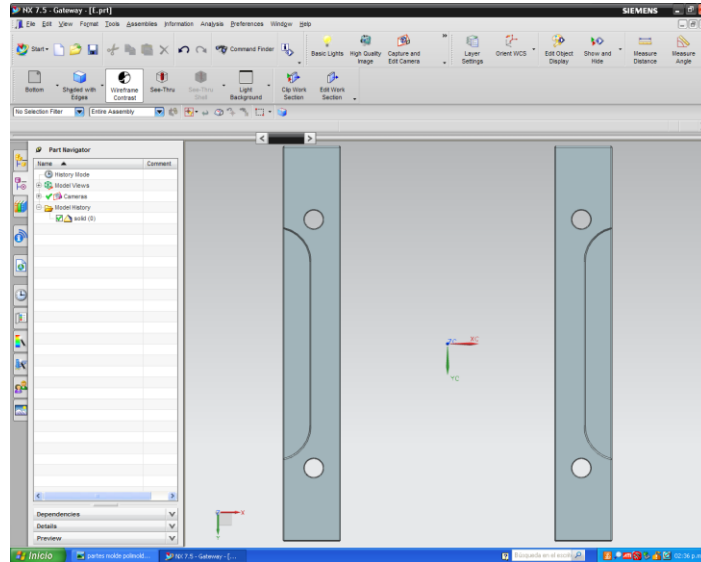


Fig. 3.21 Barras paralelas espaciadoras, vista frontal.

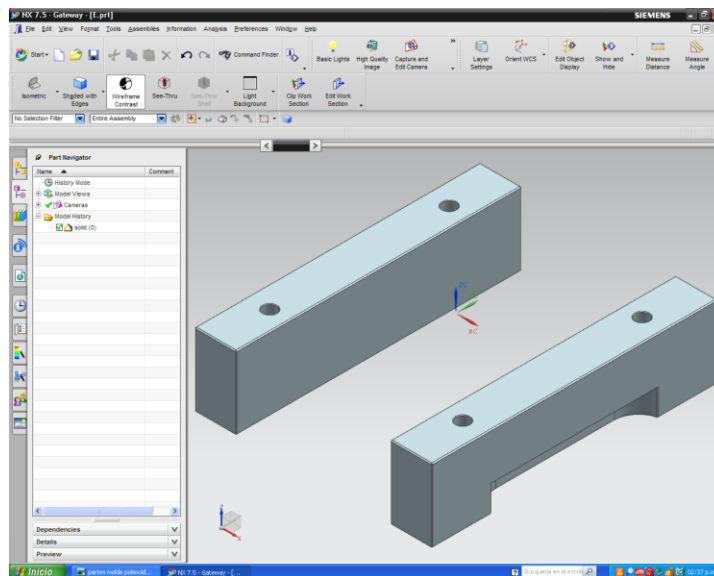


Fig. 3.22 Barras paralelas espaciadoras, vista isométrica posterior.

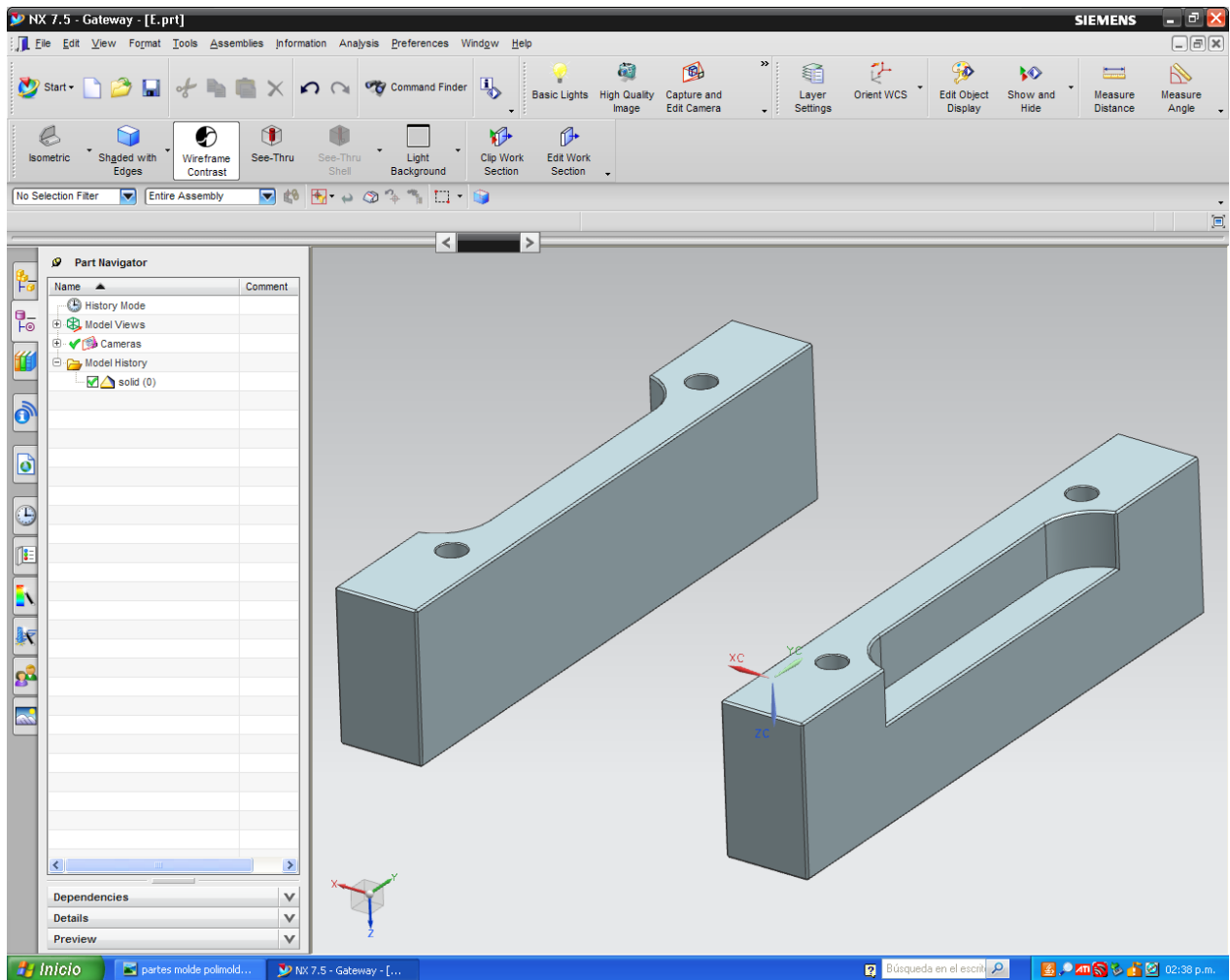


Fig. 3.23 Barras paralelas espaciadoras, vista isométrica superior.

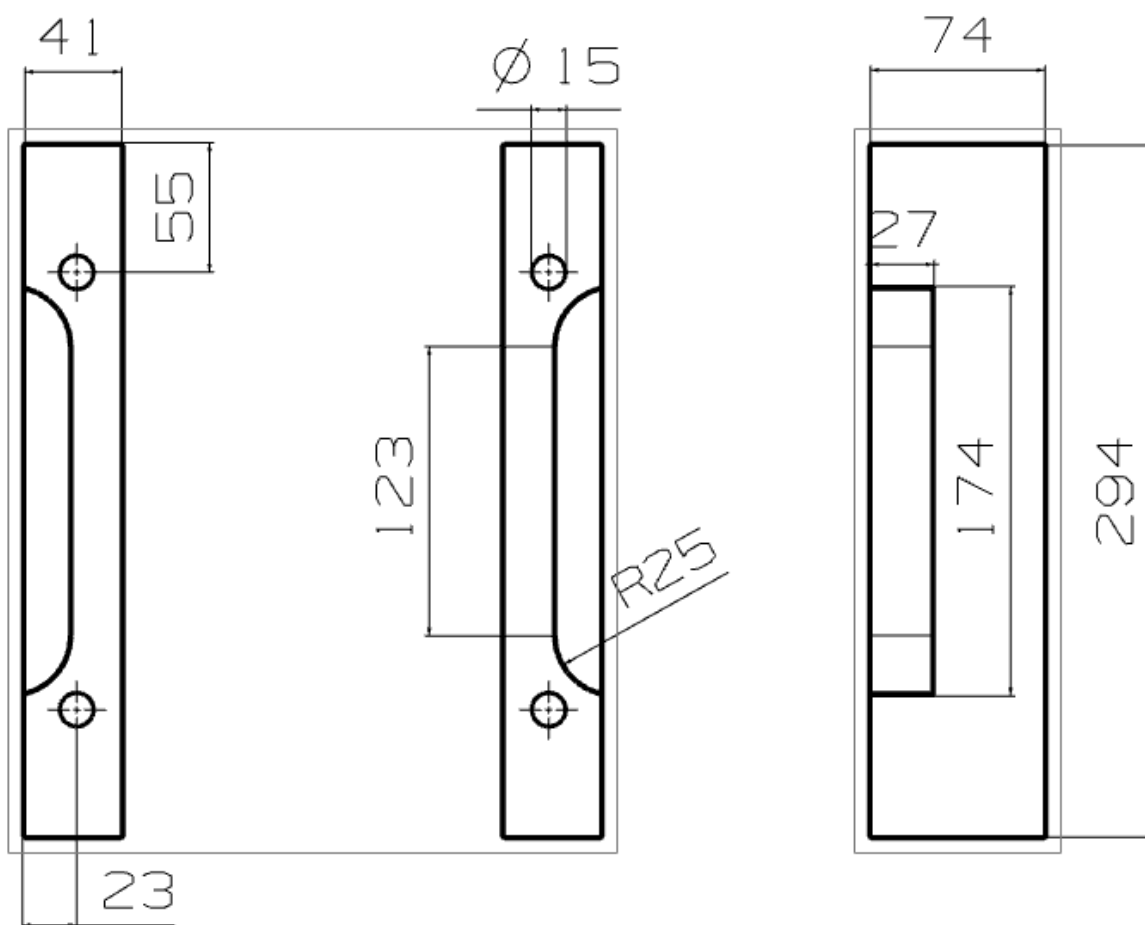


Fig. 3.24 Descripción, barras paralelas espaciadoras.

3.4.7 PERNOS GUÍA DE SUJECIÓN CE.

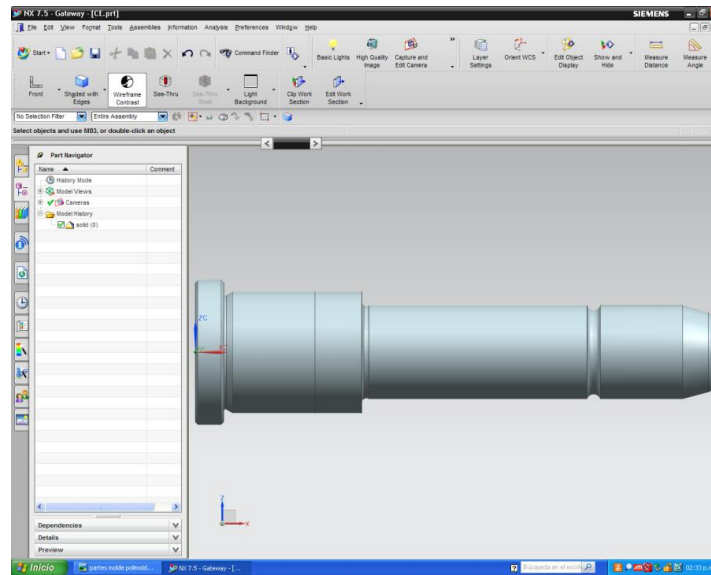


Fig. 3.25 Pernos guía de sujeción CE, vista lateral.

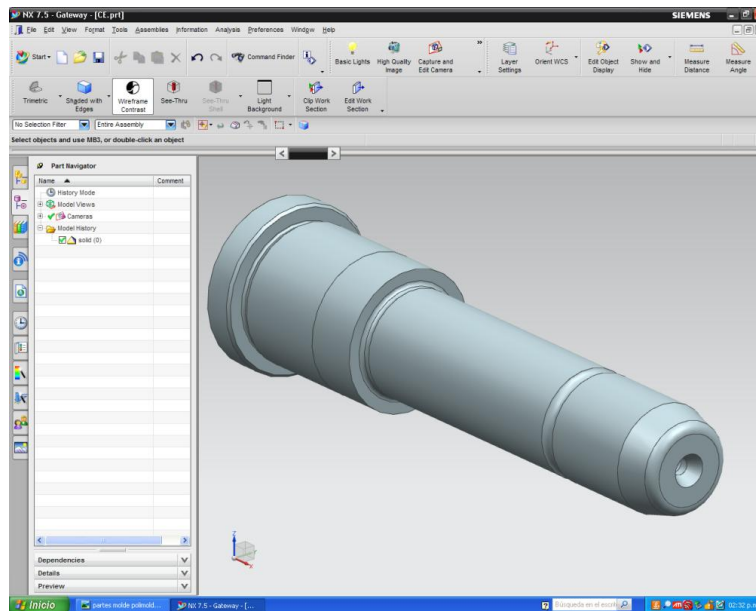


Fig. 3.26 Pernos guía de sujeción CE, vista isométrica.

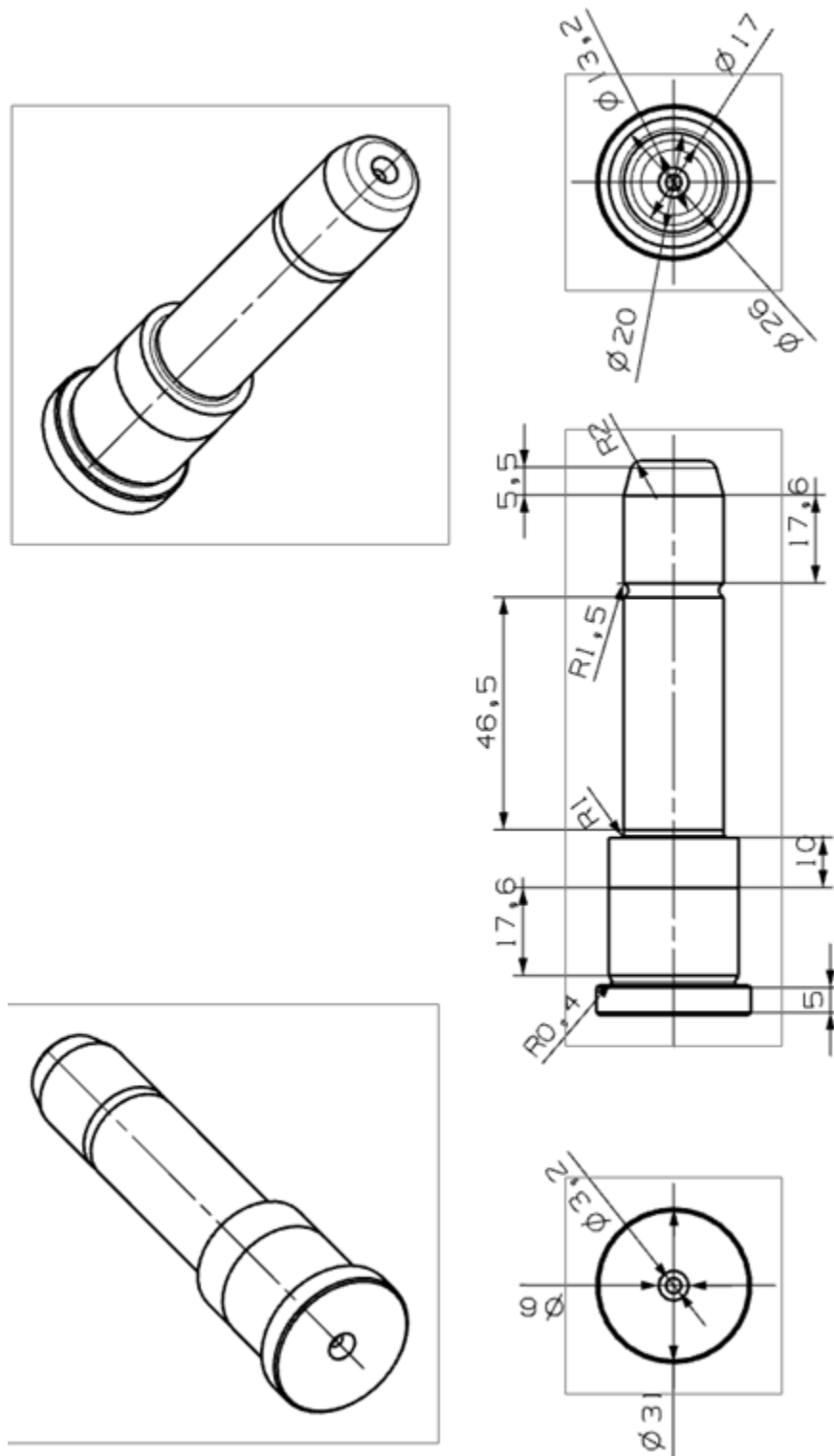


Fig. 3.27 Descripción, pernos guía de sujeción CE.

3.4.8 CONECTOR BEX.

El molde posee en todas sus placas agujeros roscados de orificio suficiente para el enroscado de los cáncamos, que serán utilizados en el manejo en el taller (polipastos o puente grúa). Al igual poseerá agujeros roscados de tal forma que con cáncamos adecuados y con puente grúa pueda ponerse el molde o semi moldes en máquina de forma vertical.

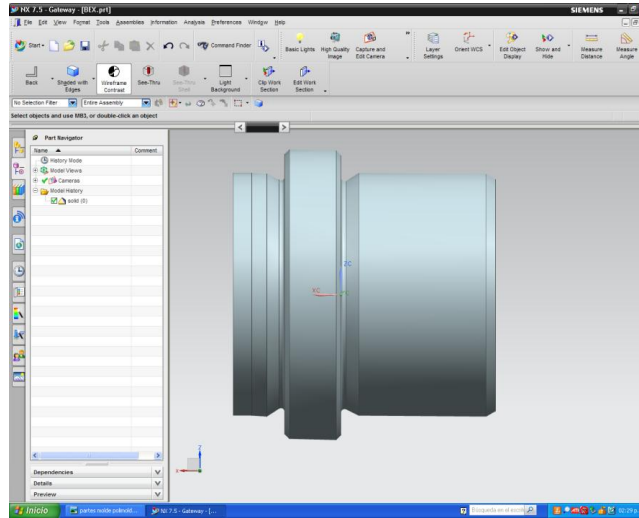


Fig. 3.28 Conector BEX, vista lateral.

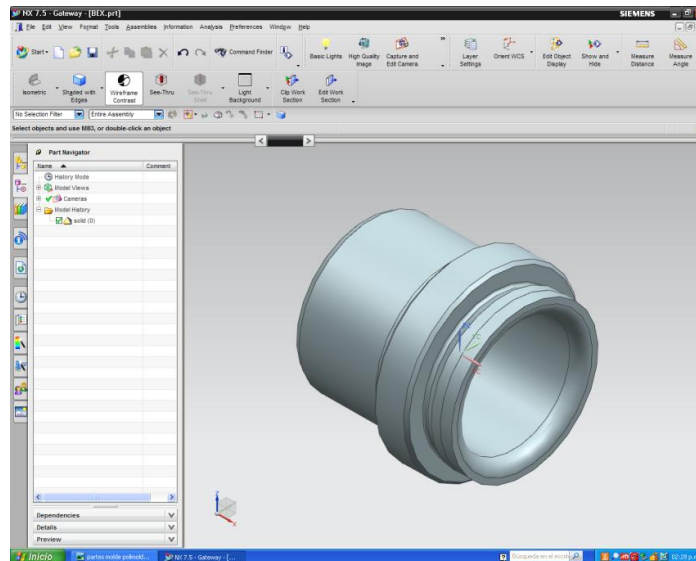


Fig. 3.29 Conector BEX, vista isométrica.

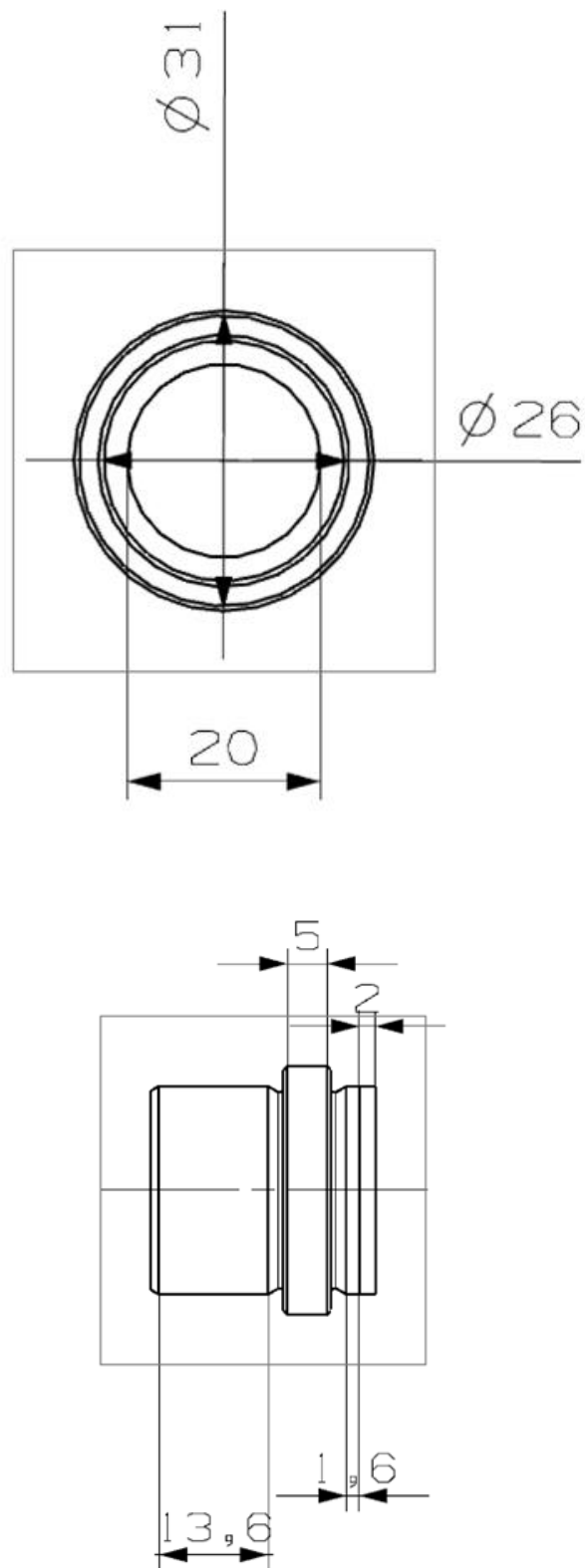


Fig. 3.30 Descripción, conector BEX.

3.4.9 PLACA LIMITADORA DE BOTADORES CPE.

Conjunto de placas placa doble que lleva los expulsores y recuperadores. Va flotante y guiada en un determinado espacio dentro de esta mitad de molde y cuya misión consiste en extraer la pieza con los expulsores que aloja cuando el vástago de expulsión de la maquina hace presión sobre la misma. Mediante los recuperadores lleva la placa expulsora a la posición de inicio en el momento del cierre de ambas mitades.

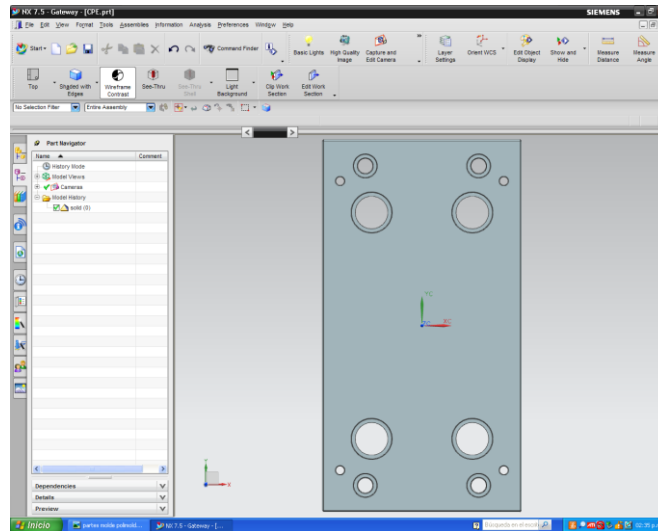


Fig. 3.31 Placa limitadora de botadores CPE, vista frontal.

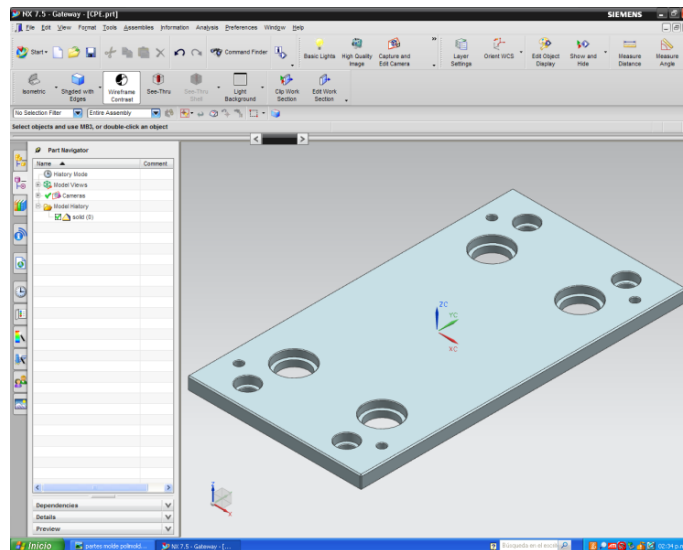


Fig. 3.32 Placa limitadora de botadores CPE, vista isométrica.

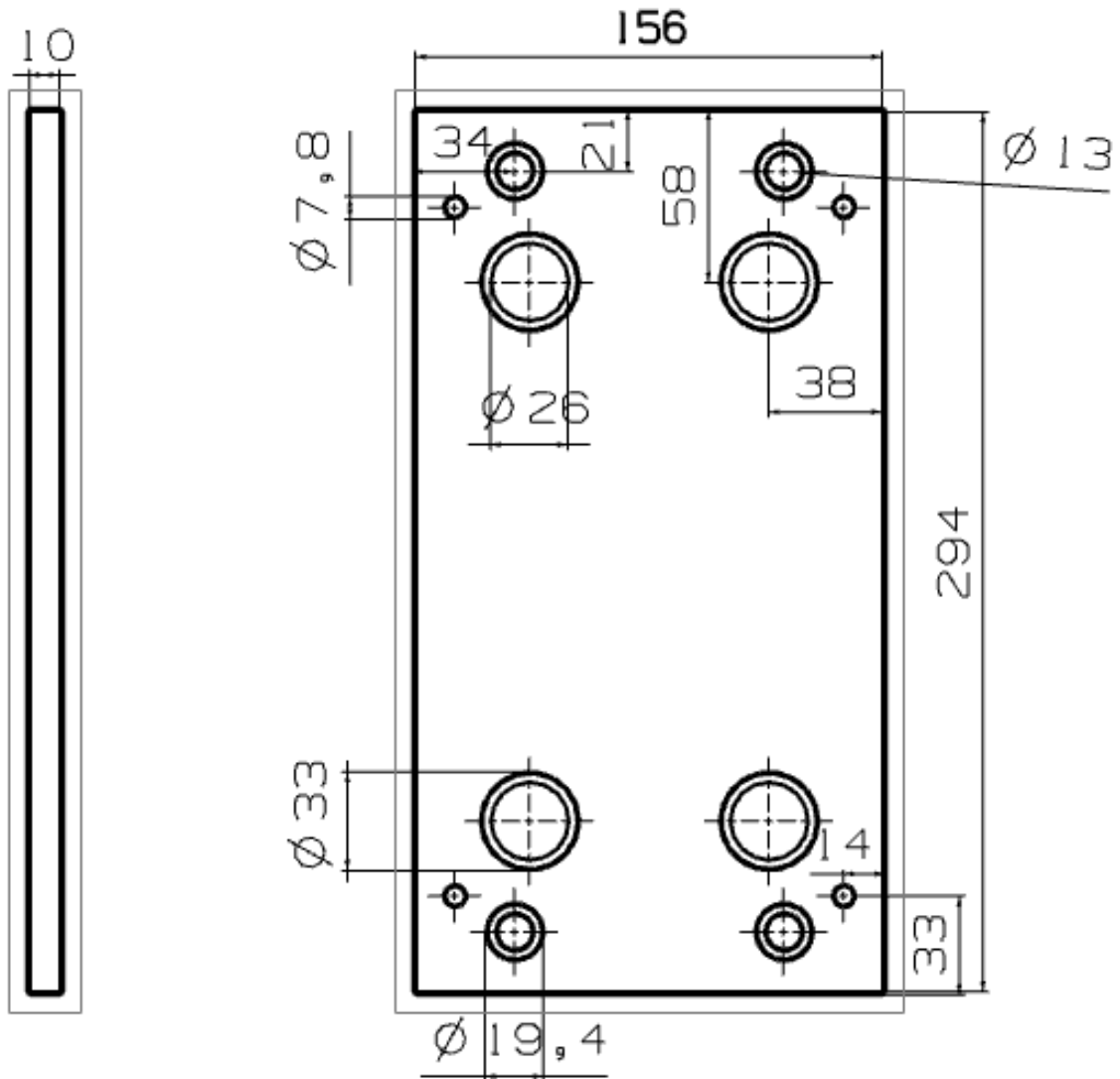


Fig. 3.33 Descripción, placa limitadora de botadores CPE

3.4.10 PLACA DE BOTADORES PE.

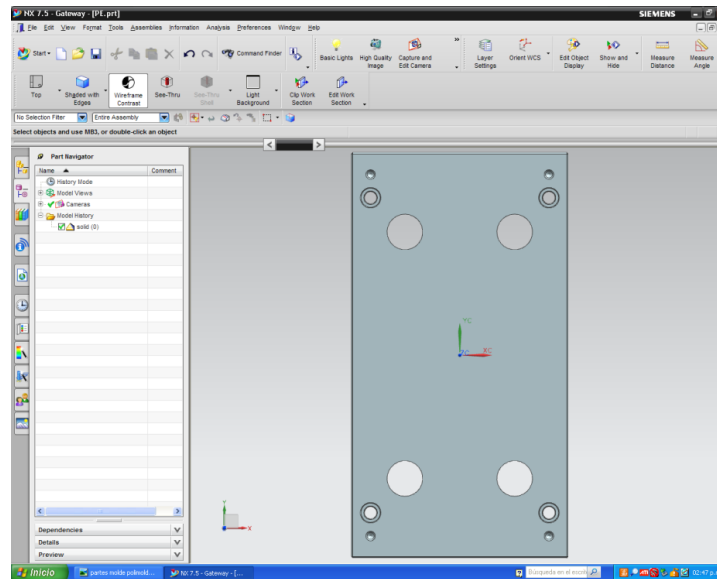


Fig. 3.34 Placa de botadores PE, vista frontal.

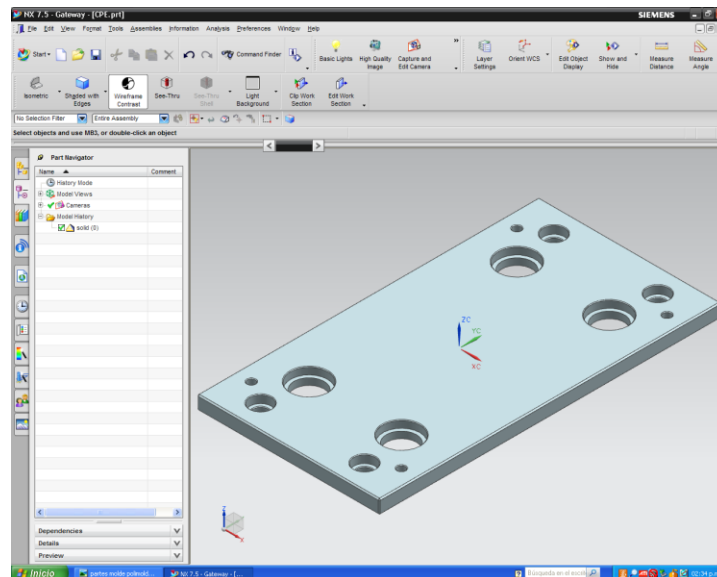


Fig. 3.35 Placa de botadores PE, vista isométrica.

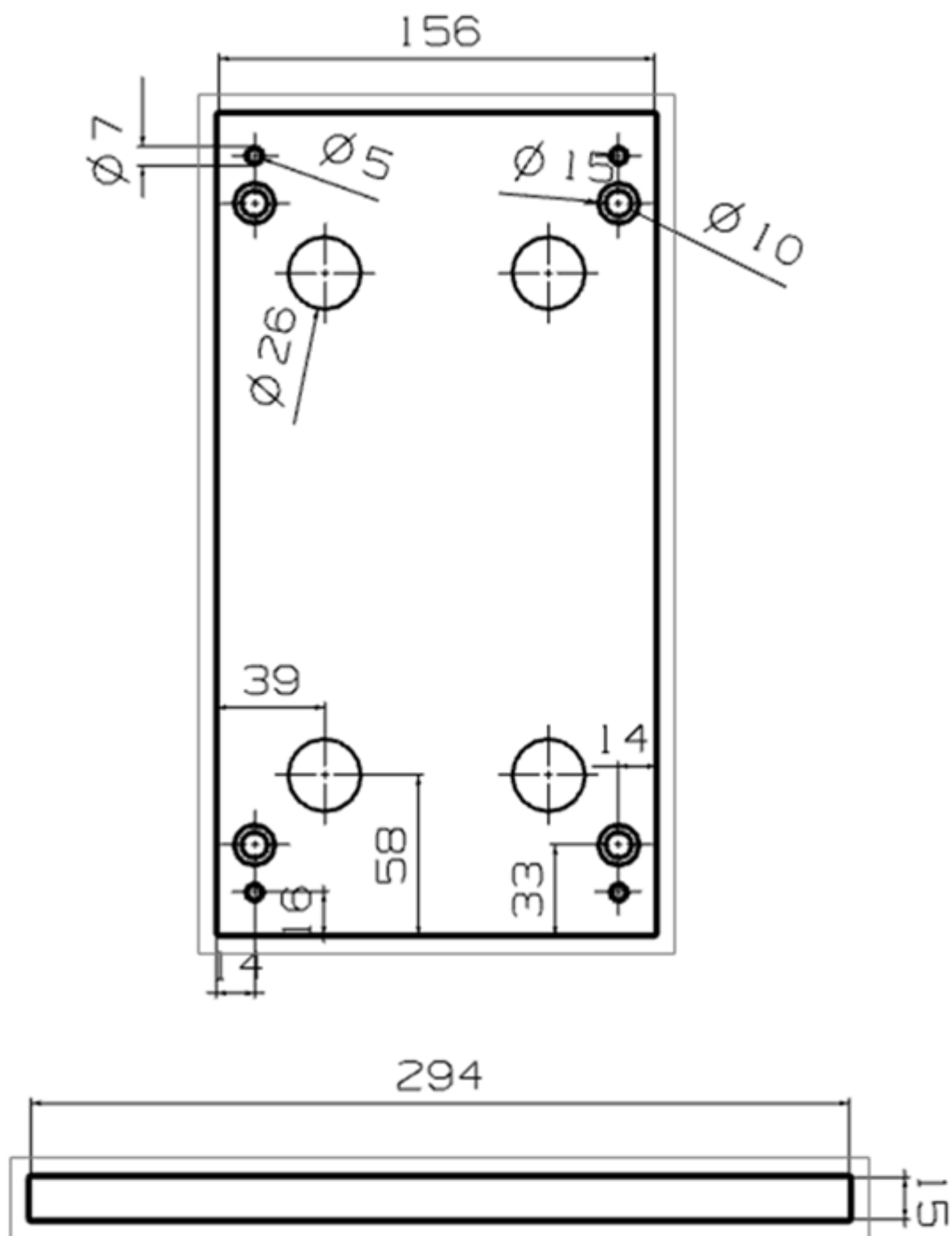


Fig. 3.36 Descripción, placa de botadores PE.

3.4.11 PLACA POSTERIOR DE SUJECIÓN PBI.

Al igual que para la parte móvil, sirve para su sujeción mediante bridas u otros elementos de fijación al plato móvil de la máquina de inyectar. A diferencia de la anterior, esta placa normalmente no lleva centrador, pero lleva un orificio en su parte central que permite la entrada del vástago expulsor de la máquina, hasta la placa expulsora del molde.

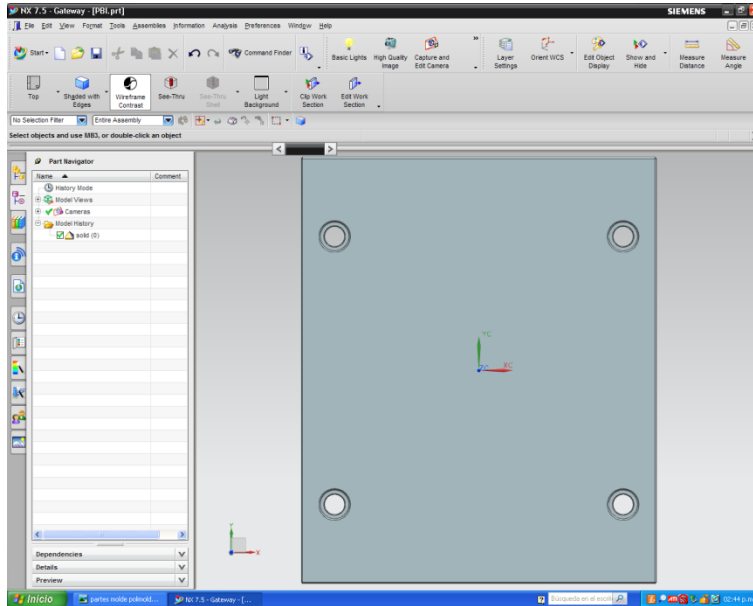


Fig. 3.37 Placa posterior de sujeción PBI vista frontal.

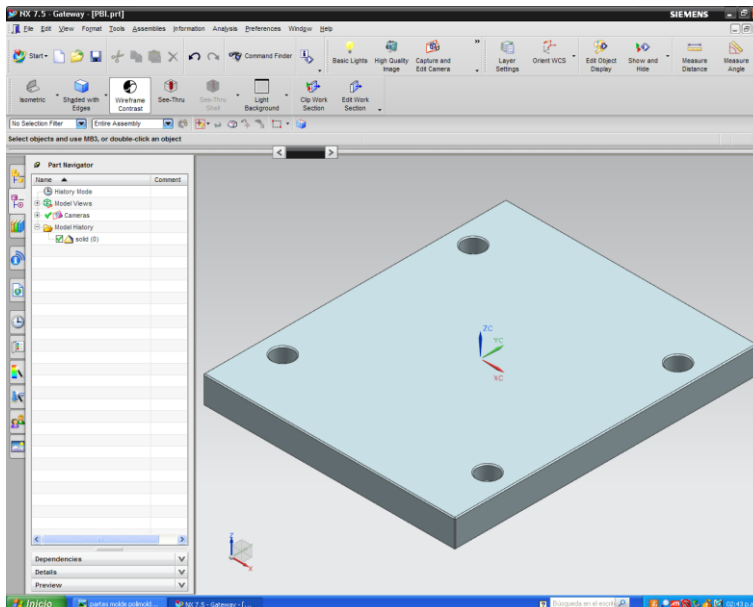


Fig. 3.38 Placa posterior de sujeción PBI vista isométrica.

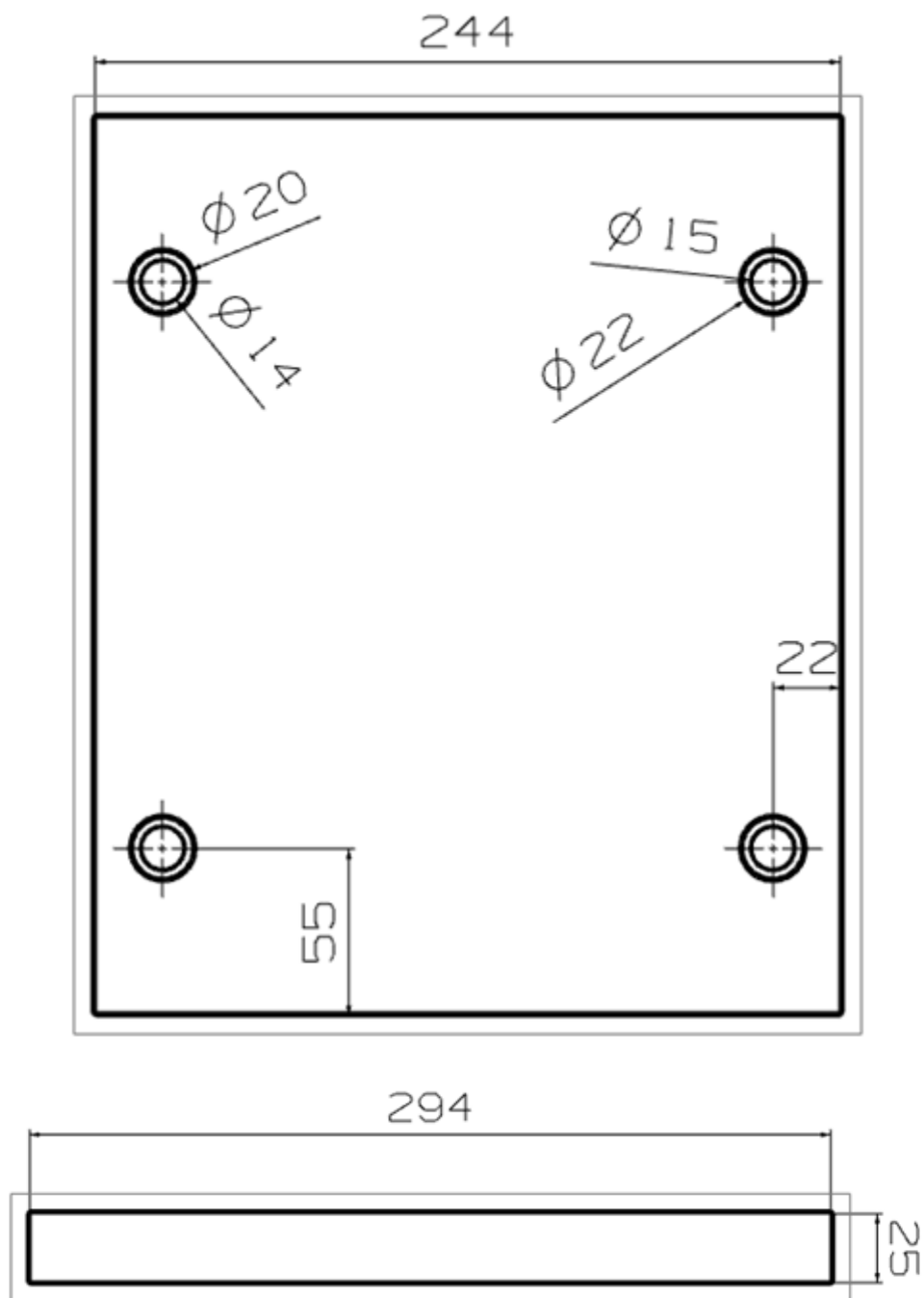


Fig. 3.39 Descripción placa posterior de sujeción PBI.

3.5 ENSAMBLES

Acorde a las características del molde, el orden de los ensambles de las piezas se muestra en la siguiente lista:

- **PBS, Placa frontal de sujeción**
- **Pernos guía de sujeción.**
- **Placa frontal de cavidad.**
- **Placa posterior de cavidad.**
- **Pernos guía.**
- **Placa posterior de cavidad.**
- **Placa de soporte.**
- **Barras paralelas espaciadoras.**
- **Pernos guía de sujeción.**
- **Conectores.**
- **Placa limitadora de botadores.**
- **Placa de sujeción posterior.**

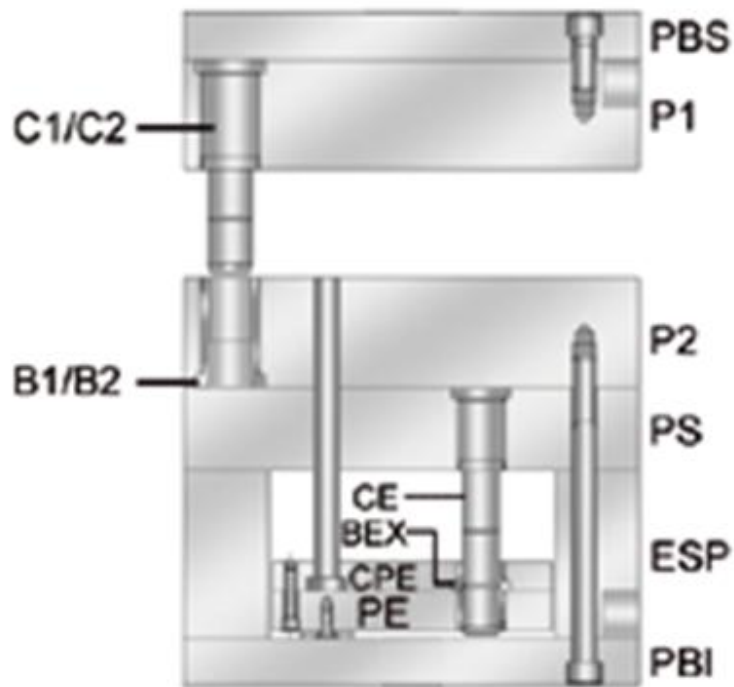


Fig. 3.40 Ensamble del portamolde.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN - PERNOS GUÍA DE SUJECIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD.

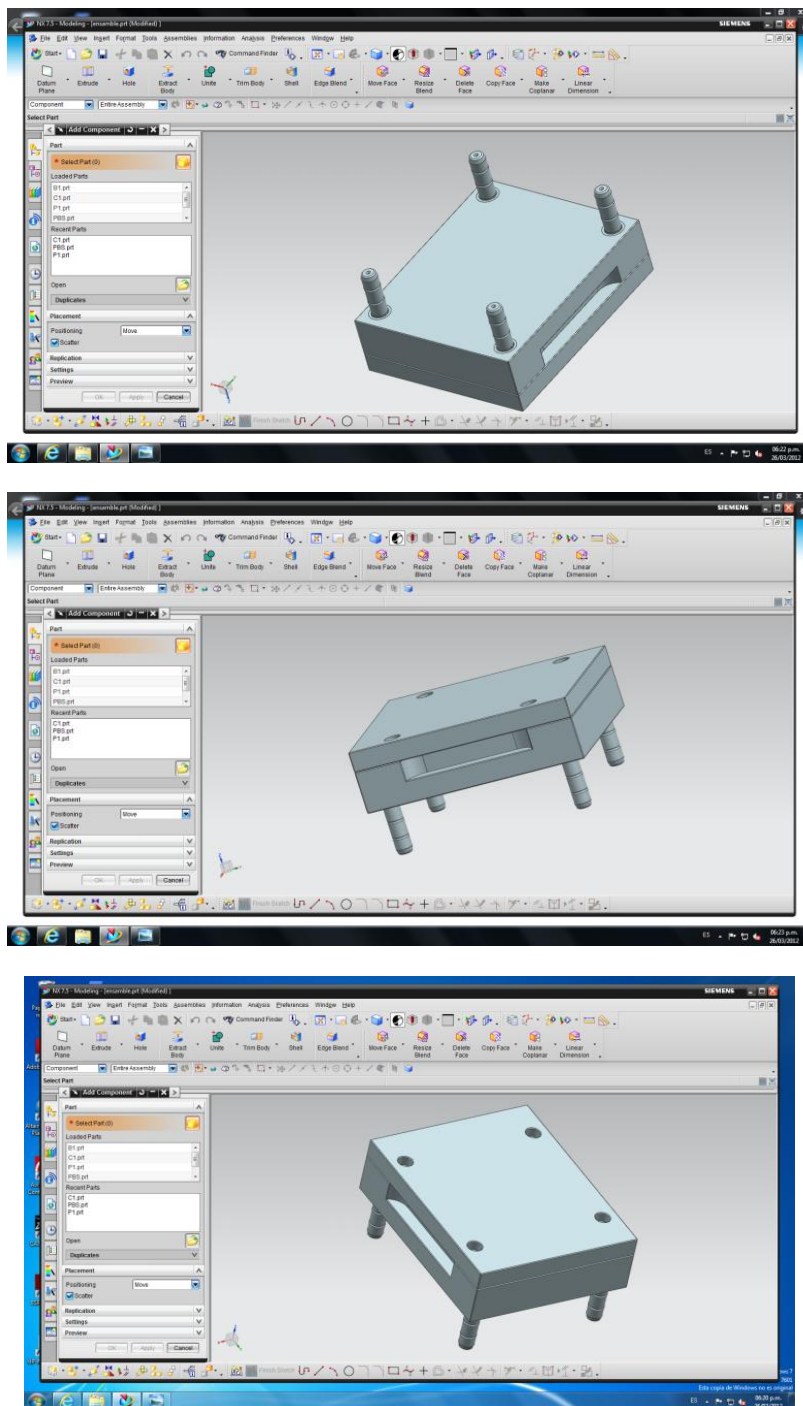


Fig. 3.41 Ensemble 1.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PERNOS GUÍA.

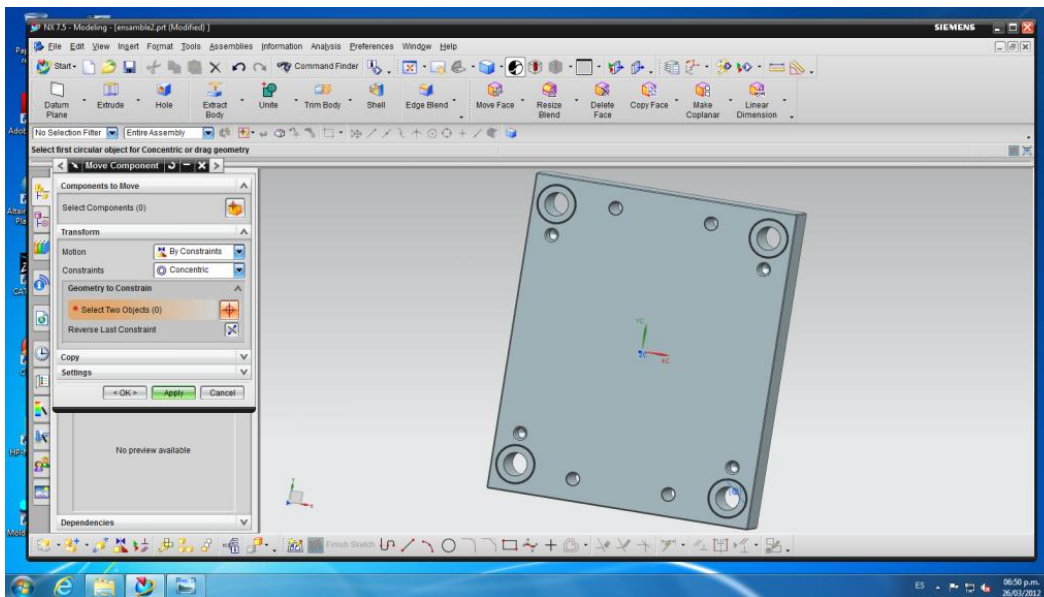
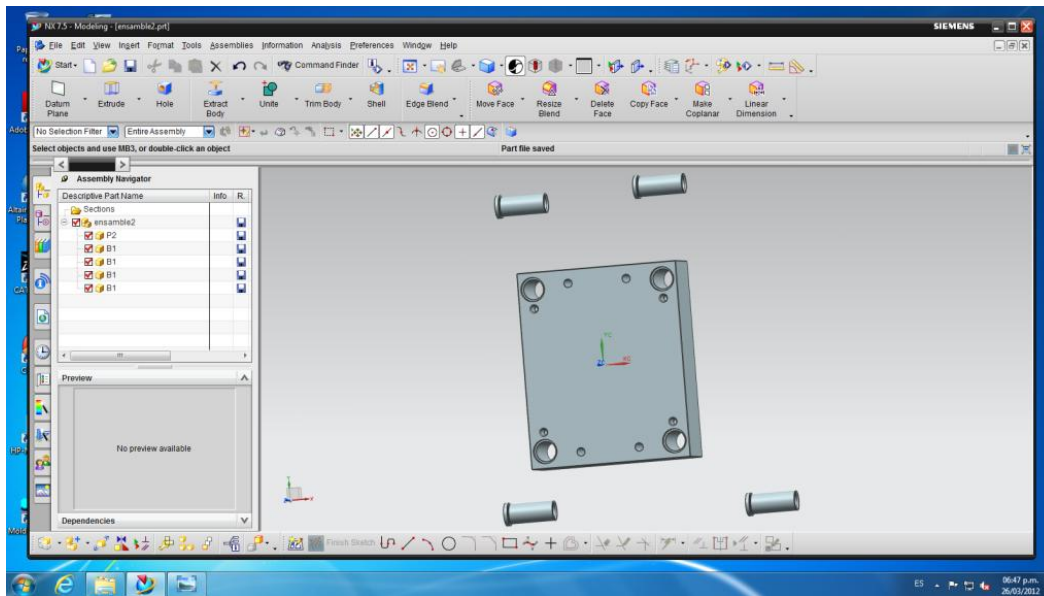


Fig. 3.42 Ensamble 2.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECCIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD

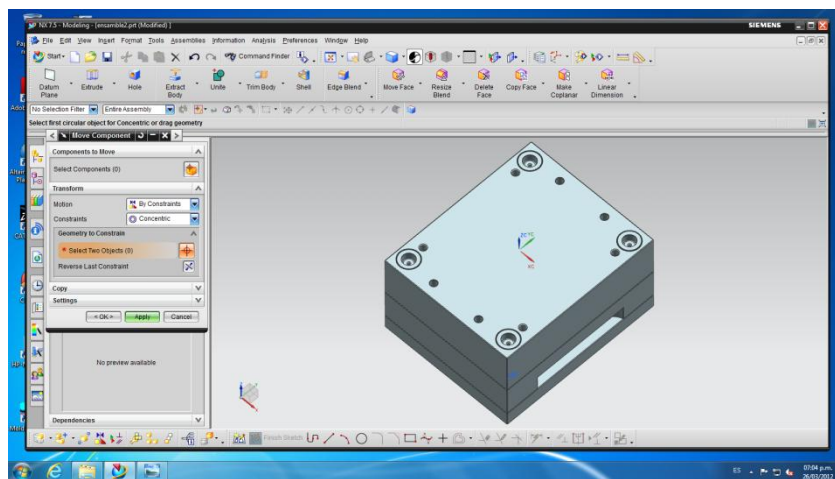
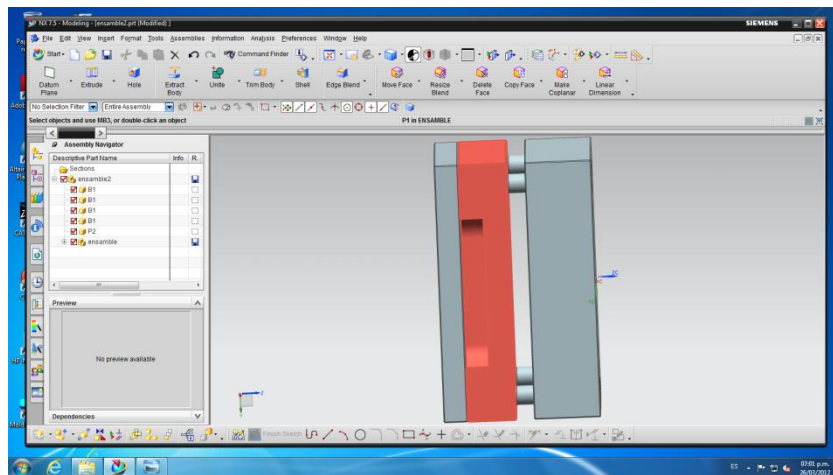
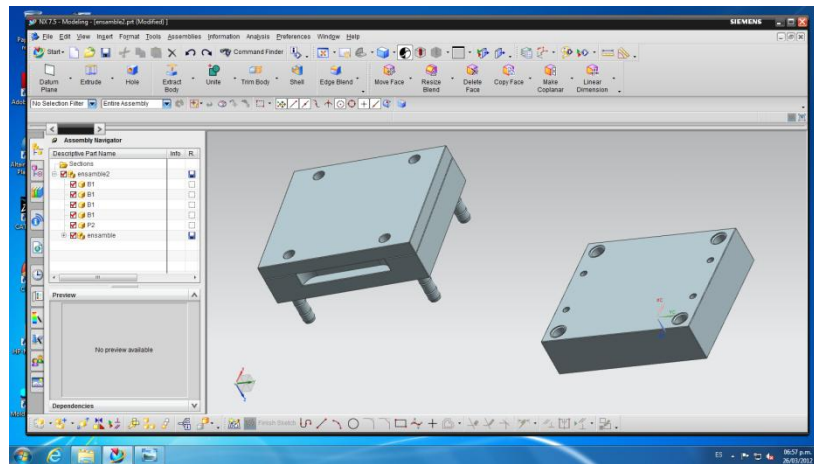


Fig. 3.43 Ensemble 3.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECCIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD - PLACA DE SOPORTE.

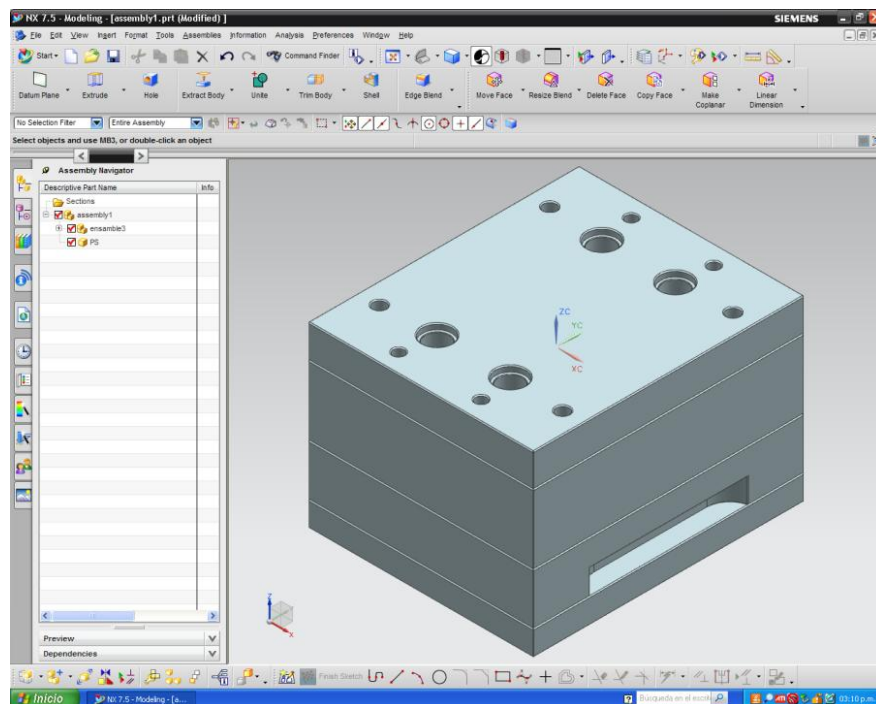
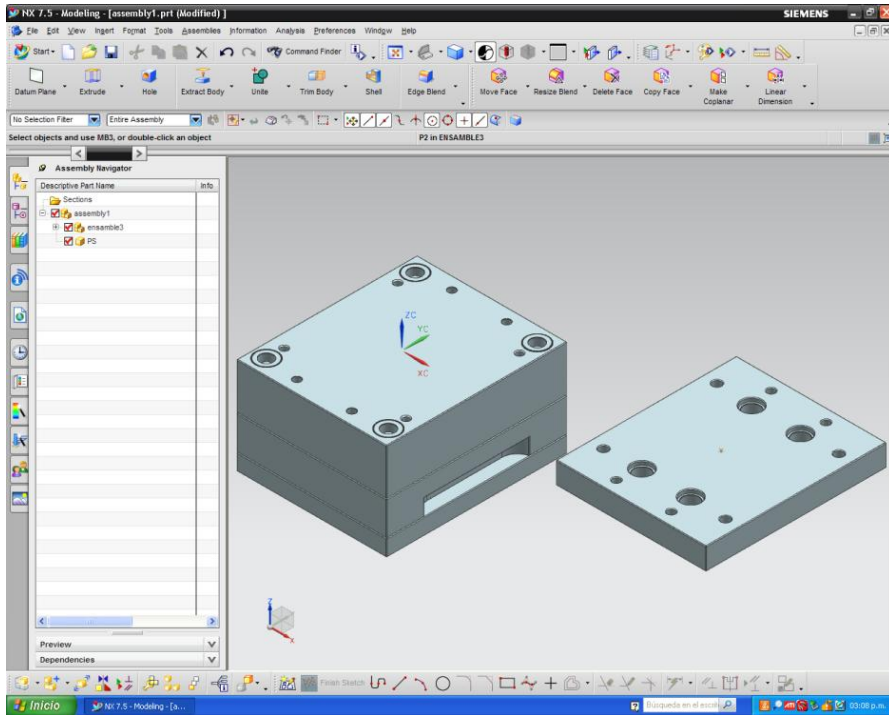


Fig. 3.44 Ensamble 4.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PLACA DE SOPORTE - BARRA PARALELA ESPACIADORA

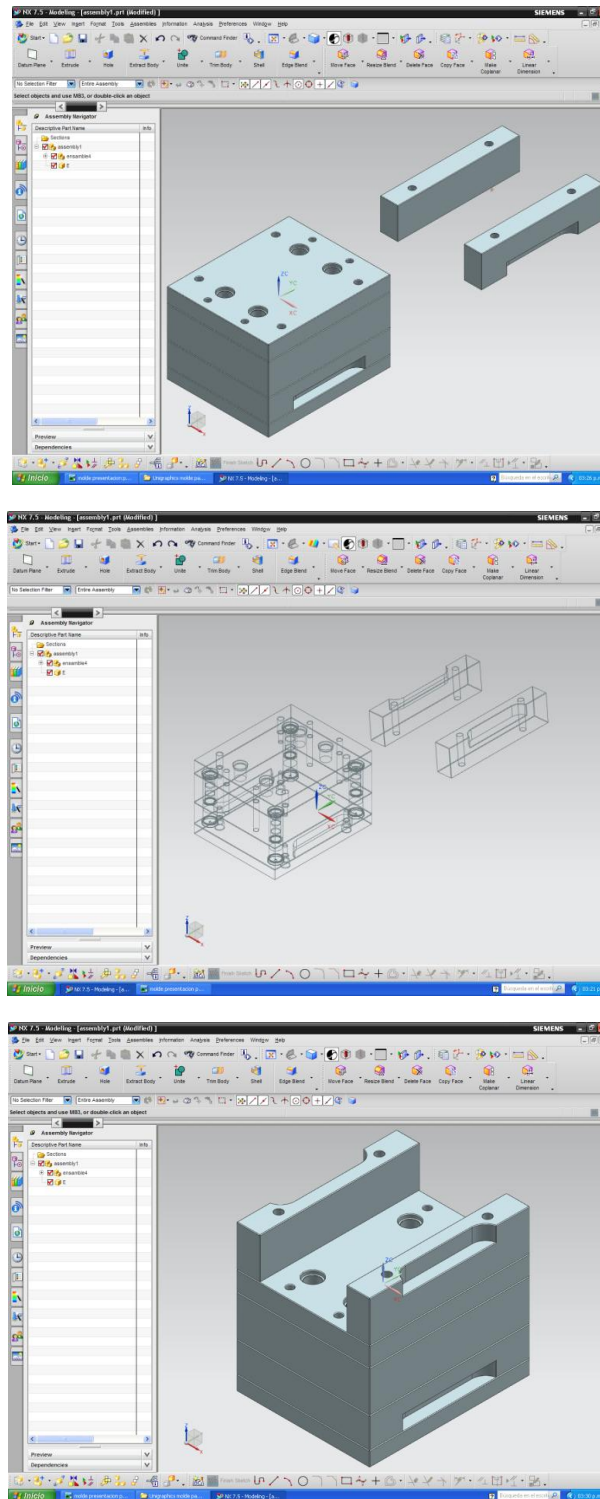


Fig. 3.45 Ensemble 5.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECCIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PLACA DE SOPORTE - BARRA PARALELA ESPACIADORA – PERNOS GUIA DE SUJECCIÓN.

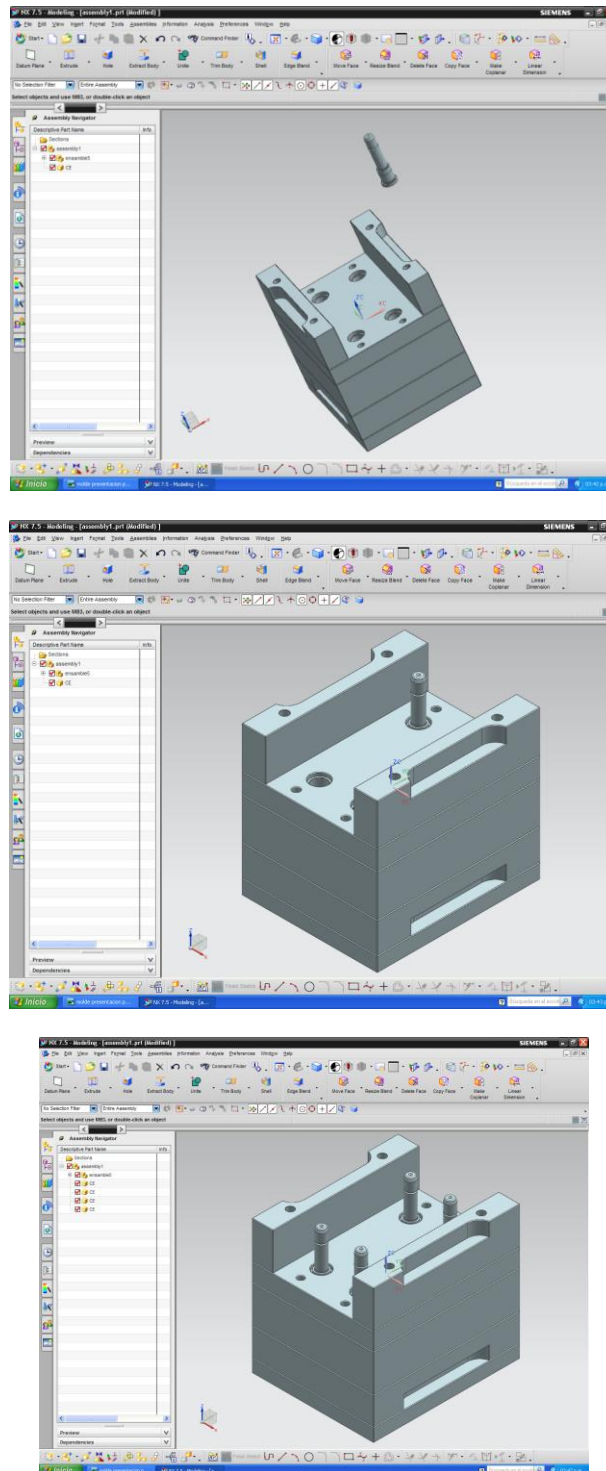


Fig. 3.46 Ensemble 6.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PLACA DE SOPORTE - BARRA PARALELA ESPACIADORA - PERNOS GUIA DE SUJECIÓN – CONECTORES.

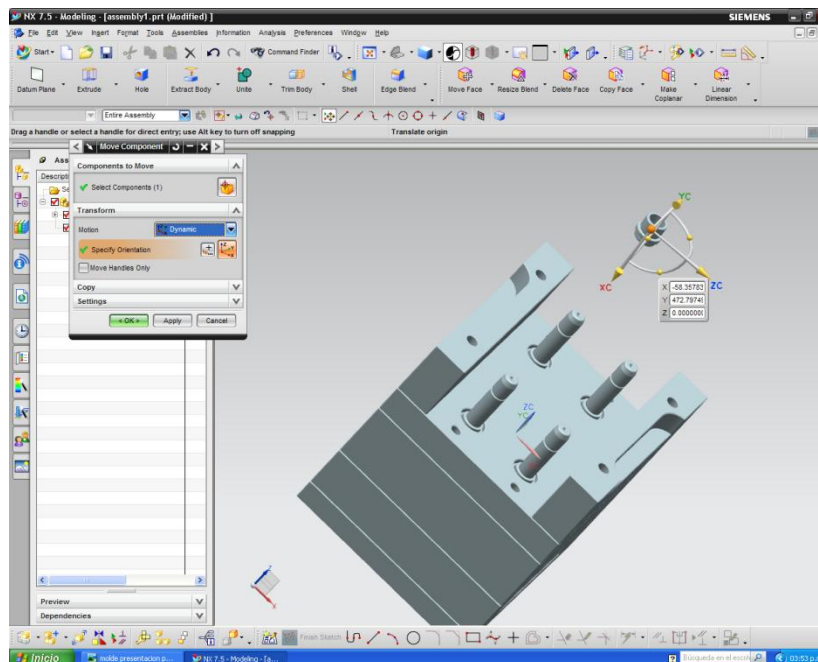
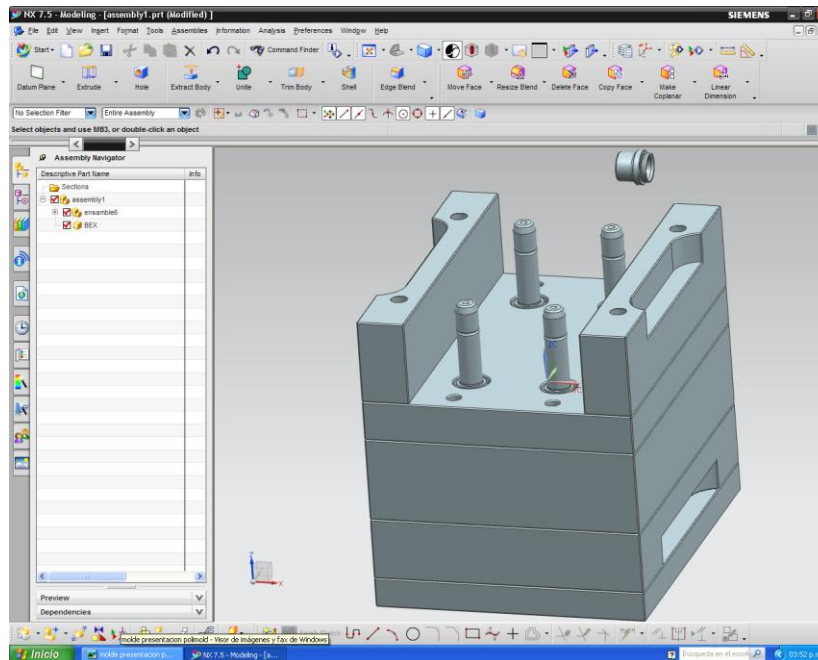


Fig. 3.47 Ensamble 7.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

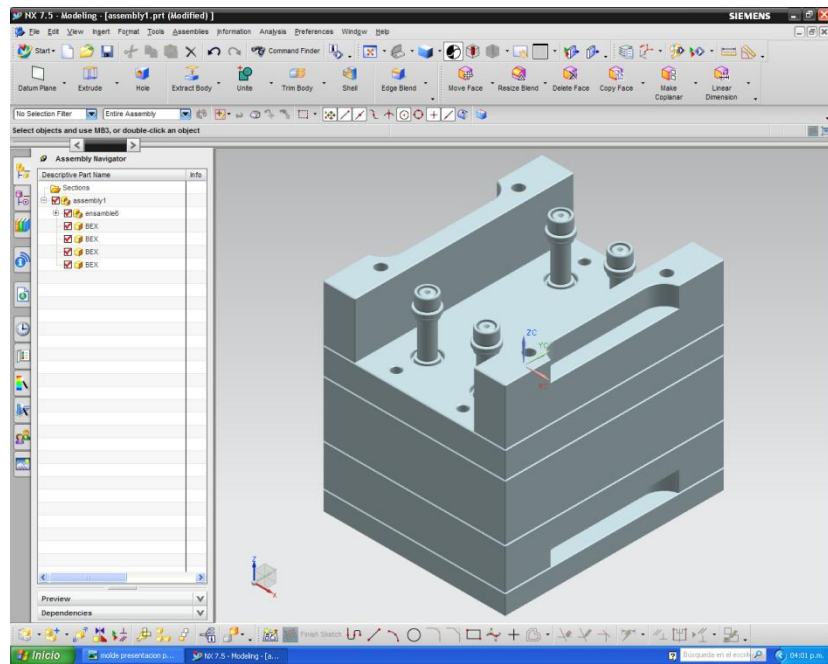
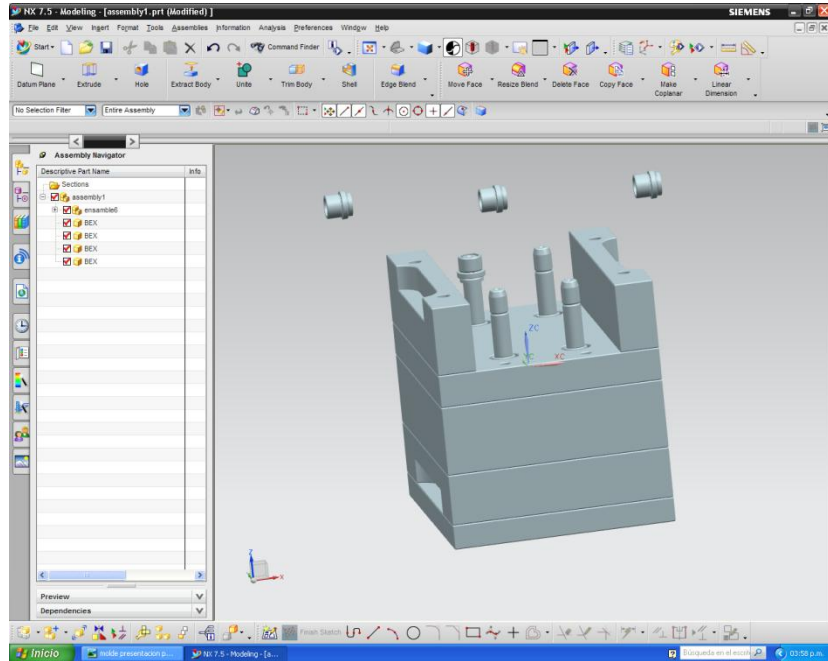


Fig. 3.48 Ensemble 8.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PLACA DE SOPORTE - BARRA PARALELA ESPACIADORA - PERNOS GUIA DE SUJECIÓN – CONECTORES- PLACA LIMITADORA DE BOTADORES

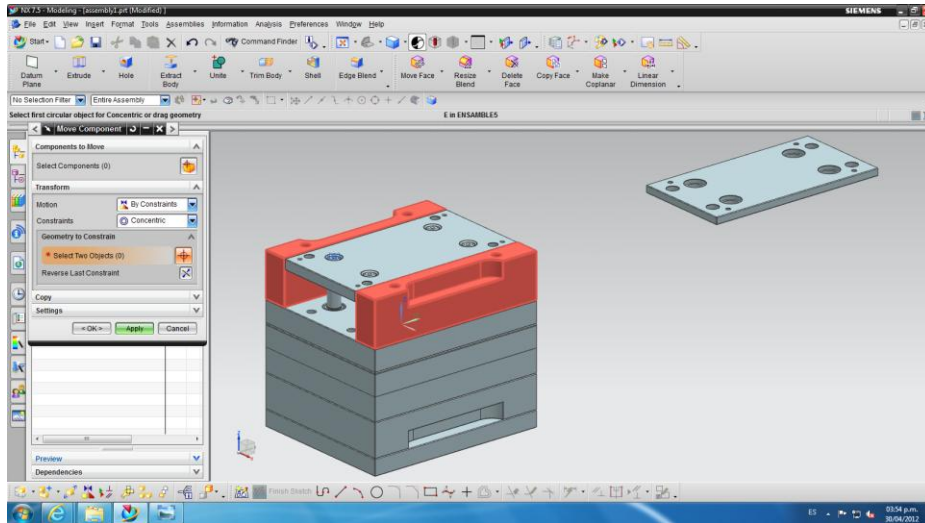


Fig. 3.49 Ensamble 9.

PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PLACA DE SOPORTE - BARRA PARALELA ESPACIADORA - PERNOS GUIA DE SUJECIÓN – CONECTORES- PLACA LIMITADORA DE BOTADORES- PLACA LIMITADORA DE BOTADORES

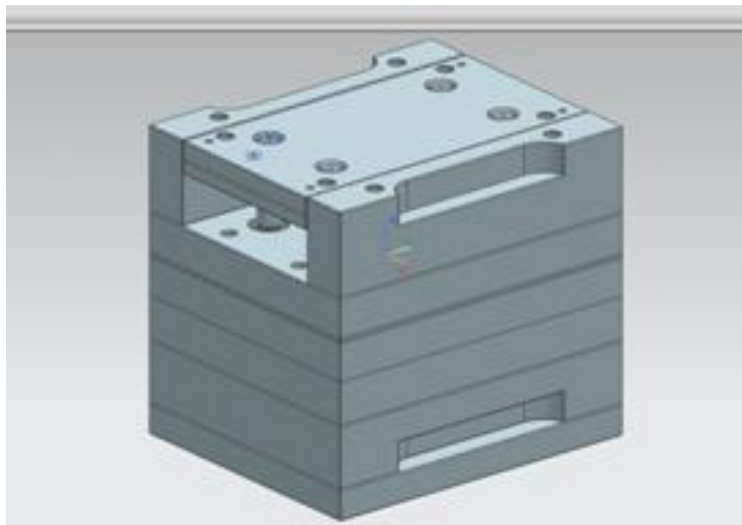


Fig. 3.50 Ensamble 10.

PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN – PLACA FRONTAL DE CAVIDAD – PLACA POSTERIOR DE CAVIDAD – PLACA DE SOPORTE - BARRA PARALELA ESPACIADORA- CONECTORES- PLACA LIMITADORA DE BOTADORES- PLACA LIMITADORA DE BOTADORES - PLACA POSTERIOR DE SUJECIÓN PBI.

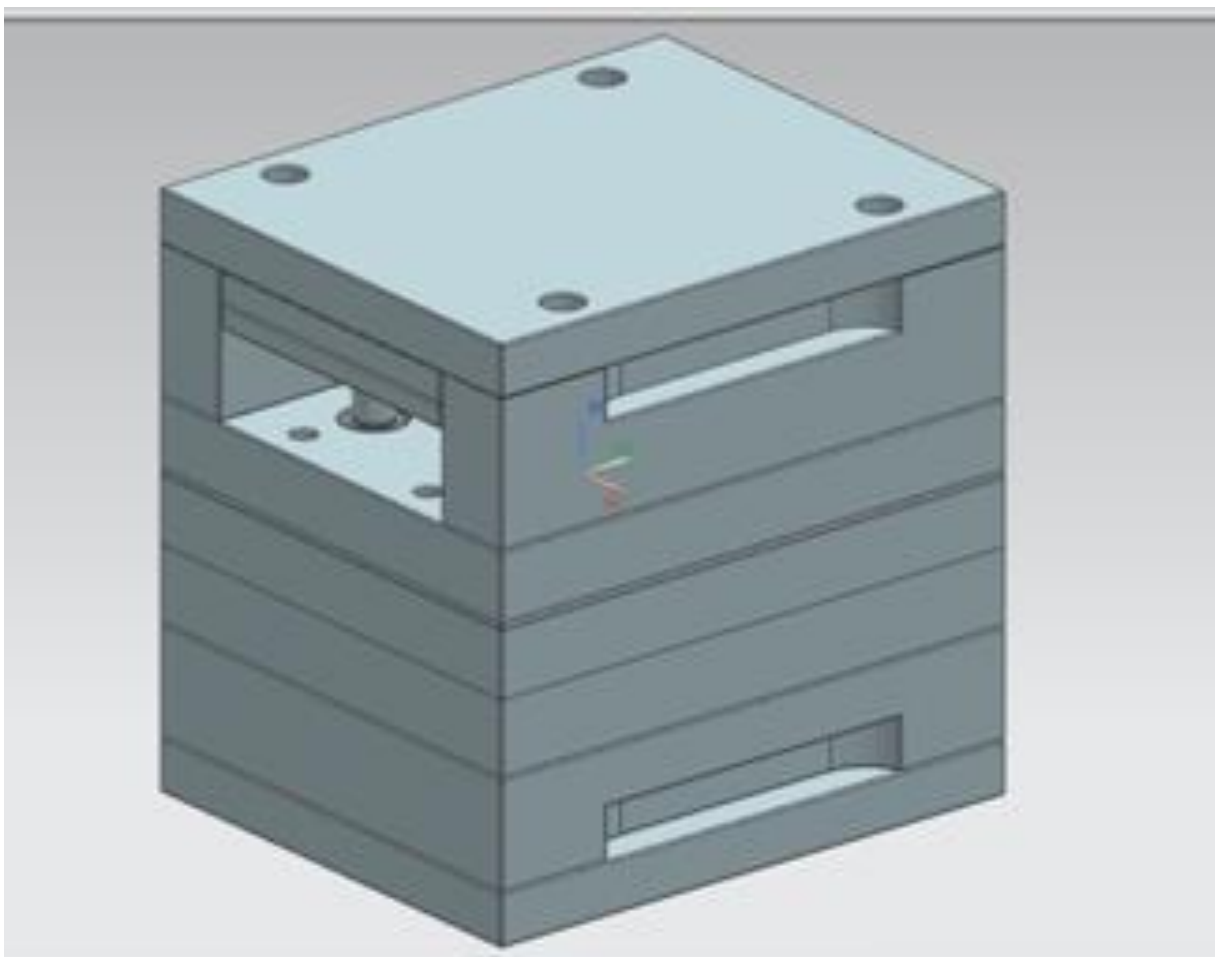


Fig. 3.51 Ensamble final.

3.6 IMPLEMENTACIONES NECESARIAS.

En este capítulo se ha hecho referencia de los componentes iniciales en los que se encontró el portamolde, pero más importante aún, permite visualizar y obtener las medidas de cada elemento en el portamolde para facilitar el diseño de los componentes faltantes, así como de la propuesta de inyección.

También es importante mencionar los procesos de manufactura que necesita el portamolde, para hacer ensamblar cada una de las piezas por diseñar en capítulos posteriores. A continuación se muestra un diagrama que hace referencia a lo mencionado.

3.6.1 ACTIVIDADES PROPUESTAS PARA EL ACONDICIONAMIENTO DEL PORTAMOLDE.

Levantamiento de inventario de los componentes en el portamolde.

Modelado CAD de los componentes iniciales del portamolde.

- Obtención de planos componentes iniciales del portamolde.

Ensamblaje de los componentes iniciales del portamolde.

- Identificación de los componentes faltantes y operaciones de manufactura que requiere el portamolde.

Propuesta de rediseño de componentes.

- Placa de soporte PS (parte fija)
- Anillo centrador

Propuesta de aplicación para la inyección de una pieza plástica.

- Consideraciones de la pieza a inyectar.
 - Características de la pieza a inyectar.
 - Modelado CAD de la pieza a inyectar.
 - Planos de la pieza a inyectar.
- Diámetro del orificio de llenado.
- Diseño del bebedero.
 - Modelado CAD del bebedero.
 - Planos del bebedero.

CAPÍTULO 3, MODELADO CAD, CONDICIONES INICIALES DEL PORTAMOLDE.

- Diseño de placa de aluminio para cavidades de molde.
 - Dimensiones, superficie y volumen de la placa.
 - Planos de la placa de aluminio para cavidades de molde.

- Diseño de pernos botadores.
 - Longitud del cuerpo de perno botador.
 - Diámetros y alturas de perno botador.
 - Planos del perno botador.

- Diseño de la colada
 - Número de cavidades de molde en la placa de aluminio.
 - Geometría de la colada
 - Generación del molde, operación extracción CAD de la colada y la pieza con respecto a la placa de aluminio de cavidades.

Ensamble final de la propuesta de rediseño.

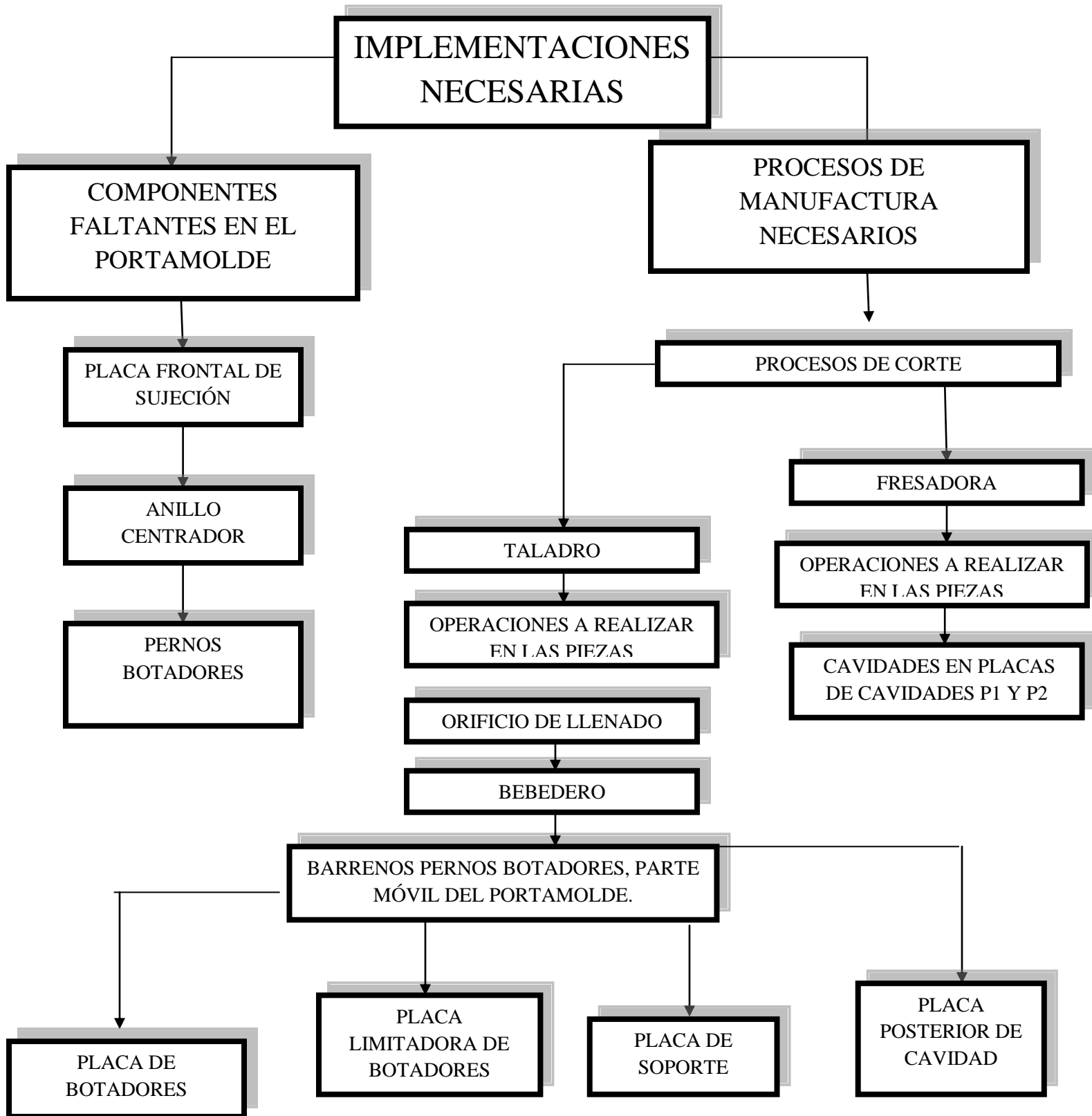
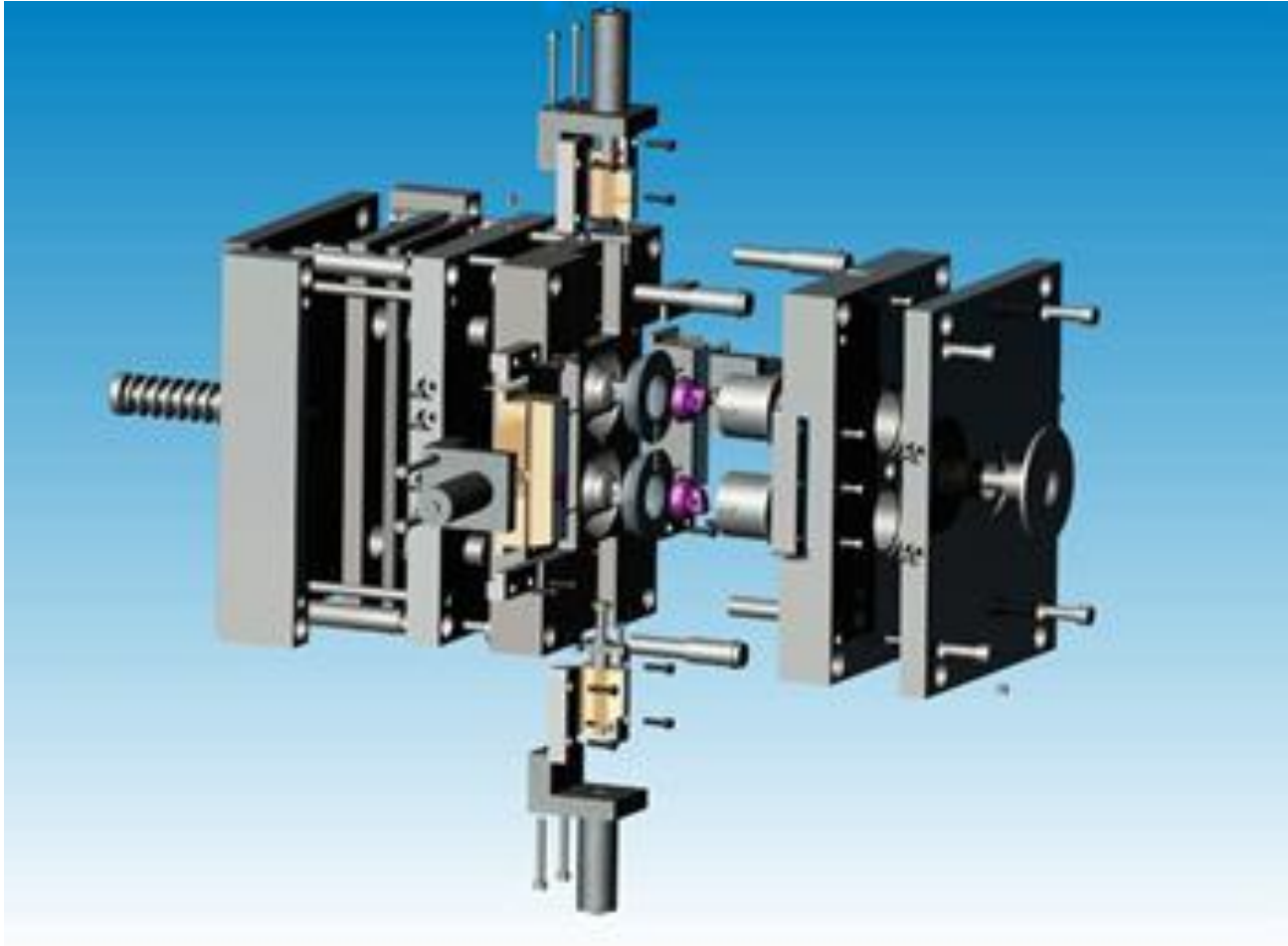


Diagrama 3.2 Implementaciones necesarias



Capítulo 4.

Propuesta de diseño.

- 4.1 Metodología para el diseño de componentes.
- 4.2 Especificaciones de la maquina inyectora y portamolde.
- 4.3 Diseño de componentes.
- 4.4 Propuesta de aplicación.
- 4.5 Ensamblés.
- 4.6 Programa de mantenimiento para el portamolde.

4.1 MÉTODO PARA EL DISEÑO DE COMPONENTES.

En este capítulo se hace referencia a los diseños de componentes del portamolde faltantes, así como un ejemplo de aplicación para inyectar una pieza de plástico.

Durante el segundo capítulo se describió los conceptos teóricos para el diseño de componentes de portamoldes de inyección de plástico, combinando esta información y la herramienta CAD Unigraphics Nx7, podemos iniciar el diseño de las partes faltantes en el portamolde para poder lograr así con el objetivo propuesto en este proyecto.

Es importante iniciar teniendo en cuenta las características técnicas del portamolde de inyección y la máquina inyectora, en el capítulo tres se muestran las especificaciones del portamolde como una necesidad para poder realizar el modelado CAD de los componentes existentes, pero en este capítulo es importante también conocer las características de la máquina inyectora para utilizar esta información como parámetros de diseño de los componentes en el molde. Por ejemplo la fuerza de cierre, la cantidad de volumen de inyección del material, altura mínima de molde, presión de inyección etc.

Existe un orden para el diseño de las piezas en el portamolde, ya que algunas de estas dependen directamente de las demás, por mencionar un ejemplo, para el diseño de los pernos botadores es importante considerar la distancia que genera el grosor de las placas de parte móvil del portamolde, o bien para el diseño del bebedero es importante considerar el grosor de la placa de soporte PS, así como el diámetro del orificio de llenado.

Teniendo en cuenta todo esto, y las consideraciones teóricas para el diseño de molde se presenta a continuación el siguiente diagrama, que menciona la metodología a seguir para el diseño de componentes del portamolde.

4.4.1 ISO 10303 STEP

Para la búsqueda de información y para conocer parámetros de diseño en este proyecto se utiliza la norma ISO 10303 también es conocido como STEP ([acrónimo](#) de *Standar for the Exchange of Product model data*) o Estándar del modelo de datos para intercambio de productos. Es un estándar internacional para la representación e intercambio de información de productos industriales. El objetivo es proveer un mecanismo que sea capaz de describir la información de un producto a través del ciclo de vida del producto, independientemente de cualquier sistema en particular. La naturaleza de esta descripción la convierte en la adecuada no solo para un intercambio neutral de archivos, sino que también es una base para implementar y compartir bases de datos de productos y archivos.

Típicamente STEP puede ser usado para intercambiar datos entre [CAD](#), [CAM](#), [CAE](#), [PDM/EDM](#) y otros sistemas CAx. STEP soporta modelos de diseño mecánico, eléctrico, análisis y manufactura, con información adicional específica de varias industrias tales como automotriz, aeroespacial, construcción de edificios, barcos, aceite y combustibles, plantas de proceso y otros

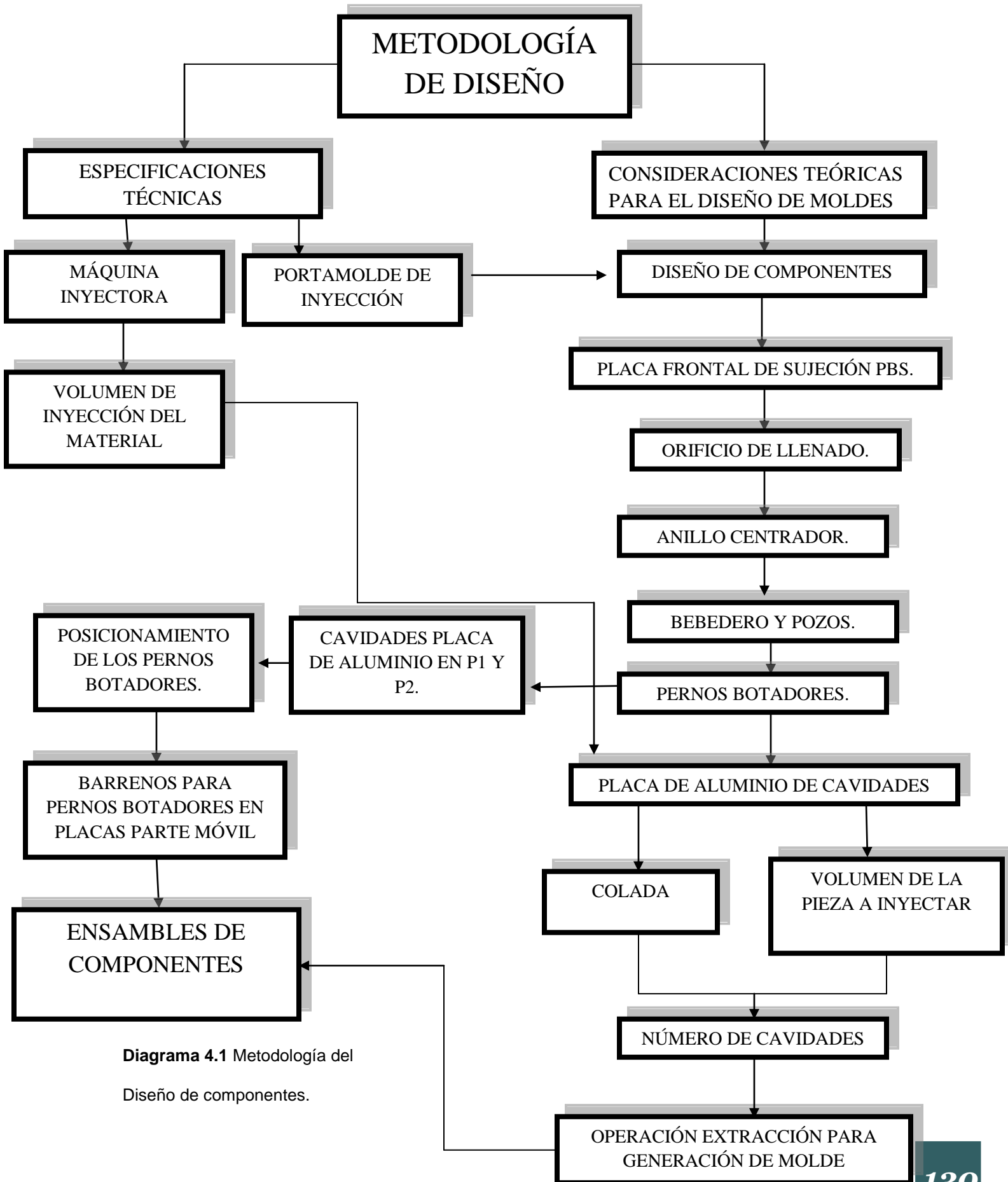


Diagrama 4.1 Metodología del Diseño de componentes.

4.2 ESPECIFICACIONES DE LA MÁQUINA INYECTORA.

El modelo de la máquina inyectora que se encuentra en la facultad de ingeniería presenta las siguientes características.

Máquina inyectora DEMAG ERGOTECH PRO 50-270.

Unidad de cierre hidráulica

Fuerza de cierre	500 kN
Fuerza de enclavamiento	500 kN
Carrera máxima de apertura	400 mm
Altura mínima del molde	210 mm
Altura máxima del molde	-
Distancia máxima entre platos portamoldes	610 mm
Platos portamoldes	540x540 mm
Distancia útil entre columnas	355x355 mm
Peso máximo del molde	400 kg

Expulsor hidráulico

Carrera del expulsor	125 mm
Fuerza del expulsor	41.2 kN
Fuerza de retroceso del expulsor	14.9 kN

Unidad de inyección (Cilindro plastificador)

Diámetro del husillo	35 mm
Relación L/D	20
Presión de inyección	1890 bar
Volumen desplazado	144.3 ccm
Peso de pieza inyectada (PS)	128 g
Carrera máxima de dosificación	150 mm
Carrera máxima de boquilla	250 mm
Profundidad de inmersión de boquilla	40 mm
Presión de apoyo de boquilla	66 kN
Potencia instalada de calefacción del cilindro	7.5 kW
Capacidad de tolva	35 lt

Datos generales

Capacidad del tanque de aceite	135 lt
Grupo motobomba	11 kW
Potencia total instalada	18.5 kW
Peso neto sin aceite	2500 kg
Medidas LxAxAlto	13650x1150x1770 mm



Fig. 4.1 Máquina inyectora de plástico DEMAG, Facultad de Ingeniería, U.N.A.M.

4.2.1 VOLUMEN DE INYECCIÓN DE MATERIAL EN LA MAQUINA INYECTORA.

Acorde a la ficha técnica de la maquina inyectora que se encuentra en el CDM de la Facultad de Ingeniería, ésta tiene una capacidad de inyectar 128 [gr] de poliestireno (PS).

Con la fórmula de densidad podemos obtener el volumen de inyección de la máquina:

$$\rho = \frac{m}{V_T}$$

Donde:

$$\rho = \text{Densidad del PS } 1.05 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]$$

V_T = volumen total de inyección.

m = masa del PS (128 [gr])

Despejando el volumen total de inyección de la pieza y sustituyendo valores:

$$V_T = \frac{m}{\rho} = \frac{128 \text{ [gr]}}{1.05 \left[\frac{\text{gr}}{\text{cm}^3} \right]}$$

$$V_T = 122 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Como factor de seguridad para la máquina inyectora restamos el 20% del volumen total de inyección, es decir:

$$V_I = V_T - 0.2V_T$$

Donde:

V_I = Volumen de inyección.

Sustituyendo valores en la ecuación anterior obtenemos que:

$$V_I = 122 \text{ [cm}^3\text{]} - 0.2(122) \text{ [cm}^3\text{]}$$

$$V_I = 98 \text{ [cm}^3\text{]}$$

Al obtener este volumen podemos garantizar el volumen de la pieza que la máquina puede inyectar en nuestro molde, lo siguiente es calcular el área proyectada de nuestras placas de cavidades del molde para así obtener el volumen que se puede inyectar en ellas.

4.3 DISEÑO DE COMPONENTES.

En el capítulo 2 se describen las ecuaciones y las características para el diseño de moldes de inyección de plástico. En este capítulo además de utilizar los aspectos teóricos para el diseño de molde, se deben tomar en cuenta las siguientes consideraciones, para el diseño de los componentes que el portamolde de inyección requiere.

- Materiales de fabricación.
- Dimensiones de las placas.
- Tolerancias de medición para las placas.
- Acabados superficiales.

Para ello usamos como referencia ISO 10303, dentro del apartado de diseño de moldes de inyección.

4.3.1 MATERIALES

ACERO 1045

Se designa que para la habilitación del portamolde se utilice Acero 1045 en los siguientes elementos:

- Placa de frontal de sujeción (parte fija).
- Anillo centrador
- Bebedero
- Pernos botadores

EL Acero 1045 es utilizado cuando la resistencia y la dureza son necesarias. Hay diversas razones para la elección de este material para los componentes mencionados en el portamolde:

- Partimos de que las placas existentes del portamolde ya están fabricadas de este material.
- Por sus propiedades de resistencia y dureza, es un material óptimo para resistir el ciclo de apertura y cierre durante el proceso de inyección.
- Es un acero que no es difícil de soldar, característica que facilita el mantenimiento correctivo en las placas del portamolde, principalmente cuando se presenta desgaste o fatiga en las placas de cavidad de molde P1 Y P2.

Propiedades mecánicas:

- Dureza de 163 Hb. (84 Hrb)
- Esfuerzo de fluencia de 310 MPa (45000 PSI)
- Esfuerzo máximo de 565 MPa (81900 PSI)
- Elongación 16% (en 50 mm)
- Módulo de elasticidad 200 GPa (29000 KSI)
- Densidad de 7.87 gr/cm³

Composición química:

- 0.43 C carbono, equivalente al 0.5 %.
- 0.6 Mn manganeso, equivalente al 0.9 %.
- 0,15 Si silicio, equivalente al 0.3 %.

ALUMINIO

El aluminio está designado para las placas que contendrán la cavidad de la pieza a inyectar, estas placas se denominan placas de aluminio intercambiables para cavidad de molde. Para implementar estas placas es necesario realizar una cavidad en las placas de cavidad del portamolde para la parte fija y la parte móvil respectivamente (P1 y P2).

Ventajas de la selección de aluminio para las placas de cavidad de molde:

- La conductividad térmica es cuatro veces superior a la del acero lo que permite una mejora para la distribución del material en las cavidades del molde.
- Puede soportar altas velocidades de corte lo que reduce los tiempos del mecanizado y se obtienen superficies de excelente calidad.
- El peso específico del Aluminio es de 61 % inferior al del acero, es decir, 1/3 de su peso, lo que facilita su manipulación.
- El material se halla libre de porosidades e inclusiones lo que hace que pueda pulirse fácilmente con brillo espejo, generando así una buena calidad de las piezas a inyectar.
- Es resistente a la corrosión, es resistente a todos los plásticos comúnmente empleados y por ello no necesita ningún tratamiento de superficie, como cromado o niquelado, aunque si lo permite.
- Presenta un buen comportamiento con respecto a la soldadura, eso facilita el mantenimiento correctivo de los moldes.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

4.3.2 DIMENSIONES DE LAS PLACAS

A continuación se muestra una tabla de la estandarización de las dimensiones de las placas para portamoldes de dos placas estandar tipo europeo de la marca Polimold.

	MOLDE	DIMENSIONES DE LAS PLACAS											
		LARGO - ANCHO			ÁREA ÚTIL		ESPESOR DE LAS PLACAS						
		SERIE	A	B *	C	X	Y	PBS	PS	ESP	CPE	PE	PBI
E.A	15 - 15	156.0	206.0	156.0	88.0	42.0	22.0	27.0	32.0	9.0	17.0	22.0	90.0
E.A	15 - 20	156.0	206.0	196.0	88.0	82.0	22.0	27.0	32.0	9.0	17.0	22.0	90.0
S.P.	15 - 25	156.0	196.0	246.0	88.0	132.0	22.0	27.0	32.0	9.0	17.0	22.0	90.0
E.A	20 - 20	196.0	246.0	196.0	116.0	72.0	22.0	27.0	38.0	12.0	17.0	22.0	118.0
E.A	20 - 25	196.0	246.0	246.0	106.0	122.0	27.0	36.0	43.0	12.0	17.0	27.0	108.0
E.A	20 - 30	196.0	246.0	296.0	106.0	160.0	27.0	36.0	43.0	12.0	17.0	27.0	108.0
S.P.	20 - 35	196.0	246.0	346.0	106.0	210.0	27.0	36.0	43.0	12.0	17.0	27.0	108.0
S.P.	20 - 40	196.0	246.0	396.0	106.0	260.0	36.0	36.0	43.0	17.0	22.0	36.0	108.0
E.A	25 - 25	246.0	296.0	246.0	156.0	96.0	27.0	36.0	43.0	12.0	17.0	27.0	158.0
E.A	25 - 30	246.0	296.0	296.0	156.0	146.0	27.0	36.0	43.0	12.0	17.0	27.0	158.0
E.A	25 - 35	246.0	296.0	346.0	156.0	196.0	27.0	46.0	43.0	17.0	22.0	27.0	158.0
S.P.	25 - 40	246.0	296.0	396.0	148.0	246.0	36.0	46.0	47.0	17.0	22.0	36.0	150.0
S.P.	25 - 45	246.0	296.0	446.0	156.0	296.0	36.0	46.0	43.0	17.0	22.0	36.0	158.0
S.P.	25 - 50	246.0	296.0	496.0	156.0	346.0	36.0	46.0	43.0	17.0	22.0	36.0	158.0
E.A	30 - 30	296.0	346.0	296.0	206.0	146.0	27.0	46.0	43.0	12.0	17.0	27.0	208.0
E.A	30 - 35	296.0	346.0	346.0	206.0	196.0	36.0	46.0	43.0	17.0	22.0	36.0	208.0

Tabla 4.1 Medidas de espesor de las placas para portamoldes estar tipo europeo (medidas en milímetros)

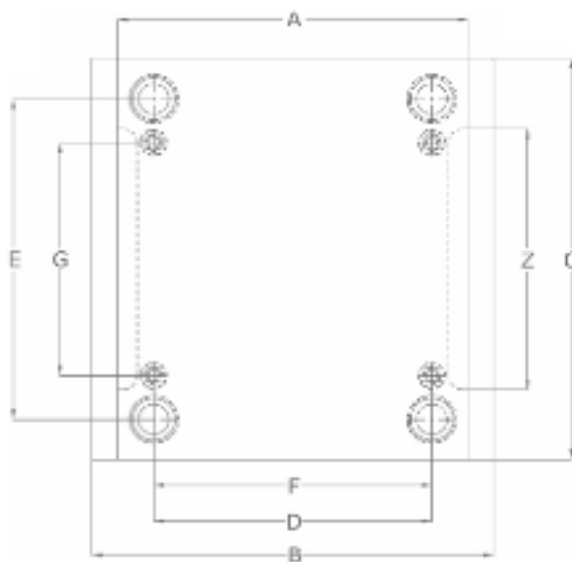


Fig 4.2 Dimensiones a considerar en un portamolde estándar.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

La serie del portamolde es E.A 25-30, que corresponde para las medidas de largo y ancho de las placas (246 mm X 296 mm) podemos determinar que las medidas a considerar son las siguientes:

- Área de cavidad de molde de 227.6 cm^3 .
- Espesor de la Placa frontal de sujeción (PBS) de 27 mm.
- Espesor de la Placa de soporte (PS) de 36 mm.
- Espesor de las Barras paralelas espaciadoras 43 mm.
- Espesor de la Placa limitadora de botadores (CPE) de 12 mm.
- Espesor de la Placa de botadores (PE) de 17 mm.
- Espesor de la Placa posterior de sujeción (PBI) de 27 mm
-

4.3.3 TOLERANCIAS DE MEDICION PARA LAS PLACAS

Comparando los espesores de las placas de las medidas presentadas por el fabricante, con respecto a las mediciones realizadas en el capítulo 3 sobre las condiciones iniciales del portamolde, se definen a continuación las tolerancias dimensionales presentadas en el portamolde:

- Tolerancias de espesores en las placas: $\pm 2 \text{ mm}$.
- Paralelismo de espesores: 0.01 mm cada 100 mm.
- Tolerancias de dimensiones ancho y largo $\pm 2 \text{ mm}$.
- Encuadramiento de las caras laterales: 0.01 mm cada 100 mm.
- Tolerancia de la distancia entre los centros de los bujes con respecto a las caras laterales de la placa $\pm 2 \text{ mm}$.
- Perpendicularidad entre la línea de centro de buje con respecto a la cara de la placa de cavidad $\pm 0.03 \text{ mm}$ cada 100 mm.

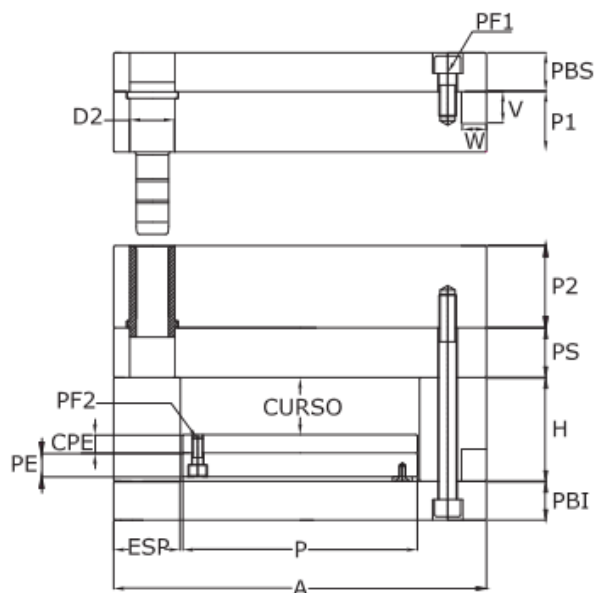


Fig 4.3 Montaje estándar para un molde de la marca Polimold.

4.3.4 PLACA FRONTAL DE SUJECIÓN PBS (PARTE FIJA).

Es la base donde se colocara la placa porta cavidades, las cavidades, el anillo centrador y el bebedero.

Esta placa se diseña acorde a la placa de cavidad P1, se realizan los barrenos para los pernos de sujeción, a esta placa se fijará el anillo centrador, es la placa de soporte de la parte fija del portamolde.

Placa de dimensiones (ancho y alto) adecuadas para que según el tamaño de pieza a inyectar, queden espacios libres por donde se podrá sujetar mediante bridas al plato fijo de la máquina. El espesor de esta placa será lo suficiente, para evitar deformaciones y dependerá del peso total del molde

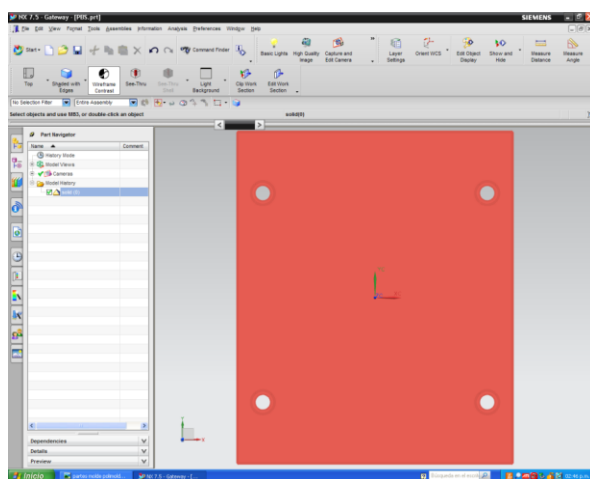


Fig. 4.4 Placa frontal de sujeción PBS vista frontal

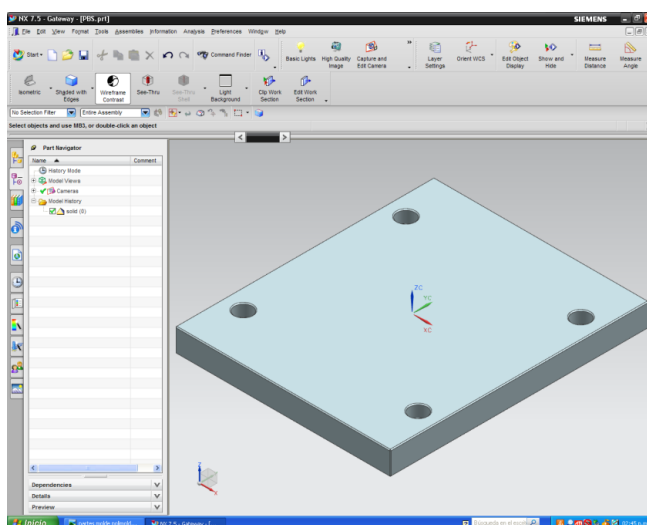


Fig. 4.5 Placa frontal de sujeción PBS vista isométrica

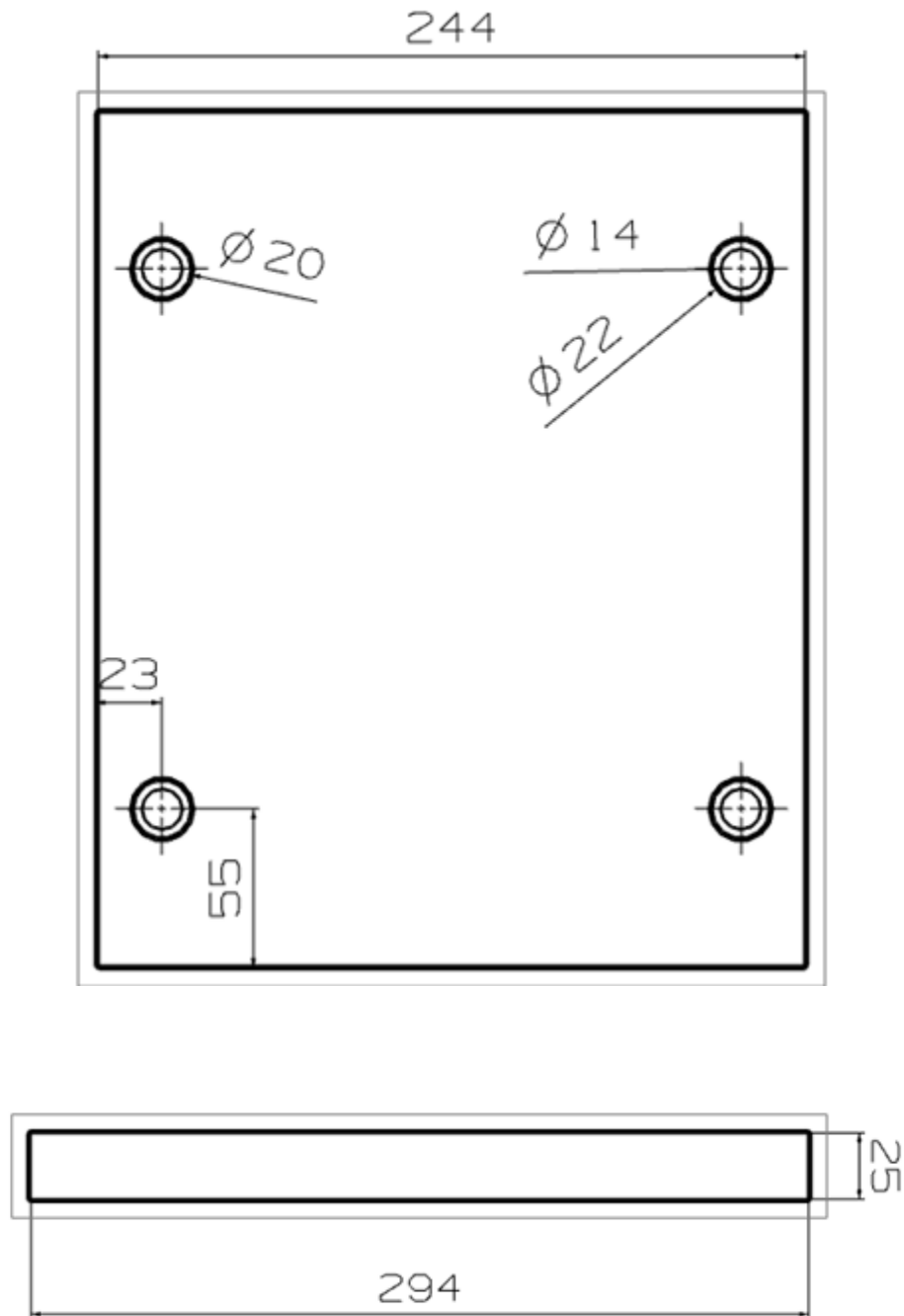


Fig. 4.6 Descripción, Placa frontal de sujeción PBS.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

4.3.5 ANILLO CENTRADOR

Es una especie de rondana plana y se atornilla a la placa de fijación superior, su función es centrar el molde con respecto a la boquilla de inyección de la máquina.

Utilizando la *norma* ISO 10303 para el diseño de moldes de inyección de plástico se sugiere que para un montaje 5A correspondiente al portamolde en estudio, se tengan en consideración los siguientes parámetros de diseño.

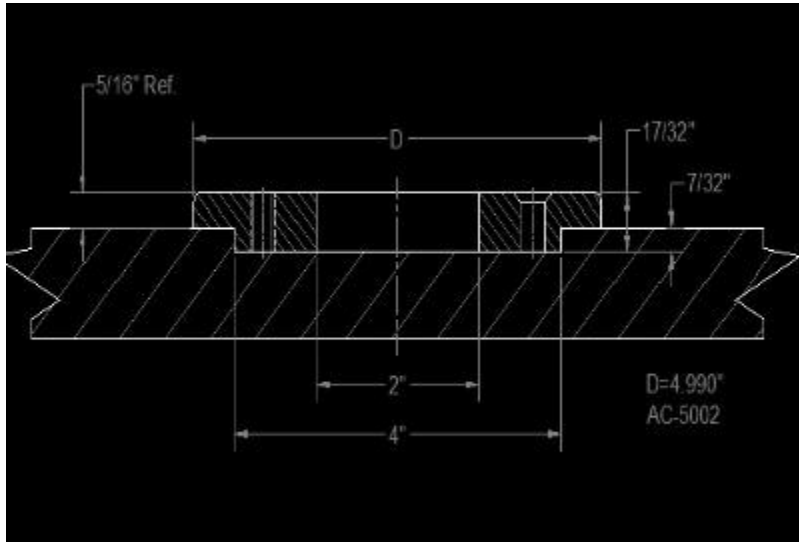
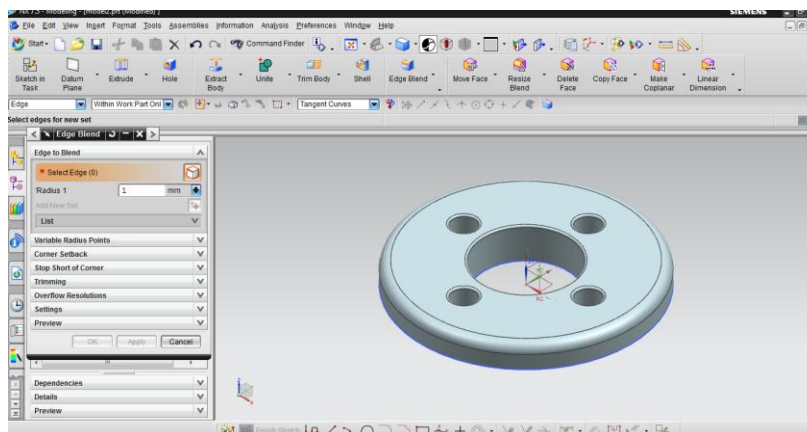


Fig 4.7 Descripción de las características del anillo centrador para el portamolde, mediciones en pulgadas.

Se convierten las unidades de pulgadas a milímetros, para continuar a modelar el sólido en Unigraphics NX7.



CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

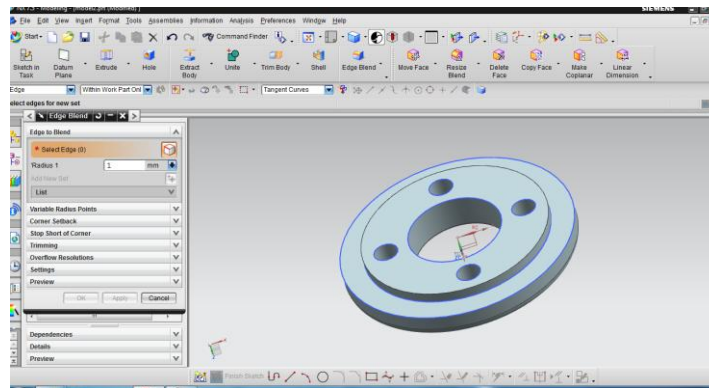


Fig 4.8 Modelado solido del anillo centrador, vista isométrica.

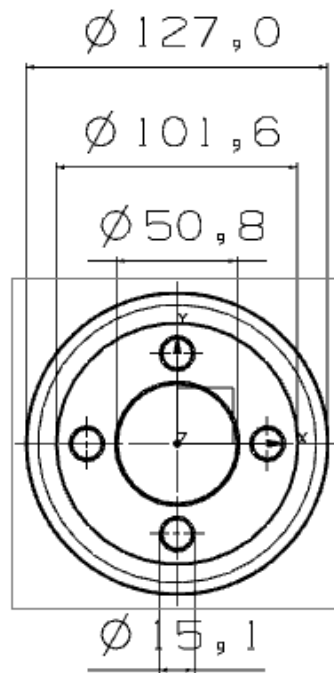


Fig 4.9 Descripción del anillo centrador, vista frontal

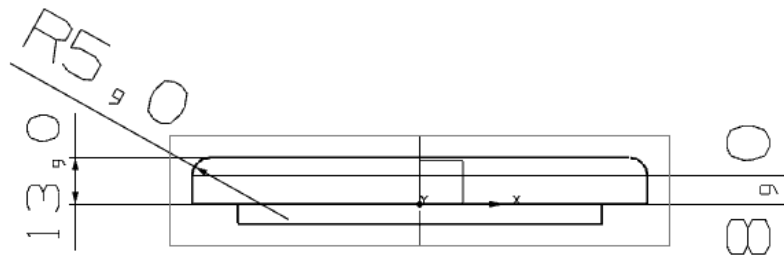


Fig 4.10 Descripción del anillo centrador, vista lateral.

4.4 PROPUESTA DE APLICACIÓN.

Por lo general en la industria, cada portamolde está diseñado para manufacturar un solo tipo de pieza plástica. En la introducción, se ha planteado la necesidad de desarrollar un portamolde de inyección que pueda manufacturar distintas piezas, con la finalidad de cumplir con actividades de enseñanza en la institución. Para lograr esto, se ha considerado el diseño de una cavidad en la placa de cavidades (P1 y P2) donde se va implementar el diseño de una **placa de aluminio para cavidades de molde**.

Por lo general, el diseño de un portamolde y un molde de inyección se generan a partir del diseño de una pieza que se desea manufacturar. En este proyecto no estamos partiendo de ésta condición, si no que tenemos elementos de un portamolde que necesitan ser habilitados y para ello previamente en este capítulo se han desarrollado los componentes que el portamolde requiere. Lo siguiente es desarrollar una propuesta de diseño de cavidades en el portamolde que permita incorporar la placas de aluminio que sirvan como placa de cavidades de moldes para ofrecer diversidad en las piezas a inyectar.

La justificación del diseño de esta propuesta de inyección de plástico, es permitir que bajo los requerimientos de una pieza a inyectar, se puedan designar, desarrollar y diseñar componentes necesarios en el portamolde para el acondicionamiento del mismo.

Las actividades a realizar para la propuesta de diseño y la generación de componentes necesarios en el portamolde son las siguientes:

- Conocer el **área de la placa de cavidades de aluminio**, esta se determina a partir del área de inyección que proporciona la placa de cavidades de molde.
- Selección de la **pieza plástica** a inyectar. Obtención del volumen de la pieza a inyectar.
- Propuesta de diseño para el **orificio de llenado y bebedero** de distribución de material.
- Selección, diseño y distribución de los **pernos expulsores** o pernos botadores en el área de inyección.
- Generación de la longitud de la **colada** que depende de la distribución de los botadores.
- Acorde a la capacidad de volumen de inyección de la máquina, y los puntos anteriores determinar el número de cavidades para la inyección de las piezas.
- Por último, proponer una **distribución de las piezas** acorde al número de cavidades.

4.4.1 PLACA DE ALUMINIO PARA CAVIDADES DE MOLDE.

Las placas de aluminio para cavidades de molde, como su nombre lo indica, son las placas donde se manufactura la cavidad de molde acorde a la pieza deseada al inyectar. La importancia de la implementación de estas placas en el portamolde, surge a través de la necesidad de poder inyectar una diversidad de piezas plásticas en el portamolde. Estas placas dependen completamente de la geometría de las placas de cavidad frontal P1 y posterior P2 (donde precisamente en la industria se suele manufacturar las cavidades de molde de la pieza a inyectar). Es necesario considerar el área y el volumen que puede proporcionar las placas de cavidades P1 y P2, ya que esto nos proporciona la información para las dimensiones de las placas de aluminio para las cavidades de molde.

Acorde a los planos de la placa frontal de cavidad P1 y placa posterior de cavidad P2.

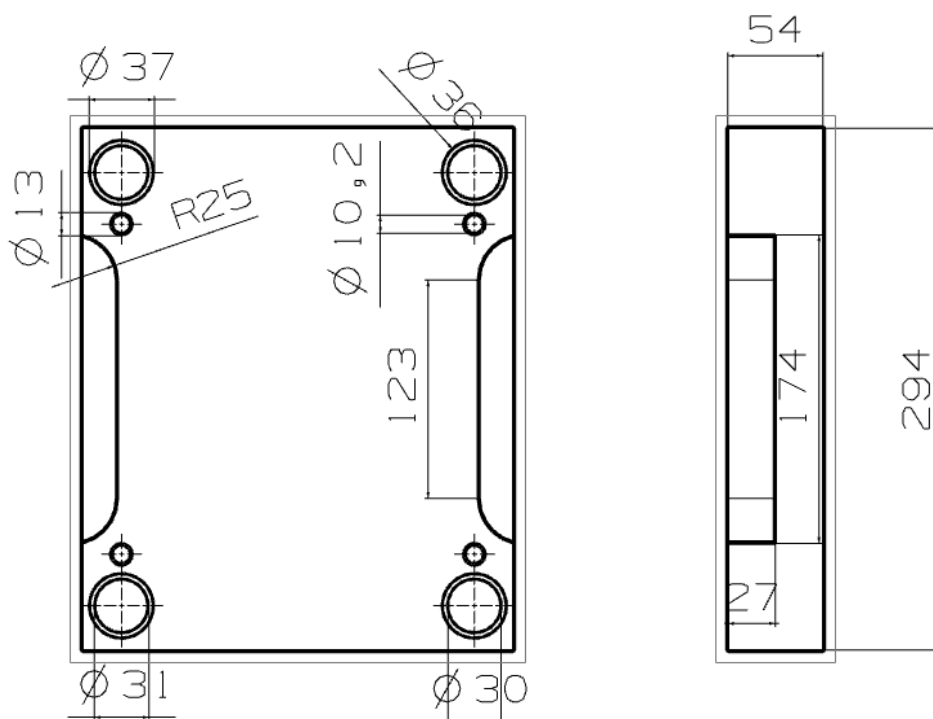


Fig. 4.11 Dimensiones placa frontal de cavidad P1

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

Se determina el área máxima que se puede usar para la placa de cavidades (placa de aluminio) y así en dicha placa obtener la cantidad de cavidades acorde a la pieza que inyectemos.

De los planos de la placa posterior de cavidades P2 tenemos que considerar la misma área que determinamos para la placa frontal P1.

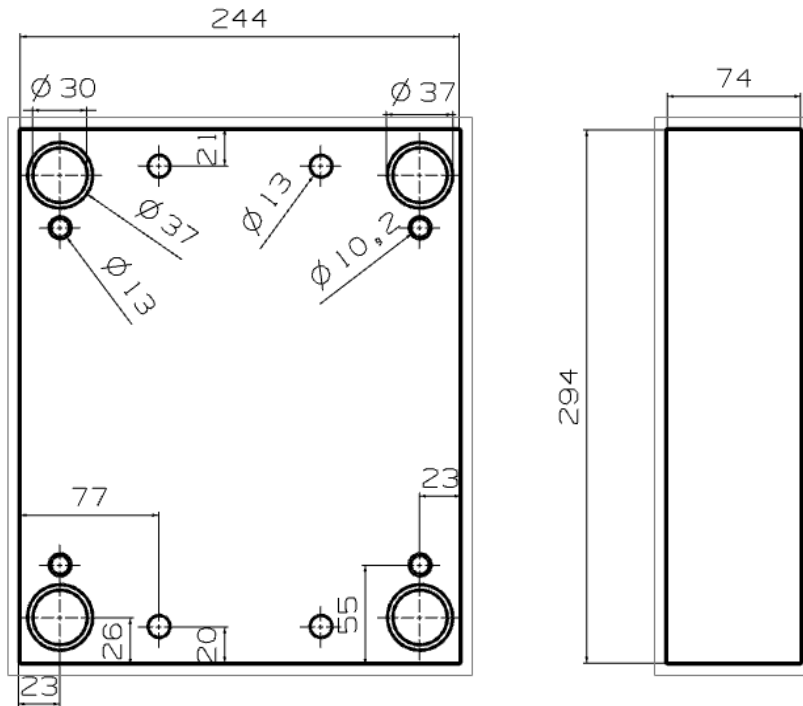


Fig. 4.12 Dimensiones placa posterior de cavidad P2

Como podemos observar las dimensiones de las placas P1 y P2 corresponden a 244 mm y 294 mm generando así un área de 71,736 mm² en cada placa. Pero esta área no corresponde al área de las placas de aluminio a diseñar, para el diseño de dichas placas es importante considerar los diámetros de los elementos de sujeción de las placas así como los barrenos de los pernos guía de sujeción, así como también la longitud del regle que presentan las placas de cavidad P1 y P2.

Tomando en consideración lo mencionado con anterioridad, se propone que la placa de aluminio para cavidades de molde tenga dimensiones de 190 mm y 162 mm, por lo que a continuación se muestra una descripción de la misma.

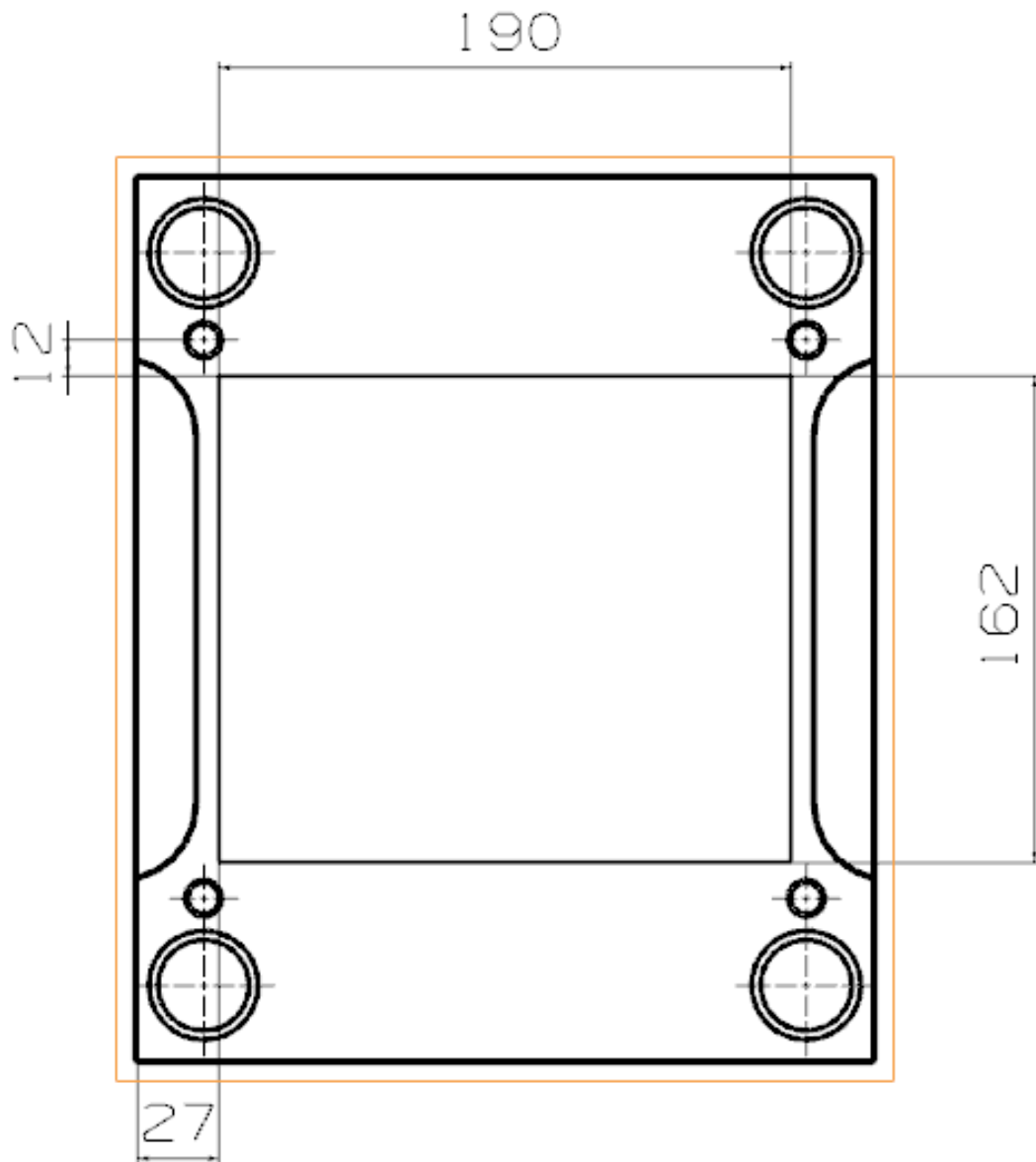


Fig. 4.13 Dimensiones para placa de cavidades de molde

El área de inyección en el portamolde es de:

$$A = 19 \times 16.2 [cm^2]$$

$$A = 307.8 [cm^2]$$

4.4.2 CAVIDADES PARA PLACA DE ALUMINIO EN PLACAS P1 Y P2.

Con respecto a la obtención del área de inyección en el portamolde obtenida con anterioridad, a continuación se presentan la descripción de las dimensiones y los modelos CAD sobre las cavidades que se deben manufacturar en las placas de cavidad de molde P1 y P2 para la implementación de las placas de aluminio para cavidades de molde.

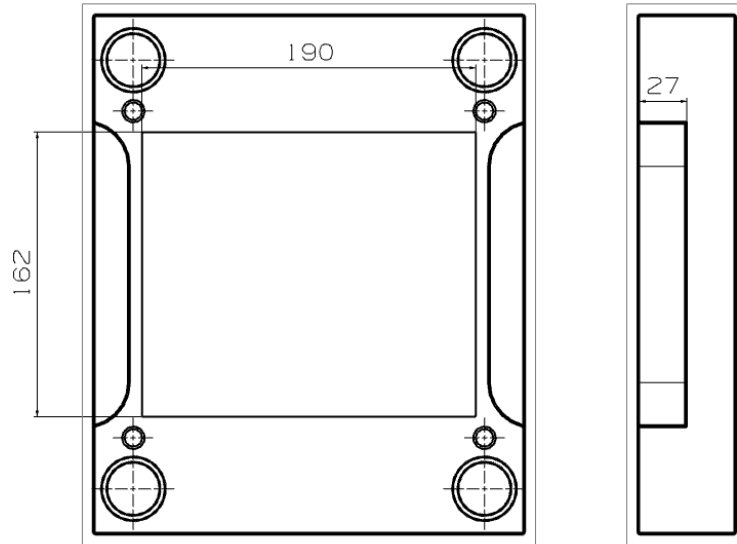


Fig. 4.14 Plano placa de cavidad P1

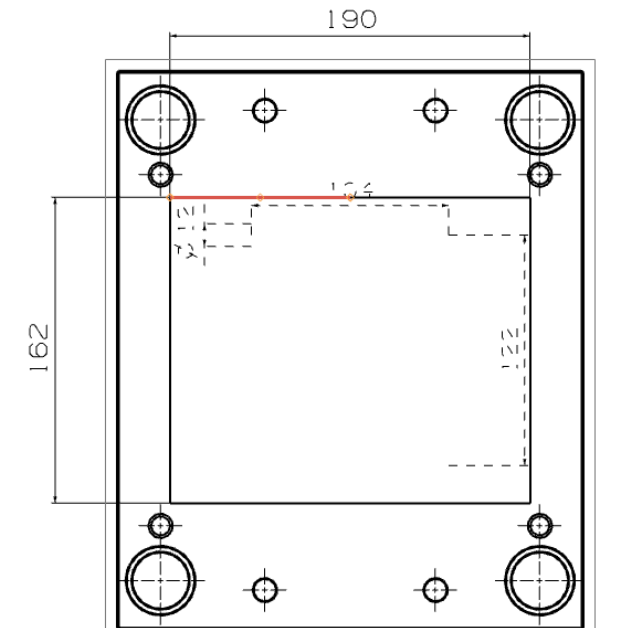


Fig. 4.15 Plano placa de cavidad P2

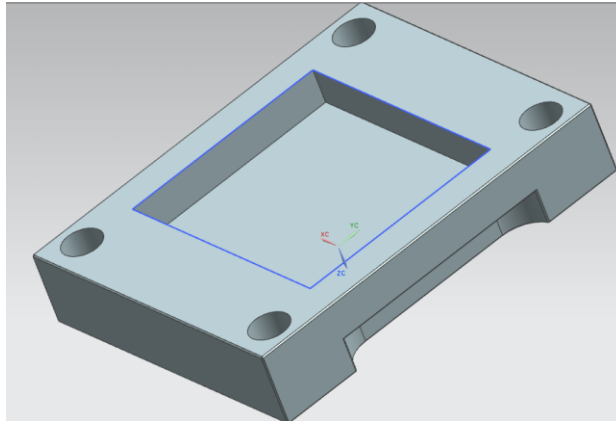


Fig. 4.16 Operación extraer, para la generación de cavidad para placa de aluminio en P1.

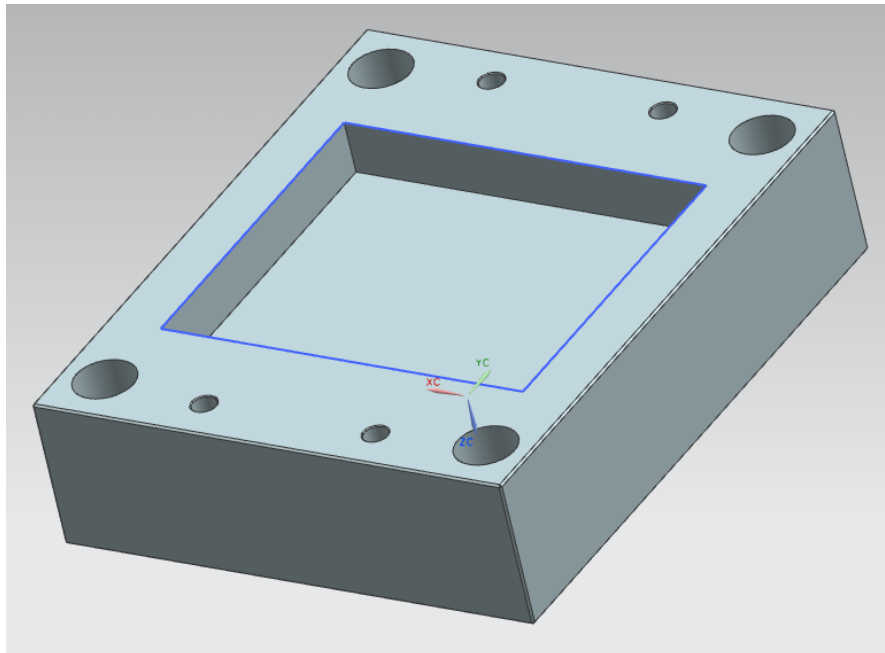


Fig. 4.17 Operación extraer, para la generación de cavidad para placa de aluminio en P2.

El volumen de la placa de aluminio corresponde al área previamente calculada por la profundidad, la profundidad está relacionada directamente con la profundidad del regle que corresponde a 27 mm por lo que el volumen queda:

$$V = 307.8 \times 2.7 \text{ cm}^3$$

$$V = 832.06 \text{ cm}^3$$

4.4.3 PIEZA A INYECTAR.

Es importante mencionar que para la selección de la pieza se debe considerar, el propósito del portamolde, recordando que el propósito del portamolde es contribuir como herramienta de aprendizaje dentro de las actividades del laboratorio de procesamiento de plásticos, se debe entender que las piezas a inyectar corresponden a prototipos, y no para la producción masiva de un producto como generalmente sucede en la industria. Anteriormente se ha determinado el área y volumen que corresponden a la placa de aluminio para la generación de los moldes de inyección, se ha mencionado que esta placa es intercambiable, por lo que se pueden incorporar diversas placas con sus respectivos moldes. Hasta este momento se determina que para la selección de una pieza, se deben considerar los siguientes puntos:

- Que la pieza se ajuste al área de las placas de aluminio para cavidades de molde.
- Que la pieza no sobrepase y se ajuste a la capacidad de volumen de plastificación de la máquina inyectora, así como el volumen de las placas de aluminio para cavidades de molde.

Determinado lo anterior la propuesta de pieza a inyectar, es tapaderas para el ánodo y el cátodo de una batería eléctrica convencional para automóvil, la fotografía de la pieza se muestra a continuación:



Fig. 4.18 Pieza de polipropileno, tapadera para ánodo de batería de automóvil.

En el interior de la pieza muestra la siguiente nomenclatura que corresponde a la del polipropileno.



Fig. 4.19 Polipropileno

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

El polipropileno (PP) es el polímero termoplástico, parcialmente cristalino, que se obtiene de la polimerización del propileno (o propeno). Perteneció al grupo de las poliolefinas y es utilizado en una amplia variedad de aplicaciones que incluyen empaques para alimentos, tejidos, equipo de laboratorio, componentes automotrices y películas transparentes. Tiene gran resistencia contra diversos solventes químicos, así como contra álcalis y ácidos. Optima condición para los tapones de los ánodos y cátodos de una batería eléctrica.

Volumen de la pieza.

Es importante conocer el volumen de la pieza, para poder

Despejando el volumen de la ecuación de densidad, y sustituyendo la densidad del polipropileno que corresponde a $0.9 \frac{gr}{cm^3}$ cuando se presenta cristalino y $0.85 \frac{gr}{cm^3}$ cuando se presenta amorfo

$$V_{pieza} = \frac{m}{\rho} = \frac{5 [gr]}{0.9 \frac{gr}{cm^3}}$$

$$V_{pieza} = 5.6 \text{ cm}^3$$

MODELO SÓLIDO DE LA PIEZA A INYECTAR

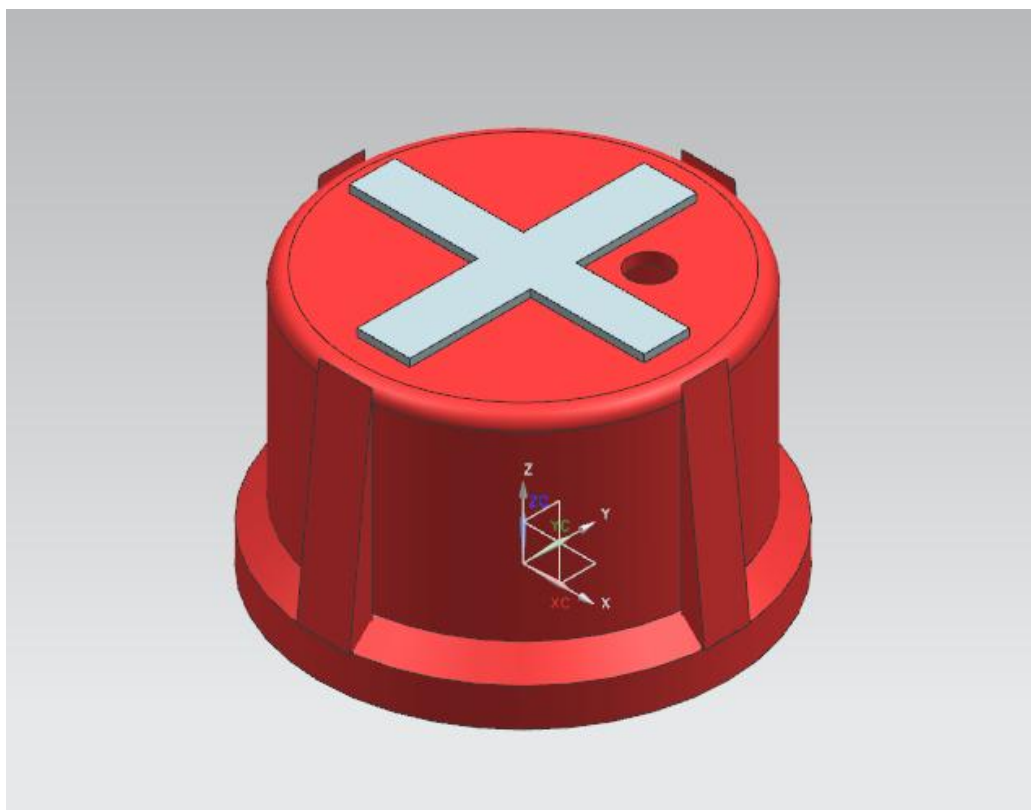


Fig. 4.20 Vista isométrica CAD de la pieza a inyectar

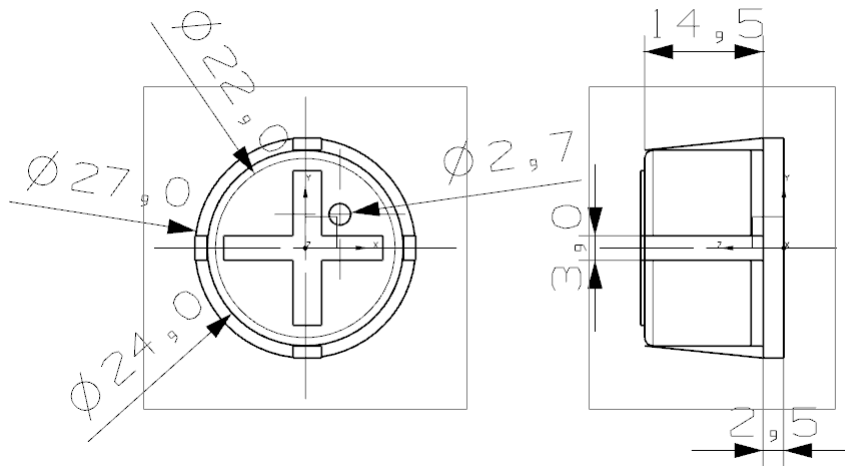


Fig. 4.21 Plano de la pieza a inyectar

4.4.4 ORIFICIO DE LLENADO.

Para conocer el diámetro del orificio de llenado necesitamos conocer la tasa de corte o velocidad de corte y esta depende directamente del material que vamos a utilizar por medio de las tablas 2.10 y 2.11 mostradas en el capítulo 2, o bien, también se puede obtener las mediciones directas con un viscosímetro rotacional.

En este caso se utilizan las tablas mencionadas para el cálculo del diámetro del orificio de llenado.

De la tabla 2.10 tasa de corte para diferentes materiales plásticos, obtenemos que la velocidad de corte para el PS (poliestireno) sea de 100,000 (1/s).

También es necesario tener como dato el caudal o la capacidad de plastificación de la máquina, que en este caso haciendo una búsqueda en internet sobre el modelo de la máquina inyectora obtenemos que el caudal corresponda a 58 centímetros cúbicos por minuto.

Sustituyendo la información en la siguiente fórmula:

$$\phi = \sqrt[3]{\frac{32(Q_m)}{\pi(\gamma)}} = \sqrt[3]{\frac{32(58)}{\pi(100,000)}}$$

Obtenemos un diámetro de orificio de llenado de:

$$\phi = 0.18 \text{ cm} = 1.8 \text{ mm}$$

Si comparamos este valor con el de la tabla 2.11 que muestra la relación caudal y tasa de corte de material con respecto al diámetro del orificio. Con los datos previamente introducidos en la

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

formula anterior tenemos que el diámetro recomendado es de 0.17 cm, o bien 1.7 mm., por lo que podemos considerar el diámetro calculado como un valor correcto ya que es muy aproximado al valor teórico de referencia.

Como recomendación para hacer el molde versátil al inyectar diversidad de piezas plásticas, se posiciona el orificio de llenado en el centro de la placa de soporte, para hacerlo coincidir con el centro de la placa de molde P1.

4.4.5 BEBEDERO. (Boquilla de inyección).

Es el elemento de conexión entre el molde y la boquilla de inyección de la máquina. El bebedero presentado, cuenta con un orificio cónico, ligeramente más ancho hacia el interior del molde, a través del cual, el material plástico fluye, desde la boquilla a la línea de separación de la pieza a moldear, o de los canales (colada). El material plástico formado en este orificio, recibe el nombre de mazarota. El bebedero de forma cónica, esto es así de tal forma que cuando el molde se abre, la mazarota suele permanecer unido a las coladas.

En el diseño de bebederos es recomendable el uso de una trampa de material frío (pozo frío). Esta trampa previene que el material frío entre en el sistema de alimentación y finalmente en la parte, lo cual afectaría las propiedades finales de la pieza.

Para el cálculo del pozo es necesario considerar ciertos parámetros de diseño para el bebedero y la geometría del mismo. Su ángulo de salida oscila entre 1 ó 2 grados en función de la longitud de la mazarota. Se recomienda utilizar un ángulo mínimo de bebedero de 2 grados o bien utilizar un ángulo máximo de 6 grados.

Para el diseño de nuestro bebedero utilizamos como referencia un ángulo de 3 grados, es importante considerar también el orificio de llenado de 1.8 milímetros inyección de la máquina para conocer el diámetro de la boquilla circular.

El diámetro inicial es igual, o ligeramente mayor al de paso de la máquina para no provocar fricciones y turbulencia en la masa.

Al relacionar este diámetro con el diámetro de boquilla y con el ángulo de 3 grados para la colada, obtenemos que el diámetro para el pozo frío es de 8.8 milímetros.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

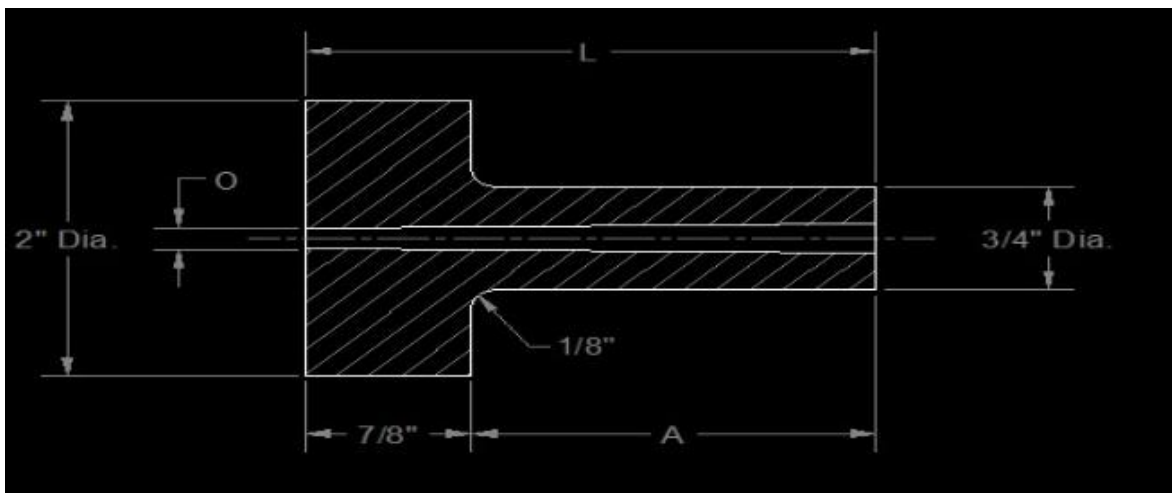


Fig. 4.22 Descripción de las características de un bebedero para el portamolde en cuestión.

Se convierten las unidades de pulgadas a milímetros, y se realiza el modelo sólido acorde a los parámetros sugeridos en Unigraphics NX7, es importante considerar un ángulo inicial de 3 grados, para el barreno de la entrada del material, se considera el espesor del regle que proporciona la placa frontal de cavidad que para el portamolde es de 27 mm, agregando el espesor de la placa frontal de sujeción de 25 mm, obteniendo así una longitud de distribución de material en el bebedero de 52 mm.

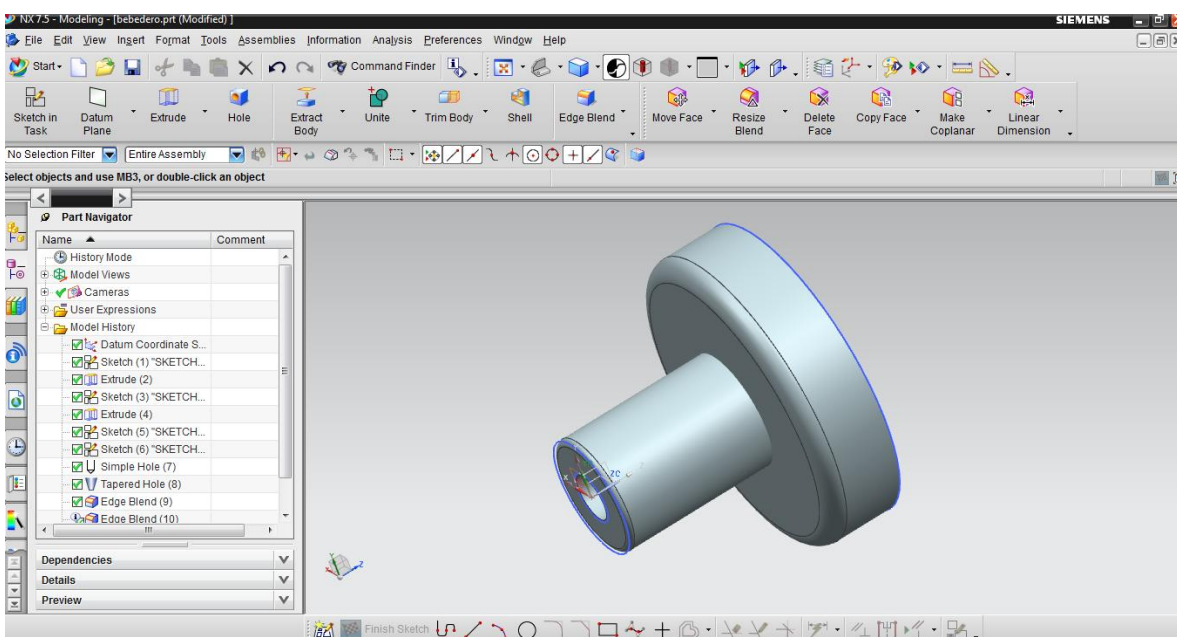


Fig.4.23 Obtención de los modelos sólidos del bebedero para el portamolde, vistas isométricas.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

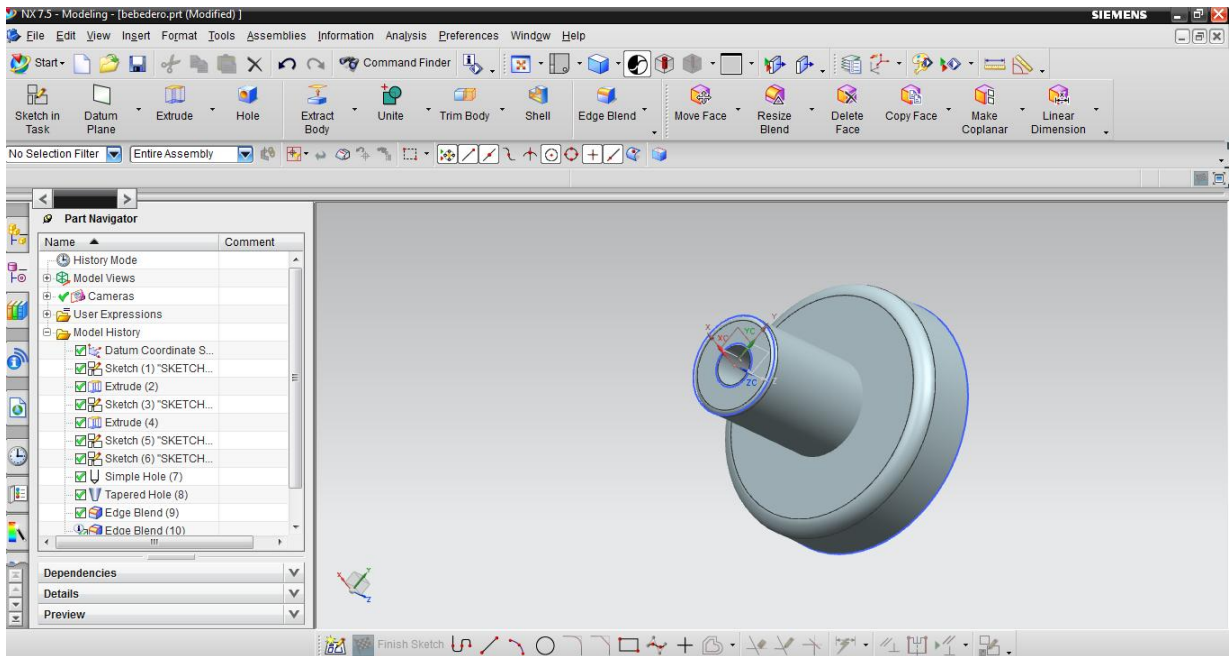


Fig.4.23 Obtención de los modelos sólidos del bebedero para el portamolde, vistas isométricas.

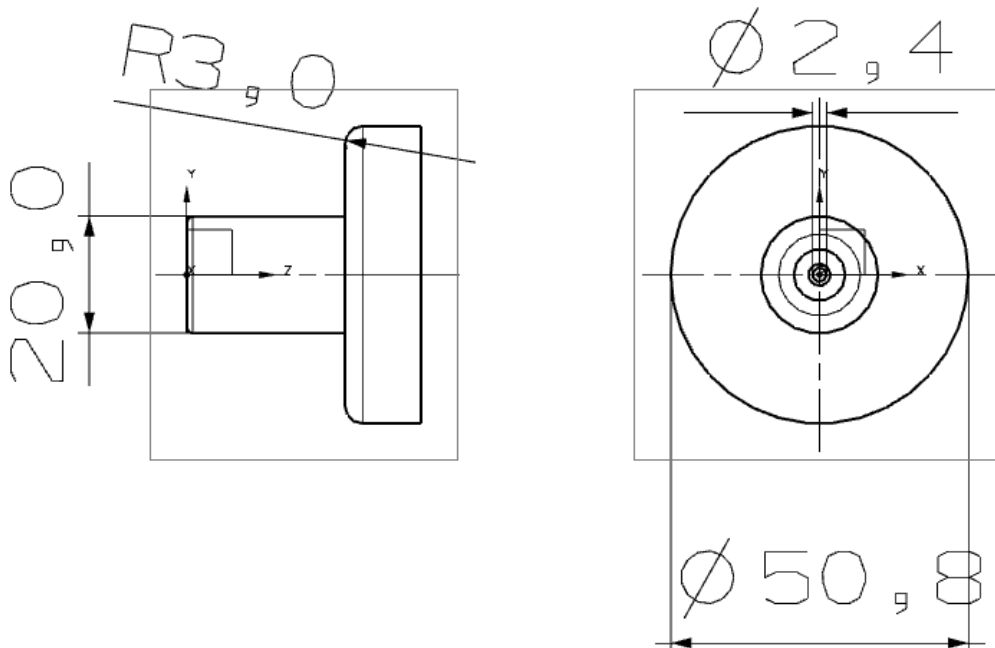


Fig. 4.24 Descripción de las dimensiones del bebedero para la propuesta de inyección.

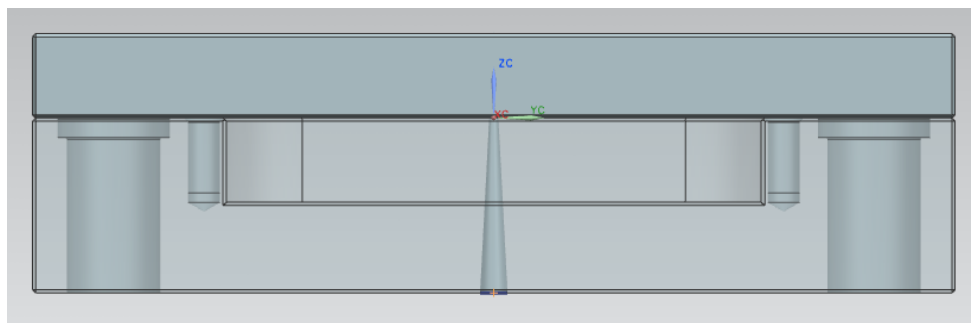


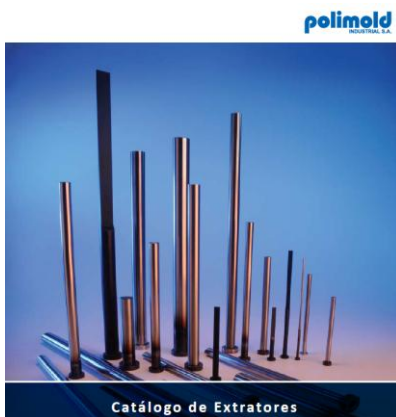
Fig. 4.4.25 Vista lateral, mazarota del bebedero portamolde, para un ángulo inicial de 3 grados.

4.4.6 PERNOS BOTADORES

Después de que las piezas se han solidificado y el enfriamiento ha hecho su ciclo, el producto tiene que ser removido del molde. Sería ideal si la gravedad pudiera separar la parte de las cavidades y corazones después de que el molde abra, pero esto no es posible. El producto se queda adherido en las cavidades por esfuerzos internos y por lo tanto debe ser separado del molde. El equipo de expulsión actúa la mayoría de las veces mecánicamente. El sistema de expulsión está montado en la parte móvil del molde. Esto se puede lograr utilizando diferentes temperaturas en los corazones y en las cavidades.

Pernos expulsores o pernos botadores son preferibles para el desmoldeo de las partes. Son colocados en áreas donde pueden actuar en esquinas, costillas, paredes, etc. En parte es el lugar donde es más difícil el desmoldeo pero en otra es el lugar donde tiene mayor rigidez. El número adecuado de pernos expulsores y su distribución deben proveer al molde de un desmoldeo sin distorsionar ni dañar la parte, esto depende de la configuración del molde y de la parte. Cada perno expulsor

La marca POLIMOLD que ha fabricado el molde de inyección de plástico tiene un catálogo de pernos botadores en el cual están los parámetros estandarizados de diseño para pernos botadores, acorde a los moldes que ellos manufacturan.



CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

Fig. 4.26 Catálogo de extractores Polimold.

Las partes de un perno botador de expulsor cilíndrico se muestran a continuación:

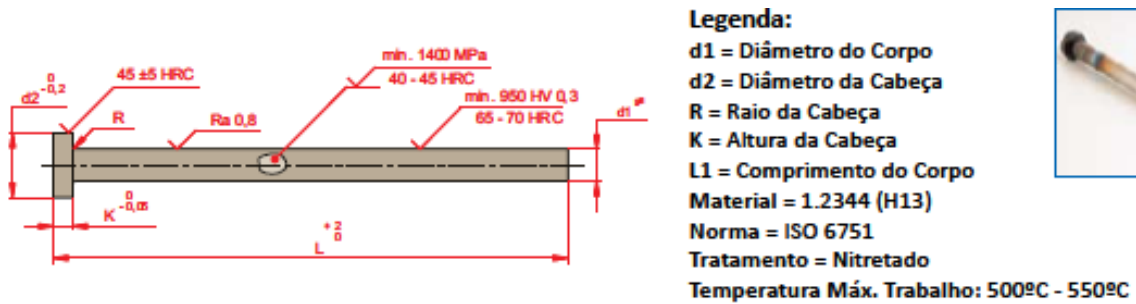


Fig. 4.27 Partes y parámetros de diseño para perno botador

La siguiente tabla muestra las dimensiones de botadores estandarizados acorde a la norma DIN 15309. Que es la norma utilizada por la marca POLIMOLD para el diseño de extractores.

Demais dimensões conforme norma DIN 1530

d1	d2	R	K	L																				
				100	125	150	160	175	200	250	300	315	350	400	500	600	630	800	900	1800	2000			
1.5	3	0.2	1.5																					
2	4	0.2	2																					
2.2	4	0.2	2																					
2.5	5	0.3	2																					
2.7	5	0.3	2																					
3	6	0.3	3																					
3.2	6	0.3	3																					
3.5	7	0.3	3																					
3.7	7	0.3	3																					
4	8	0.3	3																					
4.2	8	0.3	3																					
4.5	8	0.3	3																					
5	10	0.3	3																					
5.2	10	0.3	3																					
5.5	10	0.3	3																					
6	12	0.5	5																					
6.2	12	0.5	5																					
6.5	12	0.5	5																					
7	12	0.5	5																					
8	14	0.5	5																					
8.2	14	0.5	5																					
8.5	14	0.5	5																					
9	14	0.5	5																					
10	16	0.5	5																					
10.2	16	0.5	5																					
10.5	16	0.5	5																					
11	16	0.5	5																					
12	18	0.8	7																					
12.2	18	0.8	7																					
12.5	18	0.8	7																					
14	22	0.8	7																					
16	22	0.8	7																					
18	24	1	8																					
20	26	1	8																					
25	32	1	10																					
32	40	1	10																					

Fig. 4.28 Tabla de dimensiones para pernos botadores convencionales Polimold.

Longitud de cuerpo del perno

La longitud del cuerpo la podemos obtener simplemente midiendo directamente la longitud en el molde que corresponde a la distancia entre la placa limitadora de botadores CPE, hasta la placa móvil de cavidad P2, como se muestra en la siguiente imagen.

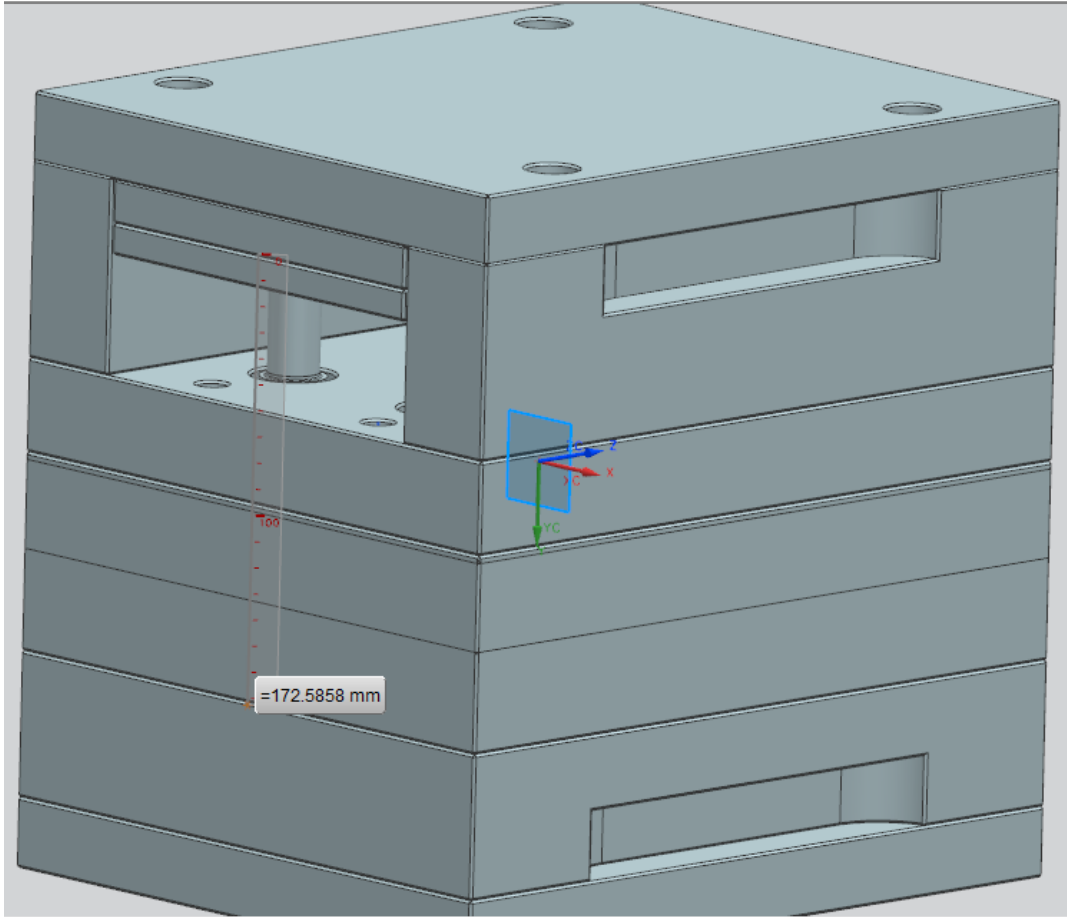


Fig. 4.29 Medición de la longitud en portamolde para perno botador

Haciendo la respectiva medición obtenemos que $L=172.58$ mm considerando una tolerancia de +3mm y -3mm acorde a la norma presentada DIN 15309 en la tabla mencionada anteriormente, podemos considerar a la longitud del perno botador de

$$L_c = 175 \text{ [mm]}$$

Donde:

$L_c =$ Longitud del cuerpo del perno [mm]

Diámetros y alturas del perno botador

Recordando el diámetro del pozo del bebedero que corresponde a 8.8 milímetros, utilizándolo como referencia para la expulsión de la pieza, y relacionándolo con los diámetros de cuerpo propuestos por la tabla de parámetros de diseño de botadores de la marca POLIMOLD,

Obtenemos un diámetro de d_2 para el cuerpo del perno botador de:

$$\phi_{cu} = 6.2 \text{ [mm]}$$

ϕ_{cu} = *Diámetro del cuerpo del perno [mm]*

Podemos obtener las demás dimensiones del perno conforme a la tabla de la norma de diseño de pernos. Por lo que obtenemos la siguiente información:

$$\phi_{ca} = 12 \text{ [mm]}$$

ϕ_{ca} = *diámetro de cabeza del perno [mm]*

$$R_{ca} = 0.5 \text{ [mm]}$$

R = *Radio de la cabeza*

$$H_{ca} = 5 \text{ [mm]}$$

H_{ca} = *Altura de la cabeza*

Con estos datos se realiza la pieza en NX 7 y se muestra a continuación:

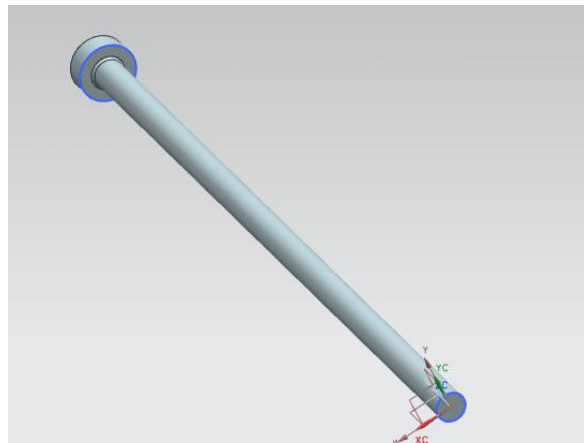


Fig. 4.30 Perno botador vista isométrica

El plano de la pieza con sus dimensiones

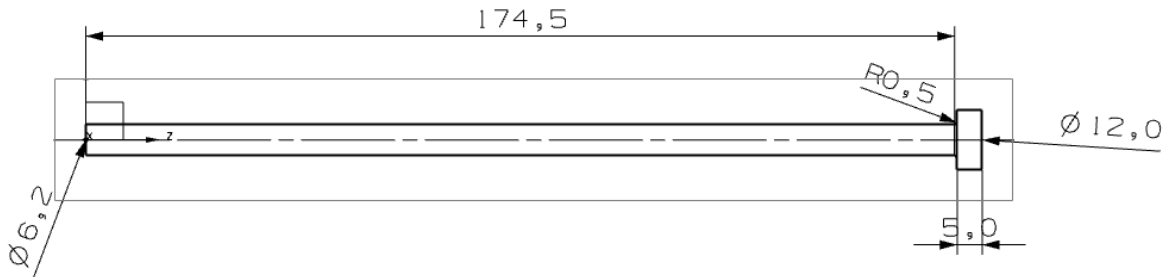


Fig. 4.31 Descripción, perno botador.

POSICIONAMIENTO DE LOS PERNOS

Para posicionar los pernos botadores en el molde es necesario considerar las dos placas que limitan el área donde se posicionarán los pernos, estas dos placas son la placa móvil de cavidad P2 y la placa limitadora de pernos botadores. Es importante considerar que el molde será usado para la inyección de diferentes piezas, por lo que es muy importante considerar una distribución en el área de la placa de aluminio. La distancia propuesta acorde al diámetro del cuerpo de los botadores y el área de las placas se muestra a continuación:

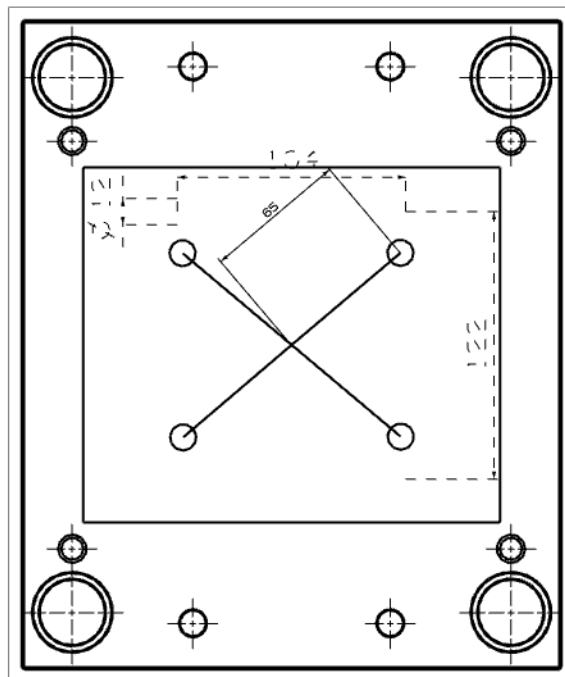


Fig. 4.32 Descripción, posición de los pernos botadores en placa de cavidad P1.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

Las dimensiones de las distancias entre centros de diámetro de cuerpo de botador corresponden al siguiente plano:

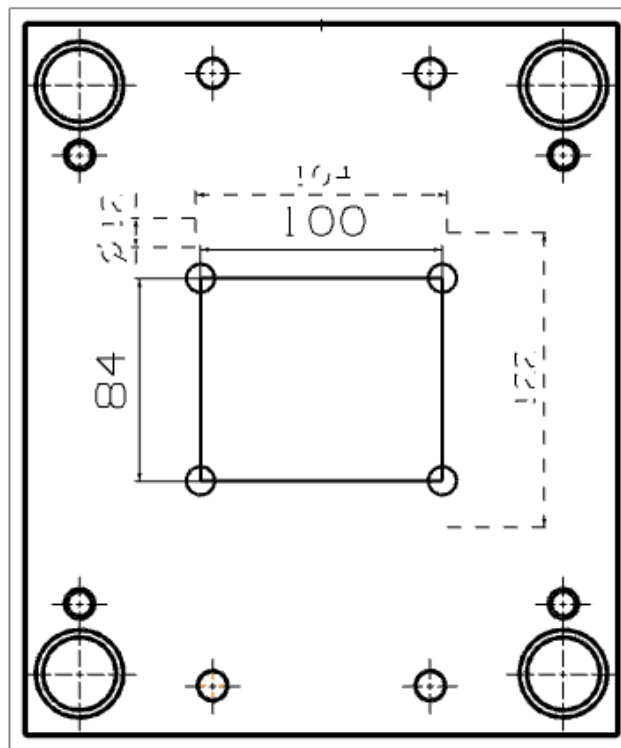


Fig. 4.33 Descripción, posición de los pernos botadores en placa de cavidad P1.

Podemos darnos una idea mas clara del posicionamiento de los pernos utilizando el isométrico de la pieza.

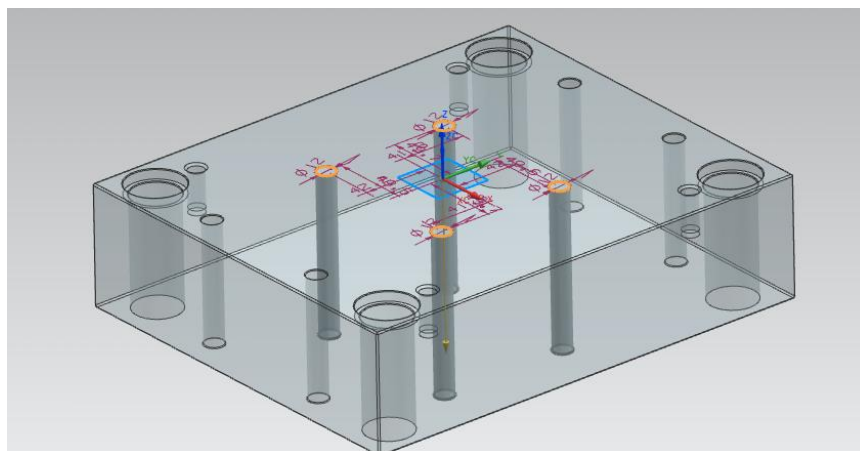


Fig. 4.34 Vista isométrica posición pernos botadores

4.4.7 COLADA

Considerando el área de la placa P1, es decir la placa de cavidad de la parte fija del portamolde, podemos considerar la longitud de la colada, como la longitud entre el centro del bebedero y el centro del botador. Multiplicamos por 4 a esta distancia para obtener la distancia total de la colada, ya que se consideraron en el diseño esa cantidad de botadores.

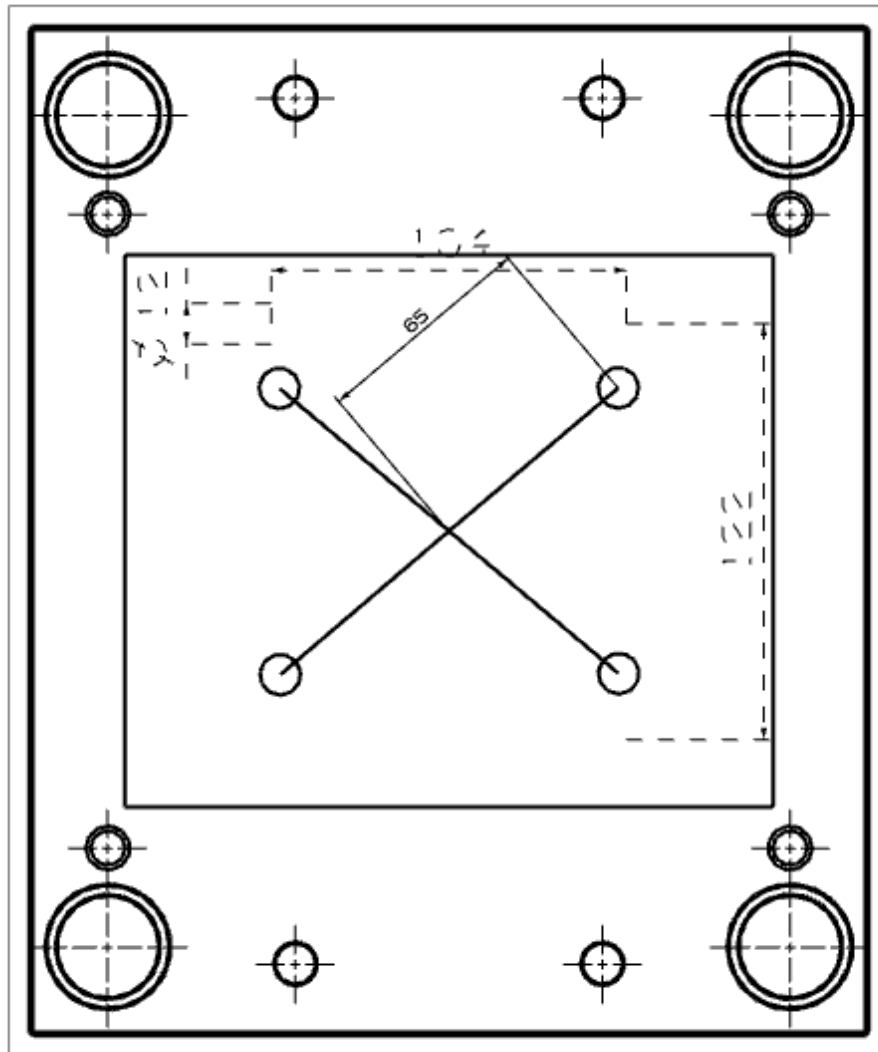


Fig. 4.35 Longitud de la colada

$$lc = 80 (4)[mm] = 320 (mm) = 32 (cm)$$

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

De la ecuación de diámetro de colada. Al sustituir los valores de la longitud de colada y el peso de la pieza podemos obtener el diámetro de la colada.

$$\phi_c = \frac{\sqrt{w^4 \sqrt{lc}}}{3.7} = \frac{\sqrt{5^4 \sqrt{6}}}{3.7}$$

$$\phi_c = 0.75 \text{ cm} = 7.5 \text{ mm}$$

4.4.8 NÚMERO DE CAVIDADES.

Recordando la ecuación para el cálculo de la cantidad máxima de cavidades en función del volumen de plastificación de la máquina y el volumen de la pieza

$$N_1 = \frac{V_m}{V_p}$$

Donde:

N_1 : Cant. Máx. Cav. en función del volumen (adimensional).

V_m : Volumen máximo de plastificación de la máquina (cm^3).

V_p : Volumen de la pieza + Volumen de colada (cm^3).

Sustituyendo V_p en la ecuación anterior

$$N_1 = \frac{V_m}{V_{\text{pieza}} + V_{\text{colada}}}$$

Dado que la colada tiene una forma cilíndrica podemos considerarla como

$$V_{\text{colada}} = \frac{\pi}{4} \phi^2 lc$$

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

Sustituyendo en la ecuación del numero de cavidades obtenemos:

$$N_1 = \frac{Vm}{V_{pieza} + \frac{\pi}{4} \phi^2 lc}$$

Sustituyendo datos en la ecuación anterior

$$N_1 = \frac{98 [cm^3]}{4.76[cm^3] + \frac{\pi}{4} 0.75^2(6)[cm^3]}$$

$$N_1 = 12.32 \text{ piezas}$$

Redondeando el número de piezas a entero. Obtenemos una cantidad de:

$$N_1 = 12 \text{ piezas}$$

Es decir se pueden realizar hasta 12 cavidades de molde en las placas de aluminio.

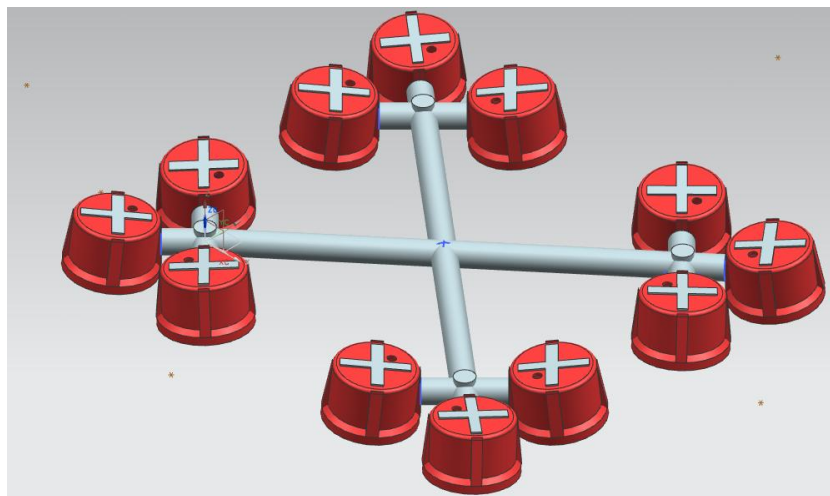


Fig 4.36 Cantidad posible de Piezas a inyectar.

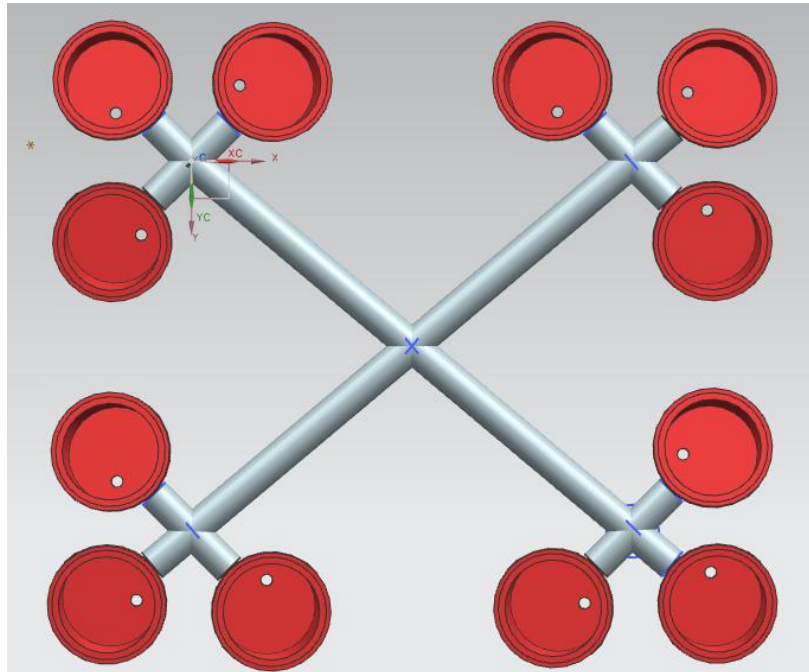


Fig. 4.37 Distribución de las piezas y la colada

Para el diseño se consideran solamente 8 piezas a inyectar, debido a la distribución de los pernos botadores las 12 piezas sobrepasan el área designada para las placas de aluminio para cavidades de molde. Para realizar las cavidades en las placas de aluminio realizamos una operación de extracción en el programa CAD.

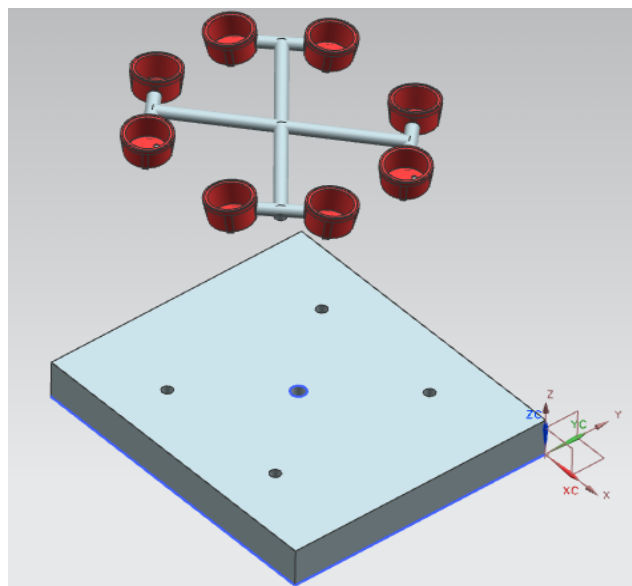


Fig 4.38. Acomodo de las piezas y la colada en los pernos botadores

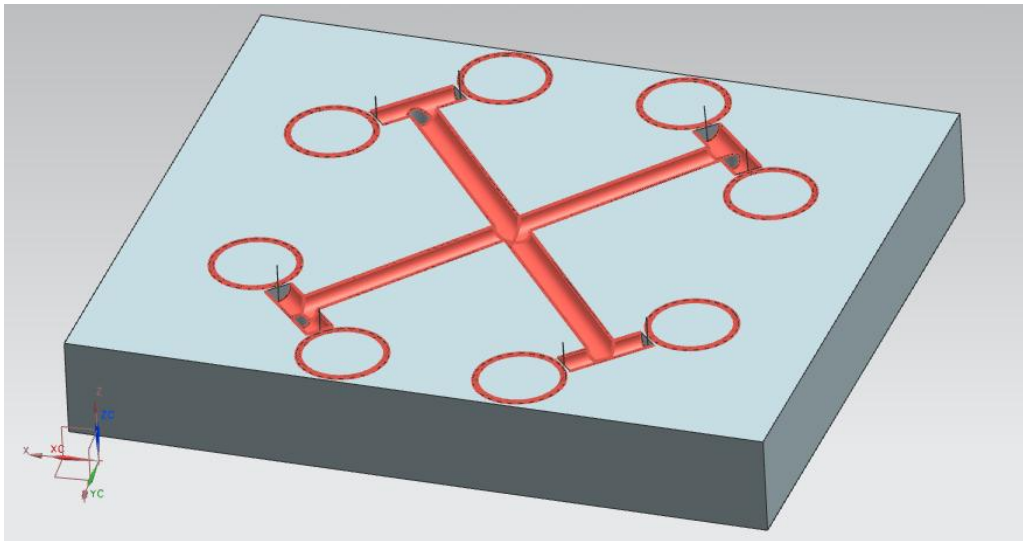


Fig. 4.39 Operación extraer para la generación de las cavidades de molde

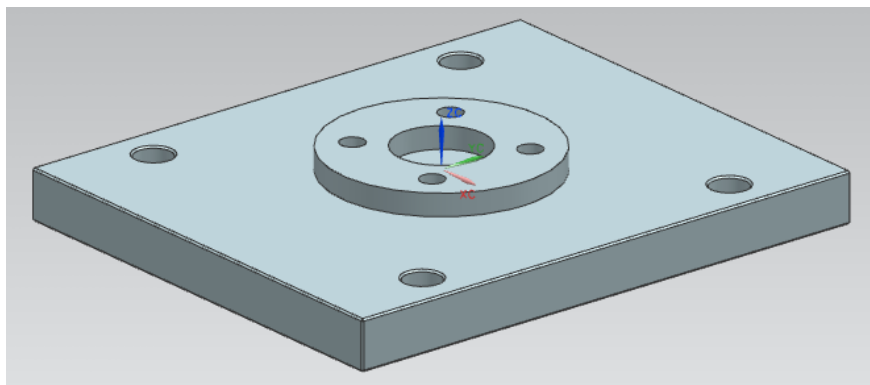
4.5 ENSAMBLES.

En esta sección se muestran los ensambles tanto de los componentes iniciales del molde, así como los diseñados en este capítulo, al mismo tiempo se incorpora también el diseño de los componentes necesarios para la generación del molde de inyección en el portamolde, así como las cavidades de la pieza a inyectar y la colada de la misma.

Los siguientes ensambles de los modelos sólidos permiten corroborar de manera visual que el diseño de las piezas propuestas es correspondiente a los componentes originales del molde.

PORTAMOLDE PARTE FIJA

Anillo centrador – Placa frontal de sujeción PBS



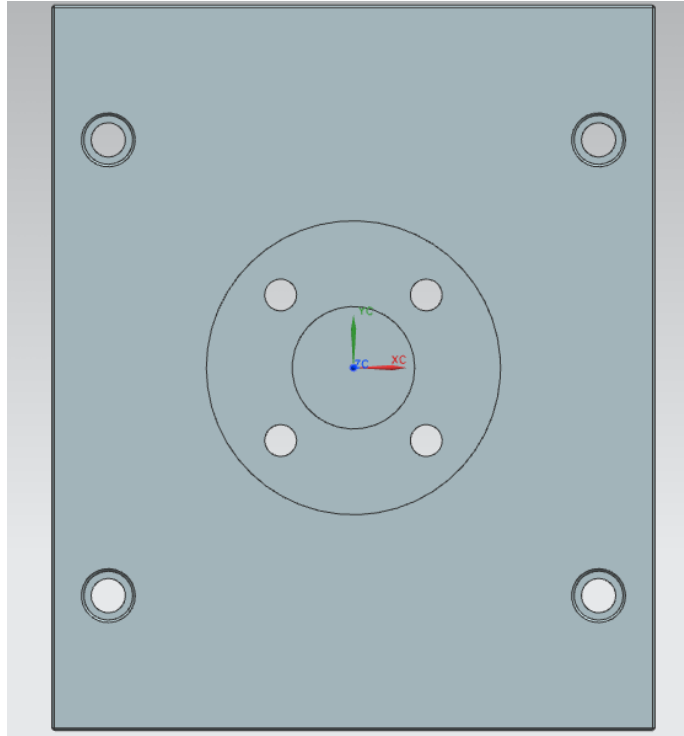


Fig. 4.40 Ensamble 1

Anillo centrador – placa frontal de sujeción – pernos guía de sujeción.

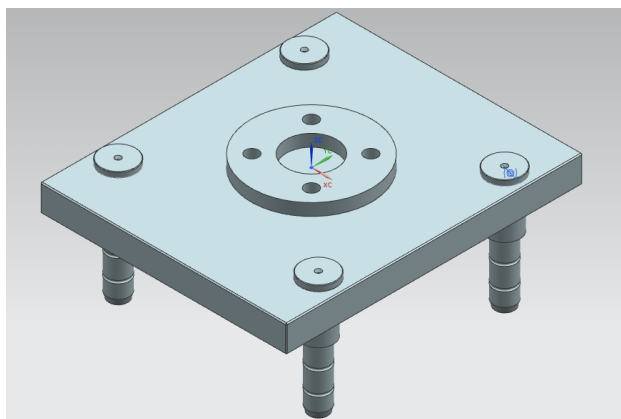


Fig. 4.41 Ensamble 2

Anillo centrador-placa frontal de sujeción- pernos guía de sujeción- placa frontal de cavidad

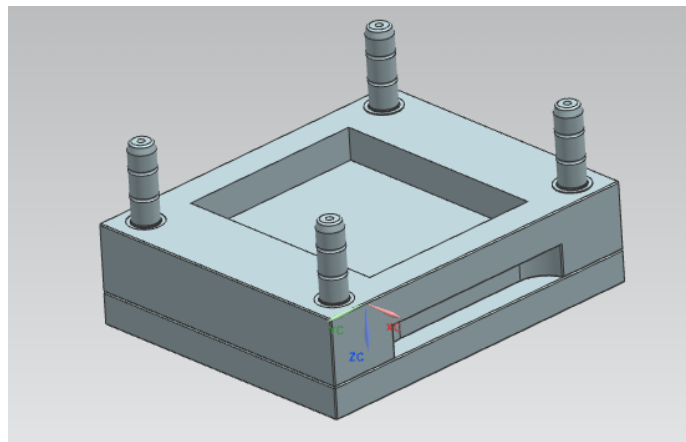
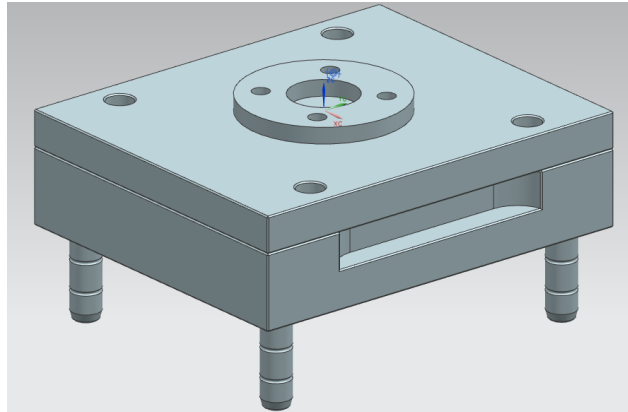


Fig. 4.42 Ensamble 3

Anillo centrador-placa frontal de sujeción- pernos guía de sujeción- placa frontal de cavidad-
placa de aluminio de cavidades frontal

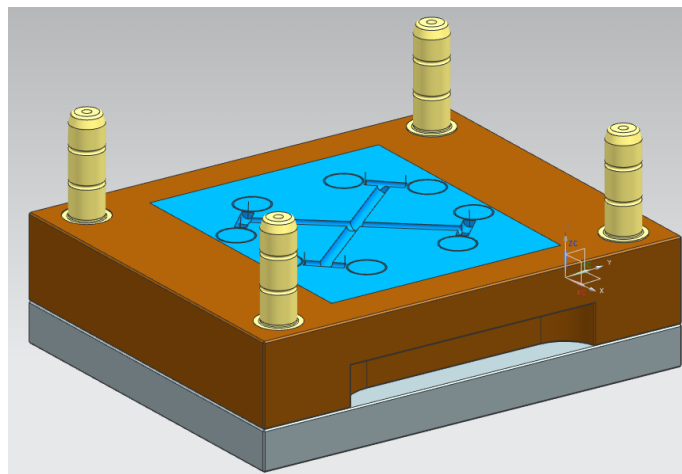


Fig. 4.43 Ensamble 4

PORTAMOLDE PARTE MÓVIL

Placa limitadora de botadores – pernos botadores

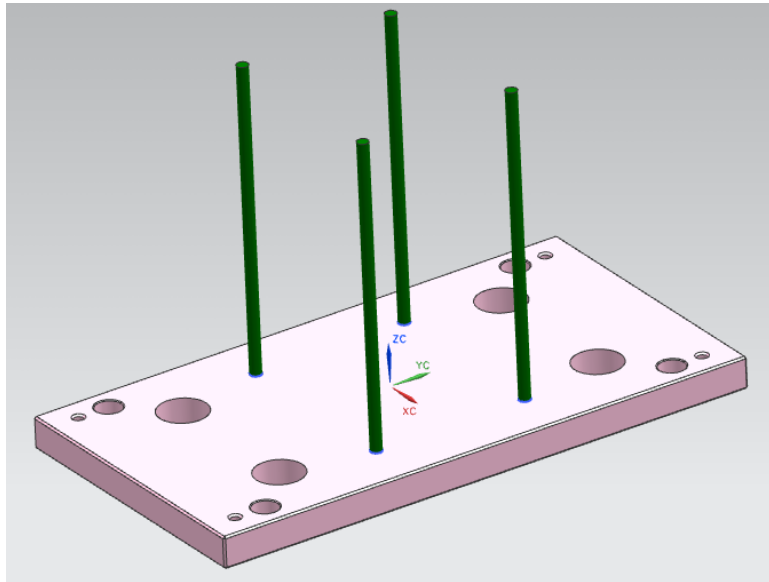


Fig. 4.44 Ensamble 5

Placa posterior de sujeción – barras paralelas espaciadoras- placa limitadora de botadores – pernos botadores

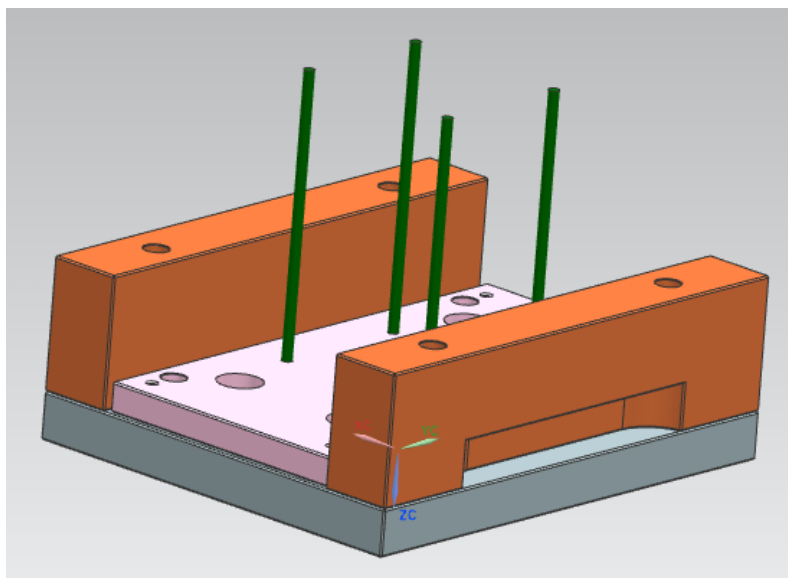


Fig. 4.45 Ensamble 6

Placa posterior de sujeción – barras paralelas espaciadoras- placa limitadora de botadores – pernos botadores- placa de botadores –placa de soporte

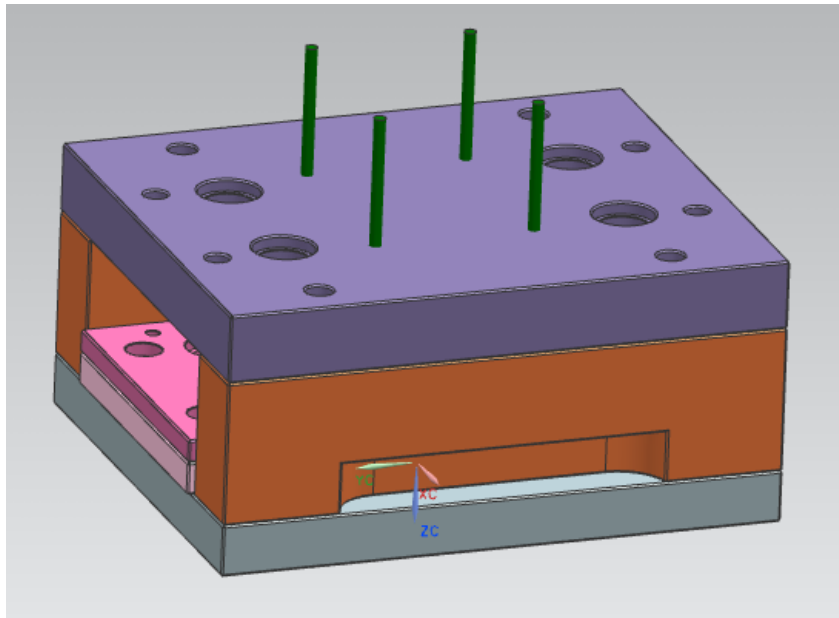


Fig. 4.46 Ensamble 7

Placa posterior de sujeción – barras paralelas espaciadoras- placa limitadora de botadores – pernos botadores-placa de botadores–placa de soporte-conectores-pernos guía de sujeción

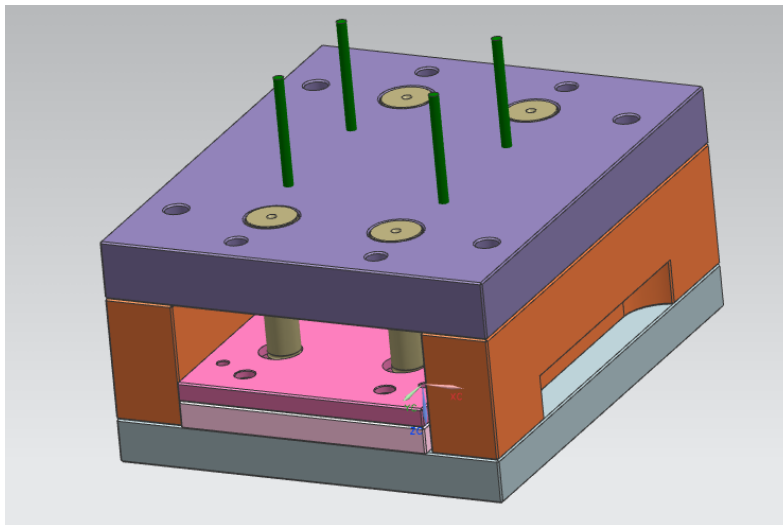


Fig. 4.47 Ensamble 8

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

Placa posterior de sujeción – barras paralelas espaciadoras- placa limitadora de botadores – pernos botadores-placa de botadores–placa de soporte-pernos guía de sujeción- placa posterior de cavidad

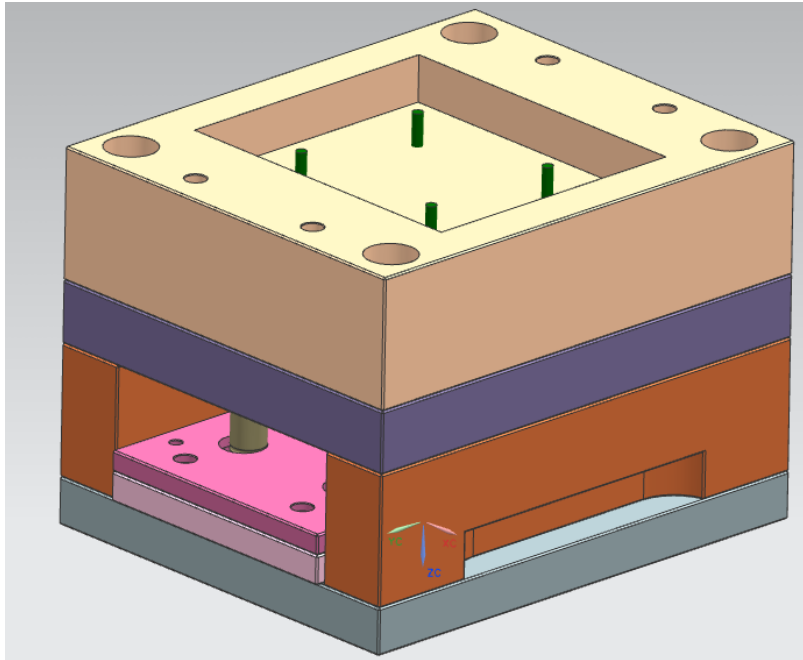


Fig. 4.48 Ensamble 9

Placa posterior de sujeción – barras paralelas espaciadoras- placa limitadora de botadores – pernos botadores - placa de botadores – placa de soporte pernos guía de sujeción - placa posterior de cavidad – conectores.

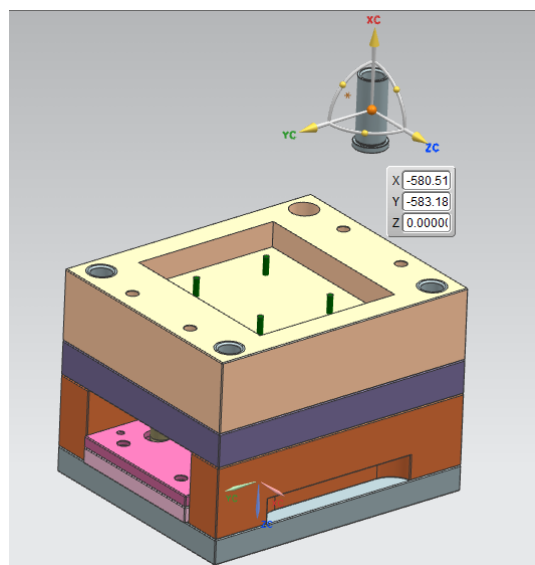


Fig. 4.49 Ensamble 10

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

Placa posterior de sujeción – barras paralelas espaciadoras- placa limitadora de botadores – pernos botadores - placa de botadores – placa de soporte pernos guía de sujeción - placa posterior de cavidad – conectores – placa de aluminio de cavidades posterior.

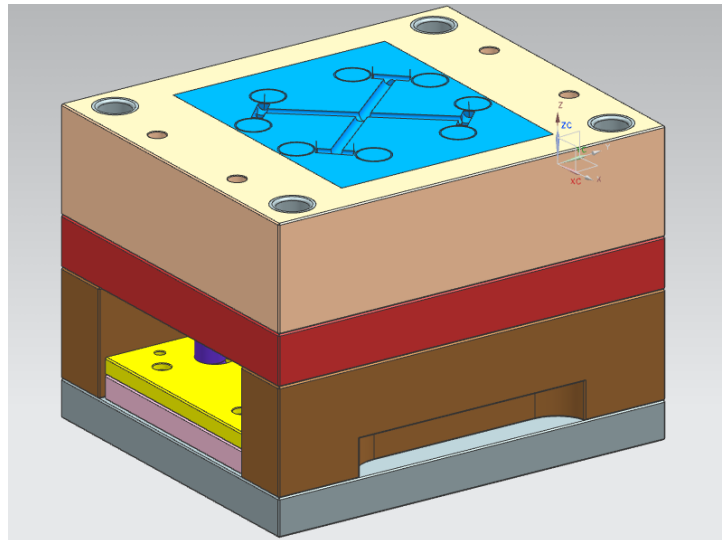


Fig. 4.50 Ensamble 11

ENSAMBLE FINAL MOLDE PARTE FIJA Y PARTE MÓVIL

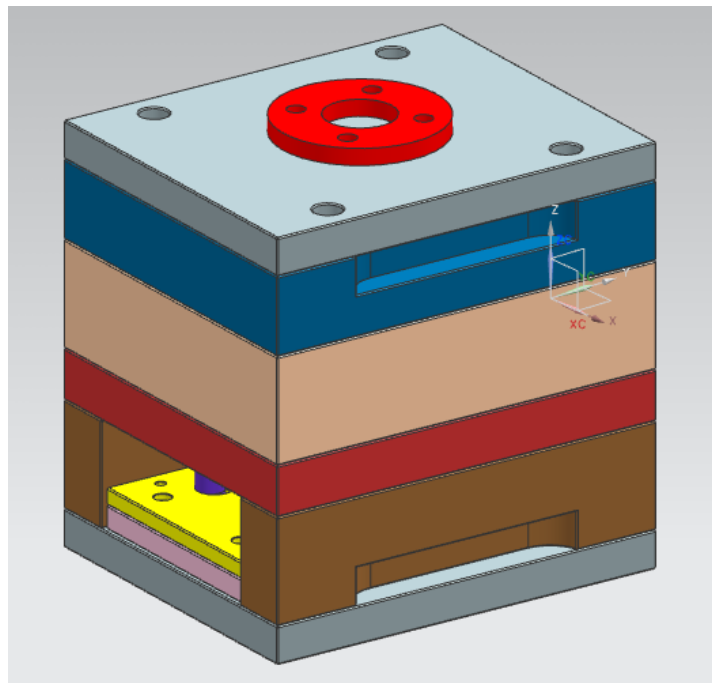


Fig. 4.51 Ensamble fina

4.6 PROGRAMA DE MANTENIMIENTO PARA PORTAMOLDE ESTÁNDAR TIPO EUROPEO 246 X 296 mm

Todos los moldes deben de tener un programa de mantenimiento. El mantenimiento regular ayuda al molde para funcionar con menos interrupciones, y esto ahorra tiempo y dinero. La cantidad y la frecuencia del mantenimiento son determinadas por varios factores. A continuación se muestra un listado de dichas consideraciones.

- En el caso del portamolde presentado en este proyecto, cabe destacar que las placas de cavidad de molde de aluminio propuestas, van a sufrir un desgaste en un periodo más corto que todos los demás componentes en el molde fabricadas de acero.
- En el caso de usar materiales plásticos abrasivos, estos tenderán a desgastar el acero del molde después de millones de ciclos. También el plástico a una alta temperatura de fusión expone al molde a más calor y por lo tanto causa más desgaste que los que tienen bajas temperaturas de fusión. Algunos materiales dejan excesivo residuo de los gases corrosivos que van a requerir una limpieza más regular del molde.
- Es importante regular las presiones en el portamolde, es decir evitar presiones excesivas de la abrazadera, altas presiones de la inyección, falta de lubricación apropiada en los componentes, todo esto acelera el desgaste en el portamolde.

Para evitar lo planteado con anterioridad se recomiendan varios niveles para el cuidado del mantenimiento del portamolde:

- Preventivo.
- Inspección cada 20,000 ciclos, o cada 10 días de producción continua.
- Mantenimiento. Cada 100,000 ciclos.
- Mantenimiento importante. Cada 250,000 ciclos.

MEDIDAS PREVENTIVAS.

El mantenimiento preventivo mejora la vida de su molde por lo tanto antes de retirar el molde se deben tomar en cuenta algunos aspectos:

- El molde debe estar a temperatura ambiente, de no ser así esto puede provocar una condensación, esto causa oxido.
- Las superficies, la base y las cavidades se deben de limpiar con un solvente y toallas para quitar cualquier acumulación de gases, grasas y otras resinas que se acumulen.
- El sistema eyector debe ser movido para rociar ambas mitades del molde con lubricante.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

- Comprobar y asegurar que estén en su lugar todos los componentes del portamolde, como pernos, placas etc.
- Cuando el molde se prepara de almacenaje y se alista para su funcionamiento, abrir el molde y limpiar de nuevo las superficies, la base y las cavidades.

INSPECCIÓN

El mantenimiento preventivo debe ser hecho cada vez que el molde entra a funcionar y cada vez que se quita. La inspección es observar problemas pequeños y programarlos para las reparaciones. Esta clase de mantenimiento se debe realizar por un operador o una persona experimentada, después de 20,000 ciclos, o después de 10 días de producción continua.

- Examinar la placa de aluminio de cavidades de molde y buscar el daño de menor importancia o si requiere algún trabajo de retoque.
- La placa de aluminio de cavidades de molde se debe limpiar con un solvente para quitar el barniz y el acumulo de material del proceso de moldeado.
- Los pernos botadores deben ser revisados y en caso de que se requiera sustituirlos.

MANTENIMIENTO

Este nivel se debe realizar solamente por constructores de moldes expertos.

- Se separan todas las placas y se limpian las caras
- Todos los componentes se revisan para saber si hay algún desgaste. Se observa cualquier desgaste excesivo ya sea para reparación, sustitución o para continuar utilizándolo.
- Cualquier área de detalle de la cavidad de molde en las placas de aluminio con tallones, abolladuras u otras muestras de desgaste debe ser analizada antes de proceder a la reparación.
- Todas las piezas móviles deben ser lubricadas. Utilizar poco lubricante en todas las piezas móviles que hagan contacto con las piezas plásticas.
- El anillo centrador debe ser revisado para corroborar correcto montaje.
- El sistema de expulsión de pernos botadores se debe checar para la alineación, al igual que los pernos guía de sujeción para ver su desgaste y saber si pueden continuar o deben de ser sustituidos.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO

Este tipo de mantenimiento debe de realizarse solamente por “moldmakers” expertos o por técnicos de mantenimiento de clase “A”, y debe ser realizado cuando el molde requiera el mantenimiento según los ciclos, por desgaste o por daño excesivo.

- Pernos guía, y placas que se encuentren desgastadas según las especificaciones deben de ser restituidas.
- Todos los resortes de la placa de botadores se deben sustituir por otros nuevos para evitar fatiga en la placa
- El anillo centrador debe ser sustituido
- Las placas y superficies de la cavidad se deben de revisar para ver si hay paralelo entre ellas.
- Las superficies de la cavidad de molde se deben de limpiar y pulir según los requisitos de la superficie original.
- Cualquier impresión que tenga la cavidad de molde, se deben de tomar en cuenta para cuando haya alguna rectificación , esto debe de quedar con las mismas especificaciones
- Todos los componentes deben ser pulidos y dar un tratamiento superficial para la resistencia a la corrosión, lubricación y dureza.
- Todos los ajustes de los componentes se deben hacer según lo requerido
- Si no se cuenta con componentes de repuesto, se puede consultar los modelos sólidos presentados en este proyecto de tesis para su manufactura y así instalarlos en el portamolde.

HERRAMIENTAS SUGERIDAS PARA EL MANTENIMIENTO APROPIADO DEL PORTAMOLDE.

- La mesa de ensamble debe soportar como mínimo 5,000 libras.
- Barras de aluminio ó latón.
- Sistema de llaves de tuerca hexagonal.
- Tanque de limpieza (liquido).
- Toallas limpias.
- Aire comprimido, filtrado y a presión.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

- Linterna
- Un sistema de pulido fino para quitar rebabas o rasguños de las placas, rellenos del molde
- Envases para almacenar todas las piezas.
- Grasa de uso múltiple
- Cinta aislante. Para proteger las esquinas, bordes en las cavidades y en los corazones, también puede utilizar en los pernos botadores.

CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

- Es importante recordar que el objetivo de este trabajo de tesis es generar una propuesta para el acondicionamiento del portamolde estándar tipo europeo, así como de diseñar una propuesta de inyección de una pieza plástica para diseñar modelos sólidos, para que a partir de esto se puedan desarrollar componentes que el portamolde requiere para la manufactura de los mismos, y de ésta manera pueda ser habilitado en el laboratorio de procesamientos plásticos, para que sea utilizado en la materia de Diseño y Manufactura Asistido por Computadora, y para realizar proyectos con respecto a la inyección de plásticos correspondientes a la carrera de Ingeniería Mecánica.
- El alcance del objetivo se cumple, ya que se desarrollaron las actividades propuestas al final del capítulo tres, para lograr el acondicionamiento del portamolde.
- A manera de continuación de este proyecto es necesario manufacturar los elementos que el portamolde requiere, además de la realización de pruebas para su habilitación.
- En la industria, generalmente tenemos que el diseño de cada portamolde corresponde a una sola pieza a inyectar. La propuesta de rediseño presentada en este proyecto, permite la inyección de diversidad de piezas plásticas en el portamolde. Se obtiene esto por medio de la implementación de dos cavidades en las placas, P1 y P2 respectivamente, de esta manera se puede incorporar placas de aluminio que contengan las cavidades de molde de la pieza a inyectar.
- Se han propuesto precisamente de aluminio por las propiedades mecánicas que este presenta, de entre éstas destaca la baja resistencia al corte que presenta el material, favoreciendo así la manufactura de las cavidades de molde en dichas placas.
- Se propone la incorporación de pernos expulsores o pernos botadores, con las características mencionadas en el capítulo 4. Se propone que dichos pernos se compren, o bien a manera de continuación de este proyecto, manufacturarlos considerando las dimensiones propuestas en este trabajo.
- La propuesta de inyección de la pieza plástica de este proyecto, define las condiciones para el posicionamiento de los pernos botadores, las dimensiones del bebedero, la geometría de la colada, el número de cavidades de molde en la placa de aluminio. Condiciones que favorezcan la versatilidad para la inyección de piezas.
- Se decide incorporar cuatro pernos expulsores, posicionándolos con una configuración simétrica de geometría rectangular con respecto al área de la placa de aluminio de cavidades de molde.
- La geometría de la colada está directamente relacionada con el sistema de expulsión de pernos botadores. Todo esto permite un mayor aprovechamiento de espacio para la inyección de diversidad de piezas plásticas.

CAPÍTULO 4, PROPUESTA DE DISEÑO.

- A manera de continuación de este proyecto de tesis se propone la realización de análisis de elemento finito para el comportamiento de flujo para las cavidades de molde en proyectos donde el portamolde se encuentre habilitado. Se propone utilizar como herramienta la mecánica de fluidos computacional (CFD) como por ejemplo Moldflow o Ansys Fluent.

REFERENCIA PERSONAL

- La experiencia laboral en el campo de mantenimiento preventivo, predictivo y correctivo a moldes de inyección de plástico, me ha ayudado a tomar decisiones y resolver problemas que se plantearon en este proyecto de tesis. Pero, más importante aún, quiero destacar que es precisamente por la formación sólida que me ha ofrecido la Facultad de Ingeniería en el área de físico-matemáticas, así como materias de aplicación de la ingeniería mecánica, es que hoy en día puedo desarrollar este proyecto de tesis, a la vez de sentirme con la capacidad de desarrollar proyectos futuros, ya sea en la continuación de mis estudios o en el desarrollo laboral.

REFERENCIAS

REFERENCIAS

1. Groover, Mikell P. Fundamentos de manufactura moderna. Editorial Prantice Hall. 1997.
2. Bodini, Gianni. Carcchi, Pessan Franco. Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos. Editorial Mc Graw-Hill. Tomo II. Año 2001.
3. Mink, Walter. El plástico en la industria, tratado práctico de inyección de plásticos. Editorial Gustavo Gili. año 1981.
4. Menges, Georg. Mohren, G. Moldes de inyección de plásticos, Editorial Gustavo Gili. 1990.
5. Pye.R.G.W. Injection molding design, Editorial Van Nostrand Reinhold. 1989.
6. Morano Okuno, Rafael. Diseño de moldes de inyección asistido por modelos de información. México D.F 2001.
7. Rees, Herbert. Mold engineering. Editorial Carl Hanser Verlag, Munich Alemania, 1995.
8. Rosato, Donald V. Injection Molding Handbook, Editorial Chapman and Hall, New York, 1995.
9. Dym, Joseph B. Injection molds and molding, a practical manual, Editorial Van Nostrand Reinbold, New York, 1987.
10. Sánchez Valdés Saúl. Moldeo por inyección de termoplásticos, Editorial Limusa, México 2008.
11. *Polimold* Industrial S/A <http://www.polimold.com/>.
12. *Polimold* de México S/A <http://www.polimold.com.mx/>.
13. Plenco, Plastics Engineering Company <http://www.plenco.com/>.
14. Protorapid, Prototipos rápidos y moldes <http://www.protorapid.com/>
15. Blanco Fernández, Julio y Sanz Adán, Félix Thompson Cad/Cam: Gráficos, Animación y Simulación por computador. paraninfo, s.a. 2002.
16. Unigraphics Siemens <http://www.siemens.com>