



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

"DISEÑO EVOLUTIVO DE COMPONENTES PLASTICOS PARA ELECTRODOMESTICOS"

TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
AREA MECANICA
PRESENTAN:
VICTOR HUGO GARCIA PANTOJA
GERARDO HERNANDEZ TOPETE



DIRECTOR: MI MIGUEL ANGEL CRUZ MORALES

MEXICO, D.F.

2002

TESIS CON FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

DEDICATORIA

Mi Madre † : La vida y el tiempo me siguen enseñando aquellas lecciones que me daban con tú ejemplo. En cada una de tus enseñanzas me regalaba todo aquello que sabias que iba a necesitar para enfrentarme a la vida. Hoy quiero brindarte este pequeño triunfo, por que sé que era una de esos anhelos que compartías conmigo.

Mi Padre: Por que supiste guiarme por el camino del éxito y de no haber sido por tú estímulo y tú inquebrantable confianza en mí, jamas habría llegado a la cima. Sabiendo que una forma de agradecer toda una vida de sacrificios y esfuerzos, quiero que sientas que el objetivo logrado es tuyo y que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue tú apoyo.

Mi Hermana: Por ser mi gran amiga incondicional, que siempre creyó en mí y aconsejarme en los tiempos difíciles y simplemente por ser una mujer excepcional en todos los ámbitos.

Mi Hermano: Quien más allá de un vinculo sanguíneo que nos une ha sido mi mejor amigo y consejero. Por ser el mejor hermano del mundo y por todo el apoyo incondicional que he tenido tanto en las buenas como en las malas.

Mony (Mi Amor): Esta es también una forma de decirte lo mucho que Te Amo y lo importante que ha sido tenerte a mi lado para continuar con todos esos proyectos de los cuales hablamos cuando soñamos con vivir juntos y formar nuestra propia familia. Gracias por comprenderme y apoyarme en cada paso importante que he dado, Gracias por tener ese corazón de León.

Sobrinas: Quienes con su ternura y espontaneidad me alentaron a tener siempre la esperanza de un futuro mejor.

Ing. Miguel Cruz: Por todo el apoyo incondicional para la realización de este trabajo y por ser un gran Guru.

Facultad de Ingeniería: Por hacerme un ser humano con principios y valores inigualables por alguna otra persona.

Vicos

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo representa la consumación de la primera parte de mi educación, la cual ha sido posible gracias al esfuerzo y ejemplo de mi gran maestra, la actitud y el amor de esta personita a la que he disfrutado por su entrega y sinceridad, gracias mami. Este logro es nuestro.

Agradezco a la vida por darme la oportunidad de crecer y aprender en este tiempo y espacio.

Gracias al amor y al apoyo que siempre me ha brindado mi compañero, amigo y maestro Leo.

Papá, gracias por tu amor, comprensión y respeto.

Cariño, hemos caminado y crecido mucho en estos últimos cuatro años, este es uno de los primeros triunfos que tenemos y espero que vayamos por muchos más. Tatsue gracias por tu amor, entrega y actitud.

Dr. Roberto González, el decirte gracias amigo sería muy iluso de mi parte, sin embargo me atrevo a mencionarlo debido a que me has apoyado a mantener mi salud, física y emocional así como la salud y estabilidad de las personas más importantes de mi vida.

No podían faltar las personitas con la que conviví a lo largo de esta etapa de la vida tan emotiva, difícil y reconfortante. Mis grandes cuates los cuales me conocieron y apoyaron en las distintas etapas de mi personalidad.

Miguel Bueno lo que más te agradezco es que me hayas enseñado el valor de la vida.

Miguel Aguilar gracias por apoyarme y quererme de la forma en lo que lo hiciste.

Miguel Fonseca, gracias por enseñarme a trabajar con el lado izquierdo de mi cerebro.

Rafael Minassian, gracias por dejarme ser tu amigo y compartir conmigo tus vivencias.

Hector Cruz, gracias por despertar en mi la iniciativa y por demostrarme que los sueños de los grandes proyectos se pueden alcanzar con trabajo y dedicación.

Miguel Angel Cruz por más que me quise escapar de los plásticos, no pude. Después de ir y venir terminé con un tema relacionado con la inyección de plásticos. Gracias por tu apoyo y creencia en mi para el desarrollo de este trabajo.

Por último agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de México la oportunidad de estudiar el bachillerato y la licenciatura dentro de sus aulas. Específicamente a los profesores de la Facultad de Ingeniería por brindarme esta plataforma de conocimientos y actitudes que me soportarán a lo largo de mi carrera profesional.

Gerardo

DISEÑO EVOLUTIVO DE COMPONENTES PLÁSTICOS PARA ELECTRODOMÉSTICOS

	Pag.
<u>INTRODUCCIÓN GENERAL</u>	1
CAPITULO I	
➤ <u>ELECTRODOMÉSTICOS</u>	3
1.1 APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS	4
1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS	4
1.3 LÍNEA BLANCA	4
1.3.1 ESTUFA	4
1.3.2 REFRIGERADOR	5
1.3.3 LAVADORA	6
1.4 MERCADO NACIONAL	7
1.4.1 GRUPO MABE	8
1.4.2 GRUPO VITROMATIC	8
1.4.3 OTRAS COMPAÑÍAS	8
1.4.4. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PLANTAS EN LA REPUBLICA MEXICANA	10
1.4.5. PRODUCTOS POR CONSORCIOS EN MÉXICO	11
1.4.6. IMPORTANCIA DEL COMERCIO INTERNACIONAL EN LA INDUSTRIA DE LOS ELECTRODOMESTICOS	11
1.4.7. ESTADÍSTICAS DE LATINOAMERICA E IMPORTANCIA DE MÉXICO	13
1.5 CICLO DE VIDA DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS	16
CAPÍTULO 2	
➤ <u>PLASTICOS EN LOS REFRIGERADORES</u>	17
2.1 COMPONENTES DE UN REFRIGERADOR CLASIFICADOS POR SUBSISTEMAS	18
2.2 LOS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA EN LA LÍNEA BLANCA DE ESTADOS UNIDOS	24
2.3 PRINCIPALES PROCESOS DE CONFORMADO PARA LOS PLÁSTICOS	25
2.3.1. MOLDEO POR INYECCIÓN	25
2.3.2. EXTRUSIÓN	25
2.3.3. TERMOFORMADO	26
2.4 PROGRAMAS DE SIMULACIÓN	26
2.4.1. PART ADVISER (MOLDFLOW)	29
2.4.2. INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA DE SIMULACIÓN PART ADVISER	30
2.4.3. SECUENCIA DEL ANÁLISIS CON PART ADVISER	32
2.4.4. FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA PART ADVISER	33
2.4.5. VALIDACIÓN DEL USO DEL SOFTWARE PART ADVISER	34
2.4.6. VENTAJAS Y DESVENTAJAS	35
2.5 CICLO DE VIDA DE COMPONENTES DE PLÁSTICO EN LOS ENSERES MAYORES	35
2.6 INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE SISTEMAS CAD/CAM/CAE	39
CAPÍTULO 3	
➤ <u>COMPORTAMIENTO DEL PLÁSTICO EN LA CAVIDAD</u>	41
3.1. FASES DE LLENADO DE LA CAVIDAD	42

3.1.1. FASE DE LLENADO	42
3.1.2. FASE DE EMPAQUETAMIENTO	42
3.2. VARIABLES DEL PROCESO DE INYECCIÓN	43
3.2.1. TEMPERATURA DEL MATERIAL FUNDIDO	44
3.2.2. TEMPERATURA DEL MOLDE	45
3.2.3. TIEMPO DE LLENADO	46
3.2.4. PRESIÓN EN LA CAVIDAD	46
3.3. EFECTOS DEBIDO A LAS VARIABLES DE PROCESO	47
3.3.1. ENCOGIMIENTO Y ALABEAMIENTO	47
3.3.1.1. ORIENTACIÓN DIFERENCIAL	47
3.3.1.2. ENFRIAMIENTO DIFERENCIAL	48
3.3.2. EFECTO DE SOBREEMPAQUETAMIENTO	49
3.3.3. EFECTO DE PISTA	49
3.3.4. EFECTO DE DUDA	50
3.3.5. LÍNEAS DE UNIÓN	51
3.3.6. LÍNEAS DE FUSIÓN	51
3.3.7. AIRE ATRAPADO	52
3.3.8. ORIENTACIÓN	53
3.3.8.1. ORIENTACIÓN EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN	53
3.3.8.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ORIENTACIÓN	53
3.3.8.3. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN EN LAS PROPIEDADES	55
3.3.9. FLUJOS LÍDERES Y FLUJOS DEFLECTORES	55
CAPÍTULO 4	
➤ <u>PUNTOS DE INYECCIÓN</u>	57
4.1 CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE PUNTOS DE INYECCIÓN	58
4.2. NÚMERO DE PUNTOS DE INYECCIÓN	59
4.2.1. UN SOLO PUNTO DE INYECCIÓN	59
4.2.2. MULTI-PUNTOS DE INYECCIÓN	60
4.3. LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE INYECCIÓN	60
4.3.1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INYECCIÓN EN PIEZAS COMPLEJAS	62
4.3.2. MULTI-PUNTOS PARA MEJORAR EL LLENADO	64
4.3.3. MULTI-PUNTOS PARA EVITAR EL EFECTO DUDA (HESITATION)	65
4.4 SELECCIÓN DEL PUNTO DE INYECCIÓN MEDIANTE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN DE PLÁSTICOS	66
CAPÍTULO 5	
➤ <u>CASO DE ESTUDIO DE DISEÑO EVOLUTIVO EN COMPONENTES DE ELECTRODOMÉSTICOS</u>	69
5.1 SELECCIÓN DE UNA PIEZA DE PLÁSTICO	70
5.1.1 REQUERIMIENTOS PARA LA PIEZA SELECCIONADA	70
5.1.2 PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD	70
5.2 APLICACIÓN DE PART ADVISER EN ELECTRODOMÉSTICOS	71
5.2.1 COMPARACIÓN DEL PROCESO ACTUAL CON EL PROCESO SUGERIDO	73
5.3 RESULTADOS	75
CONCLUSIONES	77

INDICE

APÉNDICE A	
ARTÍCULO SOMIM	78
CARTA DE ACEPTACIÓN	87
RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN	88
BIBLIOGRAFÍA	90

INTRODUCCIÓN

La globalización e integración de la economía mundial ha provocado un gran cambio en los sistemas de diseño, fabricación y organización de la producción, cuyas principales innovaciones se resumen en el paradigma organizativo denominado Ingeniería Concurrente. Así, se introduce un enfoque de equipo de diseño y fabricación "orientado al proyecto", pasando de la fabricación por proceso a la fabricación por producto, aumentando de esta forma el enfoque orientado a proyectos para la producción y considerando de forma conjunta todo el ciclo de vida del producto.

El incremento de la complejidad de los productos finales que aparece en un gran número de industrias altamente competitivas, exige la introducción de un conjunto de técnicas de diseño y fabricación basado en el uso intensivo de la tecnología informática (herramientas para computadora), así como la utilización de métodos sistemáticos de análisis y diseño que permitan la inclusión del diseño en las etapas iniciales del mismo, y los requerimientos derivados del entorno del producto y del proceso de fabricación.

Por otra parte, la mayoría de los polímeros son sintéticos y actualmente quizá más importantes que los metales y la madera. Los polímeros se han desarrollado debido a la demanda de productos con propiedades nuevas y mejoradas. Los métodos para obtener nuevos polímeros y mezclas, así como la investigación sobre sus estructuras y propiedades originan temas de estudio muy interesantes, pero el uso de estos materiales en productos comerciales constituye la principal razón de estos avances.

El propósito inmediato de la simulación de los procesos es permitir que el diseñador realice evaluaciones de desempeño del proceso sin un prototipo o un molde para obtener las primeras muestras del producto (menor costo). Hasta ahora, el moldeo por inyección es el más beneficiado con este desarrollo.

El presente trabajo plantea los siguientes objetivos:

1. Mostrar el potencial económico e industrial que tienen los electrodomésticos en México y su importancia en Centro y Sudamérica.
2. Conocer las ventajas y limitaciones del simulador de flujo Part Adviser para el proceso de creación de componentes plásticos realizados por el método de inyección de plásticos.
3. Plantear el ciclo de vida de un componente plástico dentro del esquema de trabajo de la ingeniería concurrente aplicado a un refrigerador doméstico.
4. Presentar los principios básicos del llenado del molde para piezas plásticas así como las técnicas para evitar los principales defectos.
5. Aplicación del simulador Part Adviser como herramienta para el rediseño de un componente plástico.

En el presente trabajo se utiliza el programa de simulación Part Adviser de Moldflow como herramienta de análisis para el desarrollo de un diseño evolutivo a través del cambio de materia prima para una pieza específica, tomando una importancia significativa las propiedades de las materias primas así como su comportamiento reológico para llevar a cabo esta sustitución de material. En este trabajo se muestran los pasos a seguir así como la información que se requiere para realizar los análisis con esta herramienta de simulación.

Este trabajo se encuentra estructurado de la siguiente manera:

El capítulo uno se enfoca hacia la definición de los electrodomésticos e indica la importancia que tiene en el sector industrial y comercial en México este tipo de aparatos, resaltando la participación de México a nivel Latinoamérica. Este capítulo concluye con la conceptualización del ciclo de vida de estos productos.

El capítulo dos inicia con el análisis de las partes constitutivas de un refrigerador doméstico dividiéndolos por subsistemas para resaltar la participación de los plásticos en este tipo de enseres. Posteriormente se abordan los principales procesos de transformación de plásticos y se presentan algunas de las propiedades y

requerimientos para algunos simuladores de estos procesos ahondando en el simulador de flujo Part Adviser de la compañía Moldflow. Por otra parte, se presenta el ciclo de vida de los componentes de un electrodoméstico desde el punto de vista de la ingeniería concurrente y finalmente este capítulo presenta uno de los formatos de archivo que se puede utilizar para la comunicación entre los sistemas de diseño y de simulación de flujo.

El capítulo tres sirve para conocer el comportamiento del material durante el proceso de inyección así como los efectos y los fenómenos dependientes de las variables del proceso de inyección.

El capítulo cuatro muestra los conceptos básicos para la selección y ubicación del punto de inyección. Este capítulo termina con la selección del punto de inyección mediante un sistema de simulación de inyección de plásticos.

En el capítulo cinco se plantea y resuelve un caso de diseño evolutivo aplicado a uno de los componentes plásticos de un refrigerador doméstico con ayuda del simulador de flujo Part Adviser. El análisis de los resultados generados por este simulador es lo que se toma como base para la decisión de aplicar el cambio de material. Finalmente este capítulo concluye con el planteamiento de las ventajas y desventajas que presentan este tipo de herramientas.

Finalmente se tienen las conclusiones y la bibliografía de las fuentes de información que apoyaron al desarrollo de este trabajo.

CAPÍTULO 1

ELECTRODOMÉSTICOS

En las sociedades industrializadas, el papel de los electrodomésticos ha adquirido una gran importancia. La presencia de estos aparatos es lo que marca la diferencia entre las sociedades rurales de las urbanas.

A partir de los años cincuentas, cuando en Estados Unidos los electrodomésticos comienzan a comercializarse de manera masiva, así como la utilización de vehículos automotores para el transporte personal y la presencia en las casas de los enseres domésticos, caracteriza el clásico estilo de vida americano (*American Way of Life*).

En la posguerra todo el mundo mira hacia este tipo de consumo y en México al igual que en muchos países se realizan importantes esfuerzos para que grandes corporaciones realicen inversiones en sus territorios para desarrollar este tipo de industrias.

De hecho, en el desarrollo industrial de México, las empresas productoras de bienes de consumo duradero, considerados como todos aquellos productos de consumo que no se destruyen al primer uso, fueron la base del desarrollo económico en los años cincuentas y sesentas.

1.1 APARATOS ELECTRODOMÉSTICOS

Los aparatos electrodomésticos nacen desde que el hombre buscó la forma de facilitar las labores del hogar por medio de estos aparatos.

Un electrodoméstico es un aparato eléctrico o electrónico que utiliza sistemas mecánicos, térmicos, hidráulicos o una combinación de estos, con el fin de facilitar las actividades rutinarias del hogar tales como son la limpieza de la casa y del vestido; la preparación y conservación de los alimentos, además de proporcionar un ambiente agradable y de confort por medio del acondicionamiento del aire en el hogar.

1.2 CLASIFICACIÓN DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS

Uno de los criterios para la clasificación de los electrodomésticos es en función de su tamaño, éste a su vez, se divide en dos grupos: el primero, conocido como enseres menores y el segundo como enseres mayores ó línea blanca. En la tabla 1.1 se presentan los enseres según la clasificación anterior.

<i>Enseres menores</i>	<i>Enseres mayores</i>
<i>Abre latas eléctrico</i>	
<i>Aspiradoras</i>	
<i>Batidoras</i>	
<i>Cafeteras</i>	<i>Aires acondicionados</i>
<i>Calefactor – ventilador</i>	
<i>Campanas extractoras</i>	<i>Centros de lavado</i>
<i>Cuchillos eléctricos</i>	
<i>Extractor de jugos para frutas y verduras</i>	<i>Estufas</i>
<i>Freidoras</i>	
<i>Hornos de micro ondas</i>	<i>Lavadoras de ropa</i>
<i>Hornos eléctricos</i>	
<i>Licuadoras</i>	<i>Lavavajillas</i>
<i>Planchas para ropa</i>	
<i>Procesadores de alimentos</i>	<i>Refrigeradores</i>
<i>Sandwicheras</i>	
<i>Tostadores de pan</i>	<i>Secadoras de ropa</i>
<i>Wafleras</i>	

Tabla 1.1 Clasificación de los electrodomésticos

1.3 LÍNEA BLANCA

Para el caso de México, los tres principales artículos de la línea blanca o enseres mayores son: la estufa, el refrigerador y la lavadora.

1.3.1 ESTUFA

Una estufa es un aparato que se utiliza para generar calor, figura 1.1. Las estufas se pueden clasificar de acuerdo a su sistema de generación de calor en estufas de gas y estufas eléctricas. Estas estufas están especialmente diseñadas para cocinar alimentos, por medio de un conjunto de parrillas que despiden calor, los cuales se encuentran en la parte superior del aparato y otros dentro de una cámara que sirve para cocer y asar, llamado horno.

La Norma Oficial Mexicana en su Norma NOM-023-SCFI-1993 APARATOS DOMESTICOS PARA COCINAR ALIMENTOS QUE UTILIZAN GAS NATURAL O L.P.- ESPECIFICACIONES Y METODOS DE PRUEBA define una estufa como:

“Aparato doméstico para cocinar alimentos, utilizando como fuente de calor gas natural o L.P. Básicamente la estufa consta de una sección superior y un gabinete que descansa en el piso que incorpora uno o varios hornos. Además este aparato puede contar con un comal y uno o varios asadores.”

Esta misma Norma, clasifica a las estufas en dos categorías: 1.- Estufa de piso y 2.- Estufa para empotrar, a su vez esta última se divide en dos, 2.1.- Con calentador de alimentos (calienta platos) y 2.2.- Sin calentador de alimentos (calienta platos).

En las estufas eléctricas los dispositivos calefactores son llamados elementos y están constituidos por espiras de tubo plano que en su interior contienen resistencias eléctricas aisladas.

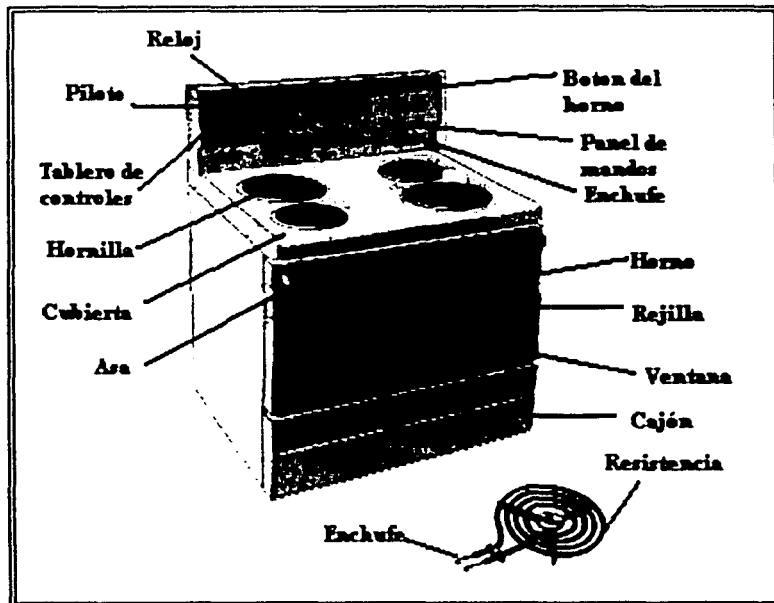


Figura 1.1 Estufa eléctrica

El calor se genera cuando la corriente eléctrica pasa a través de estos elementos. El calor generado por estas resistencias puede ser controlado por medio de un reóstato al regular la cantidad de corriente eléctrica que pasa a través de estas o con el uso de un termostato que permite o no el paso de corriente según sea necesario.

1.3.2 REFRIGERADOR

Es un electrodoméstico que tiene como objetivo el conservar en buen estado los alimentos (figura 1.2). La refrigeración es el proceso mediante el cual se disminuye la temperatura y se mantiene dentro de cierto rango para la conservación de alimentos, sustancias, etc. de tal forma que impida el desarrollo de bacterias así como las reacciones químicas que se dan en una atmósfera normal.

La Organización Internacional de Estandarización ISO (International Standard Organization) clasifica a los refrigeradores en cuatro grupos:

- 1.- Gabinetes para almacenamiento de productos congelados y conservadores de alimentos sin enfriamiento interno mediante circulación de aire forzado (Norma ISO 5155)
- 2.- Refrigeradores domésticos (Norma ISO 7371)
- 3.- Refrigerador - congelador (Norma ISO 8187)
- 4.- Refrigeradores domésticos libres de escarcha (Norma ISO 8561)

La Norma ISO 8561 define el refrigerador doméstico libre de escarcha como:

“Un gabinete aislado térmicamente cuyo volumen interno y equipamiento está diseñado para uso doméstico, es enfriado mediante uno o más mecanismos de transferencia de calor. Todos sus compartimientos son deshielados

por medio de un sistema automático que incluye la eliminación del agua producida en el deshielo, y por lo menos uno de sus compartimentos es enfriado por un sistema libre de escarcha.”¹

El sistema de deshielo es definido por esta misma Norma como:

“Sistema en el cual, el enfriamiento es logrado mediante la circulación de aire forzado y el (los) evaporador(es) es (son) deshielado(s) por un sistema de deshielo automático. Las características de un sistema de deshielo son:

- 1.- Sistema operado automáticamente para prevenir la formación permanente de hielo sobre cualquier superficie refrigerada.
- 2.- Evitar la acumulación de hielo o escarcha en los alimentos almacenados.
- 3.- La temperatura de almacenamiento en el compartimento de alimentos frescos, en el compartimento de alimentos congelados y/o congelador y en el (los) compartimento(s) inferior(es) (si hubiese), serán mantenidos dentro de los rangos establecidos dentro de esta Norma internacional.
- 4.- El agua generada en el ciclo de deshielo será eliminada de manera automática.”

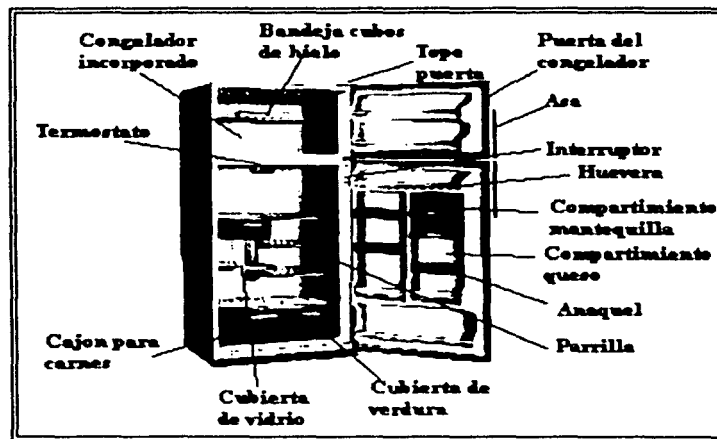


Figura 1.2 Refrigerador

El enfriamiento se logra gracias al constante flujo de calor dentro del circuito cerrado de refrigeración, el refrigerante es el fluido de trabajo de este sistema, que al ir cambiando de fase va tomando el calor del compartimento de alimentos y después lo arroja al medio ambiente en un ciclo continuo. Para realizar el recorrido dentro de este circuito, requiere del suministro de energía eléctrica.

1.3.3 LAVADORA

Una lavadora es un electrodoméstico que realiza el proceso del lavado de la ropa con las funciones de tallar, enjuagar y exprimir. Es uno de los electrodomésticos más complicados, figura 1.3. Los modelos actuales ofrecen una gran variedad de opciones en función del tipo, estado y cantidad de la ropa.

La Norma Oficial Mexicana NOM-005-ENER-2000, con nombre “Eficiencia energética de lavadoras de ropa electrodomésticas, límites, métodos de prueba y etiquetado” define a una lavadora electrodoméstica como:

¹ *Insulated cabinet of suitable volume and equipment for household use, cooled by one or more energy-consuming means, in which all compartments are automatically defrosted with automatic disposal of the defrost water, and at least one compartment is cooled by a frost-free system”*

“Es la máquina para lavar por medio de trabajo mecánico, que utiliza energía eléctrica para su operación y permite el lavado de prendas y ropa en el hogar, de acuerdo con lo especificado por el fabricante, pueden estar constituidas de una o dos tinas y con o sin rodillos.”

Esta Norma clasifica las lavadoras bajo dos criterios, el primero en función del tipo de control agrupándolas en: lavadora automática, lavadora semi-automática y lavadora manual. El segundo criterio es en función del tipo de acción mecánica clasificándolas en: lavadora tipo agitador, lavadora tipo impulsor y lavadora tipo tambor.

Una lavadora automática tipo agitador contiene una tina y una canastilla perforada que es la encargada de sostener la ropa. Cuando la ropa, el agua y el detergente se encuentran en la tina, el operario elige la combinación que mejor se acople a sus necesidades de lavado, siendo las variables: nivel de agua, temperatura de lavado, temperatura de enjuague, así como la duración y velocidad de los ciclos de lavado y centrifugado. Los tiempos son controlados por medio de un reloj interno que controla la ejecución de los ciclos.

El reloj comienza el ciclo abriendo las válvulas que permiten el acceso del agua a la tina en función de la temperatura determinada por el usuario. Un detector basado en la presión del agua interrumpe el flujo cuando el agua alcanza el nivel deseado dentro de la tina. El motor de la lavadora engrana con la transmisión y da inicio al ciclo de lavado. El movimiento relativo entre el agua y la ropa permite la limpieza de esta.

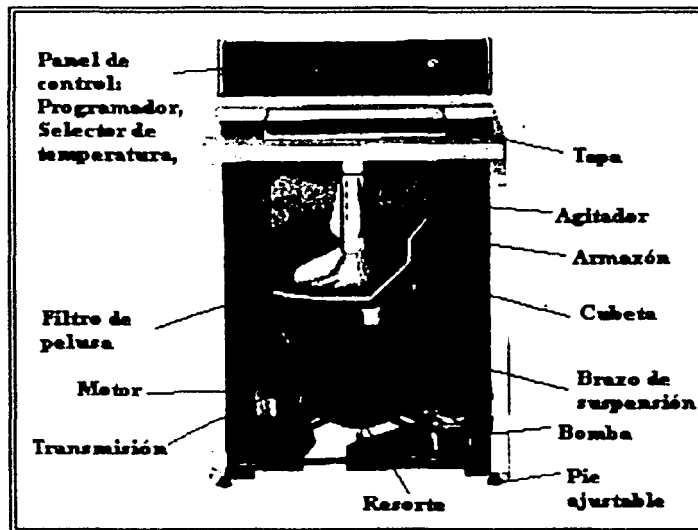


Figura 1.3 Lavadora

Una vez transcurrido el tiempo de lavado, inicia el ciclo de enjuague al desembragar la transmisión e iniciar el movimiento centrífugo de la tina para eliminar el exceso de agua de la ropa, el agua extraída de la tina es eliminada al ser bombeada hasta el desagüe. Al terminar este proceso la tina se vuelve a cargar con agua para realizar el ciclo de enjuague que consiste en eliminar el jabón de la ropa. El último proceso del ciclo de lavado es el secado de la ropa que también se realiza por medio del centrifugado.

1.4 MERCADO NACIONAL

Hoy en día, el mercado nacional está compuesto por diferentes grupos, figura 1.4, entre los que destacan dos, el Grupo Mabe y el Grupo Vitromatic, los cuales sobresalen como líderes del mercado interno.

Figura 1.4 Principales marcas de electrodomésticos en México

1.4.1 GRUPO MABE

Fundada en la Ciudad de México en el año de 1946 y asociado con General Electric desde el año de 1987 cuando adquiere el 48% de las acciones de Mabe. Hoy en día es la empresa líder en México de la producción y comercialización de artículos electrodomésticos mayores (línea blanca) así como motores y compresores. Además de los productos terminados, manufactura sus propios componentes plásticos y troquelados así como sus compresores, transmisiones y motores. Desde hace más de tres décadas ha venido refrendando su vocación exportadora, haciendo posible la presencia de sus productos en más de cuarenta países en los continentes Americano, Asiático y Europeo. En Latinoamérica realiza operaciones comerciales con Guatemala, El Salvador, Costa Rica, Colombia, Ecuador, Perú, Venezuela y Argentina. Este Grupo empresarial está formado por más de 18,000 personas en toda Latinoamérica².

1.4.2 GRUPO VITROMATIC

Comercial Acros Whirlpool, S.A. de C.V. es el resultado de la asociación estratégica entre Grupo Vitro, conglomerado industrial y comercial formado por más de 100 empresas de manufactura; y la empresa norteamericana Whirlpool Corporation, líder mundial en tecnología para la fabricación y comercialización de línea blanca. Con esta unión Comercial Acros Whirlpool S.A. de C.V., productora de enseres domésticos fortalece su proceso de crecimiento y consolida los programas con tendencia a lograr la calidad óptima en sus productos.

Esta empresa pertenece al Grupo Industrial Vitro, que en el año de 1987 se asocia con la empresa norteamericana Whirlpool vendiéndole el 49% de sus acciones. Hoy en día es una de las dos mayores compañías de electrodomésticos en México dedicada a la producción de línea blanca. Su producción nacional es de 3'000,000 de aparatos por año con un 40% para el mercado nacional y el resto para el mercado internacional³. Llegan a 37 países en los continentes Americano, Asiático, Europeo y Africano. Para fines comerciales realiza importaciones de algunas marcas del Grupo. Esta empresa tiene un crecimiento anual mayor del 5%. En cuestión del desarrollo tecnológico invierte del 3 al 7% del total de sus ventas anuales.

1.4.3 OTRAS COMPAÑÍAS

A continuación se presenta el resto de las compañías que fabrican o comercializan electrodomésticos en México, que aunque tienen cierta participación en el mercado no son líderes, por lo menos hasta el momento.

1.4.3.1 DAEWOO

Los productos Daewoo tienen presencia en 10 países del continente Americano. Tiene oficinas propias en 5 países de América Latina.

1.4.3.2 GRUPO ELECTROLUX

Las marcas del Grupo Electrolux son: Electrolux y White Westing House.

² Edición Especial 1998, Mabe

³ FUENTE: www.vtro.com

1.4.3.3 HOOVER

La división Hoover México, el año pasado fue adquirida por el Grupo Industrial Koblenz. Entre los productos que maneja son lavadoras, aspiradoras y lava pisos.

1.4.3.4 GRUPO INTERDOM

Alianza del Grupo Bosch con Siemens, provenientes de Alemania. Este mercado está enfocado hacia los niveles socio - económicos medio alto y alto.

Las marcas del Grupo Interdom son: Bosch, Continental y Maxim's.

1.4.3.5 KOBLENZ

Koblenz es un fabricante internacional de productos para el cuidado de pisos y alfombras que desde hace más de 40 años mantiene un liderazgo en la industria de la limpieza y el mantenimiento.

Fundada en el año de 1959 como productor de reguladores de voltaje, motores y bombas. Para la siguiente década, agrega las líneas de aspiradoras y de productos químicos para la limpieza de pisos. Actualmente exporta sus productos a más de 25 países, enfocándose a los mercados industrial y doméstico⁴.

1.4.3.6 GRUPO LG

La casa matriz de LG Electronics se localiza en Seúl, Corea del Sur. En 1947 nace "LUCKY" (que en coreano significa *LAK* - gozo y *HEE* - felicidad) que es una de las dos compañías que forman el Grupo LG dedicada principalmente al desarrollo de productos químicos.

En 1958 nace Goldstar cuando se inició la fabricación de los principales componentes electrónicos para los gabinetes de la radio que fabricaba Lucky-Goldstar Group.

Iniciada la década de los años noventas y de cara al nuevo siglo, se vio la necesidad de reestructurar a Lucky-Goldstar Group a LG Group. Se buscó lograr la integración total de las compañías que forman el corporativo, el cual se divide en 6 grandes grupos principalmente con 46 compañías en diferentes ramas.

LG en México

En el año de 1988 Goldstar llega a México, importando sus productos a través de una comercializadora. En 1994 inicia la venta y distribución a nivel nacional con su propia marca Goldstar, llenando un hueco en el mercado con la mejor calidad a un precio razonable, estableciendo así un nuevo giro en la comercialización de productos de línea blanca, audio, video y Hi - Media, ya que teniendo muy poco tiempo de haberse hecho el lanzamiento de la marca Goldstar se colocó muy rápidamente en el gusto del público. A partir de 1998 se presentó en México a LG "La Nueva Cara de Goldstar" (que es el nuevo nombre de la marca Goldstar).

También en 1998 LG Electronics estrenó nuevas oficinas centrales en Tlalnepantla Edo. de México además de contar con tres sucursales en Guadalajara, Monterrey y Mérida.⁵

1.4.3.7 SAMSUNG

Empresa coreana fundada en el año de 1938, llega a México 50 años más tarde, tiene plantas industriales en Tijuana para la producción de artículos electrónicos. Realizan grandes inversiones en investigación y desarrollo. Otros de sus giros comerciales se centran en: finanzas, químicos, electrónica, maquinaria, comercialización y construcción.

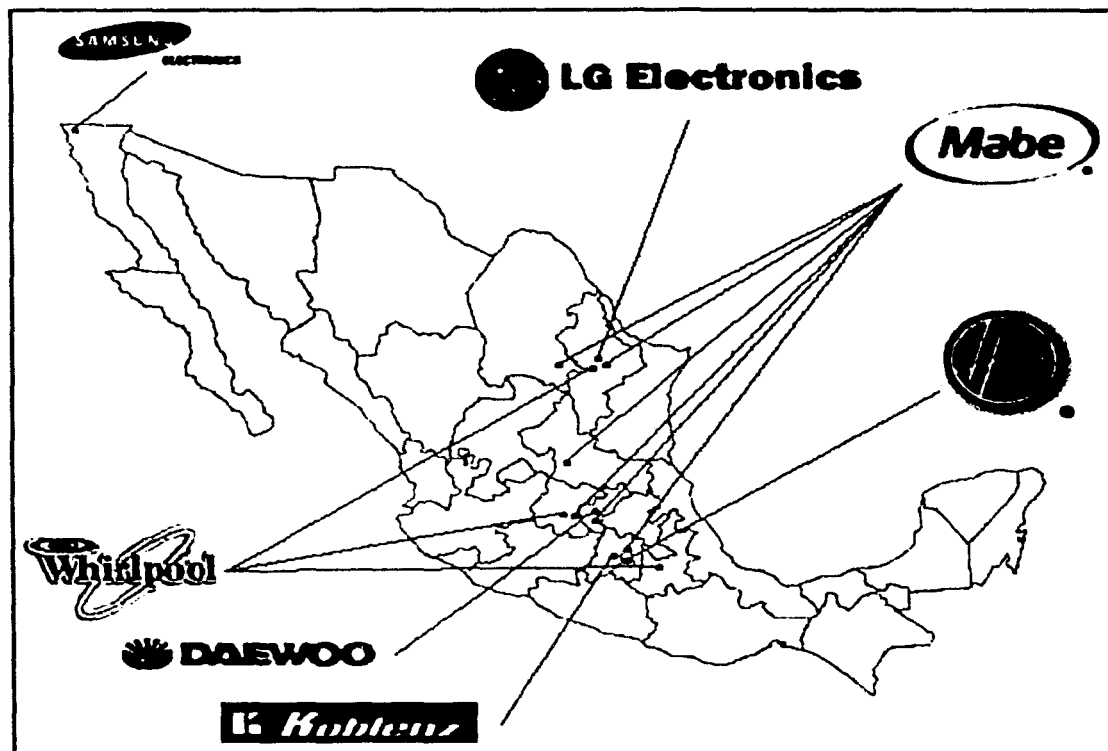
Entre los productos de la línea electrónica que maneja están: los sistemas de información, la telefonía celular, el audio y video, las telecomunicaciones y las cámaras fotográficas. En cuanto a electrodomésticos, producen: hornos de micro ondas, refrigeradores, aires acondicionados y lavadoras.

⁴ FUENTE: www.lienz.com.mx

⁵ FUENTE: www.lge.com.mx

1.4.4 LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE PLANTAS EN LA REPÚBLICA MEXICANA

En la figura 1.5 se muestra la distribución de las plantas manufactureras de electrodomésticos mayores de los diferentes grupos comerciales.



	Daewoo	Hoover	Koblenz	LG	Mabe	Samsung	Vitromatic
Apodaca							Lavadoras Refrigeradores
Celaya					Refrigeradores		Estufas Refrigeradores
Cholula							Lavadoras
D.F.		Lavadoras			Estufas		
Edo. Mex.			Lavadoras				
Monterrey				Refrigeradores	Lavadoras		
Querétaro	Lavadoras Refrigeradores				Refrigeradores		
S.L.P.					Estufas		
Saltillo					Lavadoras		
Tijuana						Lavadoras Refrigeradores	

Figura 1.5 Localización geográfica de las plantas manufactureras de Línea Blanca en México

1.4.5 PRODUCTOS POR CONSORCIOS EN MÉXICO

En la tabla 1.2 se muestran los productos y marcas comerciales de los diferentes Grupos en México.

	Daewoo	Electrolux	Hoover	Interdom	LG	Mabe	Samsung	Vitromatic
Aires acondicionados					LG	G E	Samsung	
Campanas						Mabe		Acros
Centros de lavado		Electrolux		Bosch		Easy		
Estufas		Electrolux	Hoover	Bosch		Mabe G E IEM Hot Point Excell		Acros Whirlpool Supermatic Roper Kitchen Aid Blue Point
Hornos						Mabe G E		Acros
Hornos de microondas					LG	Mabe G E	Samsung	
Lavadoras	Daewoo	Electrolux	Hoover		LG	Mabe G E IEM Easy Hot Point Kelvinator Cinsa	Samsung	Acros Whirlpool Phillips Roper Blue Point
Lavavajillas		Electrolux		Bosch	LG	G E		Whirlpool
Parrillas						Mabe		Acros Whirlpool
Refrigeradores	Daewoo	Electrolux White Westing House	Hoover		LG	Mabe G E IEM Kelvinator Hot Point Patrick Fagor	Samsung	Acros Whirlpool Supermatic Crolls Phillips Blue Point Singer
Secadoras		Electrolux		Bosch		Mabe G E Easy Hot Point		Whirlpool

Tabla 1.2 Productos por consorcio y marca

1.4.6 IMPORTANCIA DEL COMERCIO INTERNACIONAL EN LA INDUSTRIA DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS

En esta época de globalización se generan las grandes corporaciones que son fusiones entre gigantes industriales. Estas fusiones permiten que la especialización tecnológica sea transferida hacia los nichos de mercado, permitiendo además, el abatimiento de costos por medio de los altos volúmenes de producción y distribución.

En México, este proceso de globalización dentro de la industria de los electrodomésticos se puede observar en los Grupos Mabe y Vitromatic, que son los dos consorcios más importantes dentro del mercado nacional debido a que exportan cerca del 50% de su producción. Mabe y Vitromatic además de haber adquirido la mayoría de las medianas empresas dedicadas a la fabricación y ensamble de electrodomésticos de Centro y Sudamérica se han asociado con los gigantes norteamericanos General Electric y Whirlpool, respectivamente.

Día con día es más común el hecho de observar los procesos de producción global, caracterizados por el hecho de ser productos ensamblados en México con piezas de distintas partes del mundo en un sistema de producción *Just in time*.

Dentro de esta globalización de la producción, la relocalización de industrias es otra de las nuevas tendencias dentro de este tipo de empresas. El primer paso es el análisis cuidadoso de los procesos de producción. Ahí se determina qué partes del proceso de producción pueden ser trasladados a otros lugares. Estos procesos son aquellos que requieren uso intensivo de mano de obra, o aquellos en los que se determina que por las condiciones climáticas, sociales o de cercanía con la fuente de abastecimiento natural es más barato producirlos y luego trasladarlos a otras partes del mundo para su ensamble.

Por ejemplo, General Electric ha estado disminuyendo durante más de una década los empleos al interior de Estados Unidos a la mitad, mientras el empleo en países como México, la India y algunos países asiáticos se han visto beneficiados con estas reubicaciones de la producción.⁶

Todo lo anterior se ha visto fomentado a partir de los tratados y acuerdos de comercio al interior de los más importantes bloques económicos en el mundo.

En México, el Tratado de Libre Comercio de América del Norte (TLCAN) ha sido la punta de lanza que ha llevado a México a la conformación y desarrollo de importantes negocios y al establecimiento de industrias en nuestro país.

En la figura 1.6 se muestra la evolución de las ventas en México del sector de línea blanca en los últimos 20 años.

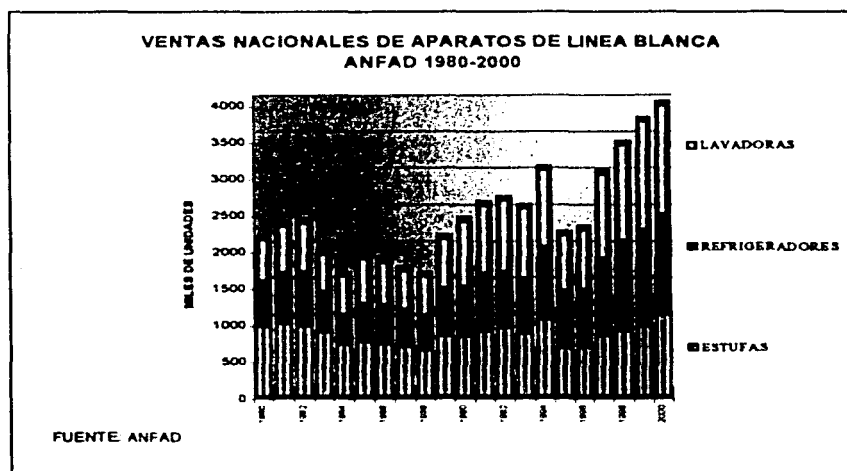


Figura 1.6 Ventas nacionales de electrodomésticos

Como se observa en la figura 1.6, en los últimos años se ha dado la consolidación de las ventas de electrodomésticos al interior del país, lo que ha posibilitado la expansión hacia los mercados internacionales.

Es precisamente el crecimiento de estos últimos años lo que ha permitido que las empresas de electrodomésticos consoliden su posición tanto en el mercado nacional como en el internacional, favoreciendo a la vez la firma de otros acuerdos de libre comercio con Europa, Centroamérica y Sudamérica. Un ejemplo es el Grupo Vitromatic, que ha podido realizar ventas tres veces superiores a las que lleva a cabo en México y sus exportaciones han crecido cerca del 50% y tienen ventas consolidadas por 24,843 millones de pesos, lo que le permitió realizar inversiones en todo el mundo con un valor de 170 millones de dólares.

Con todo lo anterior, se puede asegurar que la industria de los electrodomésticos es un campo con mucho futuro en México.

⁶ Aaron Bernstein (1999). *La Marcha de GE hacia el Sur*. *Business Week Intl.* Edition Dec. 1999.

1.4.7 ESTADÍSTICAS DE LATINOAMÉRICA E IMPORTANCIA DE MÉXICO

En la tabla 1.3 de información general, se observa que uno de los indicadores más importantes es el producto interno bruto per cápita (PIB), ya que de este se generan otros indicadores.

<i>Hogares (Millones)</i>	40.0	20.8	8.3	13.0	5.3	4.0	3.4	13.5
<i>Producto Interno Bruto (Billones USD)</i>	806.0	389.7	82.0	350.4	60.8	56.1	80.0	547.3
<i>PIB per capita (USD)</i>	4,980.00	3,680.00	2,280.00	8,570.00	2,460.00	3,450.00	5,020.00	18,807.42
<i>PIB por familia (USD)</i>	20,150.00	18,735.58	9,879.52	26,953.85	11,471.70	14,025.00	23,529.41	40,412.45
<i>Habitantes promedio por familia</i>	4.0	4.6	4.6	2.7	4.7	5.8	4.4	29.1
<i>Población (Millones)</i>	161.8	96.1	37.8	35.5	25.0	23.1	14.8	394.10
<i>Porcentaje de población</i>	41.06%	24.38%	9.59%	9.01%	6.34%	5.86%	3.76%	

Fuente: Appliance, Latin America Statistics International, Enero 2000, pp.91.

Tabla 1.3: Latinoamérica: Información general

El PIB es el cálculo monetario de lo que produce un país al interior de sus fronteras en un determinado periodo de tiempo, generalmente un año. Esto es, se contabilizan en valor monetario y sin repeticiones los valores agregados de todos los procesos productivos tanto de bienes como de servicios de un país.

El PIB per cápita es este valor dividido entre el número de habitantes de un país e indica la productividad del trabajo de las personas dentro de este. Esta productividad a su vez depende del estado tecnológico del país y de la cantidad de recursos que se tengan a la mano.

Dado que son promedios y magnitudes relativas, se tienen que observar con cuidado. Por ejemplo, el PIB en cada uno de los países de Latinoamérica. Brasil tiene un producto mucho mayor a los demás, seguido por México y Argentina, es necesario decir que en ese mismo orden es su población.

De la tabla, anterior se puede apreciar la relatividad de los números. Observamos que Argentina (y Chile en menor grado) es el país con mayor poder adquisitivo por familia, pero también el de menor número de personas promedio por familia.

En cuanto al PIB per cápita se observa que el mayor lo tiene por mucho Argentina, ya que tiene un producto ligeramente menor al de México, pero tiene casi una tercera parte menos de la población con la que cuenta México. Si se tiene el mismo producto dividido entre menos, obviamente será mayor.

Como se observa en la tabla 1.4, Brasil es el mayor consumidor de electrodomésticos en Latinoamérica. De acuerdo a esta fuente, es el líder en casi todos los renglones a excepción de las lavadoras de ropa automáticas y los hornos eléctricos.

Brasil consume el 46.5% de los electrodomésticos nuevos generados en la región. México se encuentra en segundo lugar, y llama la atención que entre estos dos consumen las dos terceras partes de los electrodomésticos de América Latina. En contraste Perú es el país más atrasado en este sentido.

<i>Estufas de gas</i>	3,397	1,730	479	513	-	305	363	6,787
<i>Refrigeradores</i>	3,208	677	374	526	52	422	353	5,612
<i>Lavadoras de ropa automáticas</i>	1,104	1,194	445	691	34	262	380	4,110
<i>Hornos de microonda</i>	1,374	539	324	177	-	82	75	2,571
<i>Aspiradoras (grandes)</i>	580	175	-	470	-	-	-	1,225
<i>Hornos eléctricos</i>	116	93	192	222	-	271	14	908
<i>Congeladores</i>	361	103	47	144	-	84	-	739
<i>Secadoras de ropa</i>	316	159	32	47	-	24	12	590
<i>Lavavajillas</i>	216	100	3	76	-	28	1	424
Total	10672	4770	1896	2866	86	1478	1198	22966
<i>Porcentaje</i>	46.5%	20.8%	8.3%	12.5%	0.4%	6.4%	5.2%	

Fuente: Appliance, Latin America Statistics International, Enero 2000, pp.91.

Tabla 1.4: Latinoamérica: Electrodomésticos mayores (millares de unidades).

ELECTRODOMÉSTICOS

En la tabla 1.5 se observa que Brasil es el país con la mayor propensión al consumo de electrodomésticos de la región por familia. Es el país que destina una mayor parte de su ingreso a la adquisición de aparatos electrodomésticos. Es también el país con la mayor adquisición de equipos nuevos. Se toma como ejemplo el caso de las estufas de gas.

En Brasil cada cuatro años en promedio una familia adquiere una estufa, mientras que en México es el doble de tiempo y en Argentina nueve veces.

Más significativo aún es el caso de los refrigeradores, donde Brasil compra un refrigerador cuatro veces más rápido que el resto de la región.

En cuanto a las lavadoras de ropa automáticas se observa que en México se cambia o se consume una nueva lavadora cada 11 años, mientras que en Venezuela es casi cada 50.

Estas frecuencias de compra son elaboradas a partir de los volúmenes de ventas de cada aparato e indican cada cuántos años en promedio una familia adquiere un electrodoméstico.

<i>Estufas de gas</i>	3.8	7.5	27.1	25.3	42.6	35.8	23.7
<i>Refrigeradores</i>	4.1	19.2	34.8	24.7	30.8	36.8	25.1
<i>Lavadoras de ropa automáticas</i>	11.8	10.9	29.2	18.8	49.6	34.2	25.8
<i>Hornos de microonda</i>	9.5	24.1	40.1	73.4	158.5	173.3	79.8
<i>Aspiradoras (grandes)</i>	22.4	74.3	-	27.7	-	-	41.5
<i>Hornos eléctricos</i>	112.1	139.8	67.7	58.6	48.0	928.6	225.8
<i>Congeladores</i>	36.0	126.2	276.6	90.3	154.8	-	136.8
<i>Secadoras de ropa</i>	41.1	81.8	406.3	276.6	541.7	1083.3	405.1
<i>Lavavajillas</i>	60.2	130.0	4333.3	171.1	464.3	13000.0	3026.5
<i>Promedio</i>	33.4	68.2	651.9	85.2	186.3	2184.6	

Fuente: *Appliance, Latin America Statistics International, Enero 2000, pp.91.*

Tabla 1.5: Latinoamérica: Frecuencia de compra promedio por familia.

Se observa también la tendencia de consumo de cada país. Por ejemplo, Argentina es el país que posee el mayor ingreso por familia, figura 1.7, también debería ser el mayor consumidor de electrodomésticos, pero no es así. Lo anterior indica que en Brasil y México se da una mayor importancia a la adquisición de este tipo de bienes de consumo duraderos.

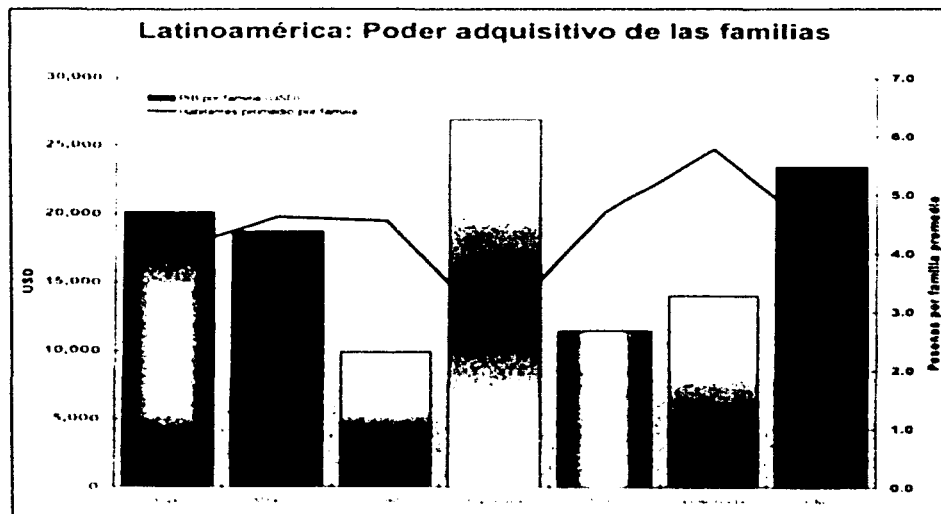


Figura 1.7 Poder adquisitivo en Latinoamérica.

La tabla 1.6 indica los índices de compra promedio, graficados en la figura 1.8. El número de habitantes por familia se obtiene a partir del cociente de la población total entre el número de hogares. Esto se encuentra relacionado con la tabla 1.3 donde se tiene el PIB por familia, obtenido del producto del PIB per cápita por el

número de habitantes promedio de una familia. Este indicador muestra el promedio del poder de compra anual de una familia.

El número de años promedio por familia indica los años que se tarda una familia en adquirir un electrodoméstico. Esto se obtiene al dividir el número total de electrodomésticos vendidos en un año entre el total de familias. Perú en este caso, es el país que sale del promedio al tener casi veinte veces mayor su índice.

El último indicador de la tabla 1.6, proporciona el promedio de personas por electrodoméstico nuevo por año. Para elaborarlo se toma la población total entre el número de electrodomésticos nuevos por año. Nuevamente, Perú es el país en el que menos aparatos se adquieren en un año.

Habitantes promedio por familia	4.0	4.6	4.6	2.7	4.7	5.8	4.4
Número de años promedio por familia para adquirir un electrodoméstico	3.7	4.4	4.4	4.5	61.6	2.7	2.8
Índice de personas por electrodoméstico nuevo por año	15.2	20.1	19.9	12.4	290.7	15.6	12.4

Fuente: *Appliance, Latin America Statistics International, Enero 2000, pp.91.*

Tabla 1.6: Latinoamérica: Índices de compra

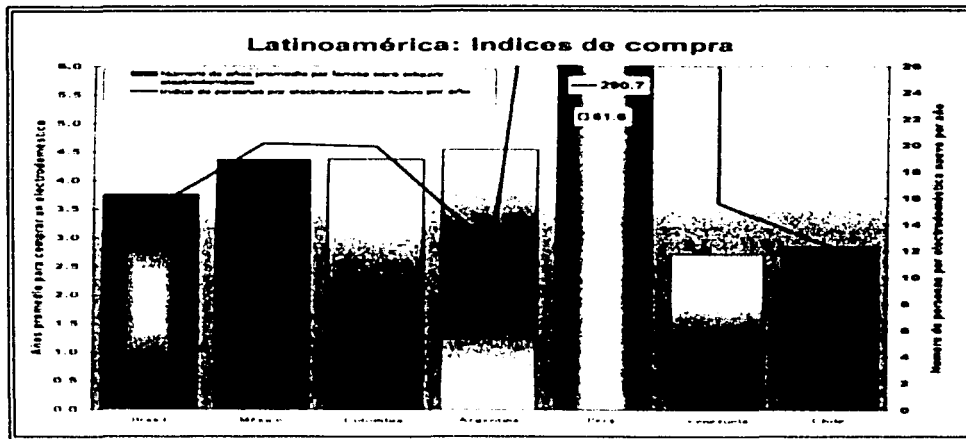


Figura 1.8 Índices de compra en Latinoamérica

De todo lo anterior México es uno de los países líderes tanto en la fabricación como en el consumo de electrodomésticos, lo que lo hace ser una importante opción para la inversión. Por otro lado, México dentro del contexto de Latinoamérica es el país con el mayor desarrollo comercial e industrial de la región. Importantes inversiones se han realizado en México para consolidarlo como potencia productora y exportadora en este sector de la economía.

1.5 CICLO DE VIDA DE LOS ELECTRODOMÉSTICOS

En la figura 1.9 se muestra el ciclo de vida de los enseres mayores, adaptado del modelo de Capuz⁷. Este ciclo se desarrolla en un tiempo variable dependiendo del tipo de electrodoméstico. Como se vio anteriormente, tabla 1.5, el mercado de consumo en México tiene una frecuencia de compra o cambio de una estufa de 7.5 años, lavadoras automáticas de ropa de 10.9 años y en el caso de refrigeradores en un tiempo 19.2 años, esto depende de los hábitos de consumo y de la situación económica del consumidor.

El tiempo para el desarrollo de un producto, es el período comprendido entre la asignación de recursos al proyecto y la producción masiva del mismo, varía de 2 a 3 años dependiendo del tipo de diseño o rediseño en el producto. El tiempo de almacenamiento promedio es de medio año. El tiempo de comercialización depende de la cadena de distribución, de la región, del país al que se venda y de la temporalidad debido a que su mayor consumo se da en los meses de mayo y diciembre, por lo cual se considera un tiempo de medio año para su comercialización. Por todo lo anterior, el tiempo del ciclo de vida de una estufa se estima en 11.5 años, el de una lavadora de ropa de 15 años y el de un refrigerador de 23.2 años.

Cuando un electrodoméstico llega al mercado se cierra la primera fase de un ciclo, que empezó cuando se detectó un hueco en el mercado, que suponía una oportunidad de negocio. Y a su vez, se abre otro ciclo, en el que la competencia intenta lanzar otros productos que compitan con el nuevo objeto, y los fabricantes tratan de mejorarlo con el fin de no perder la ventaja lograda con el lanzamiento y en el cual se busca disminuir el tiempo de desarrollo con el fin de introducir nuevos productos y no perder ventas.

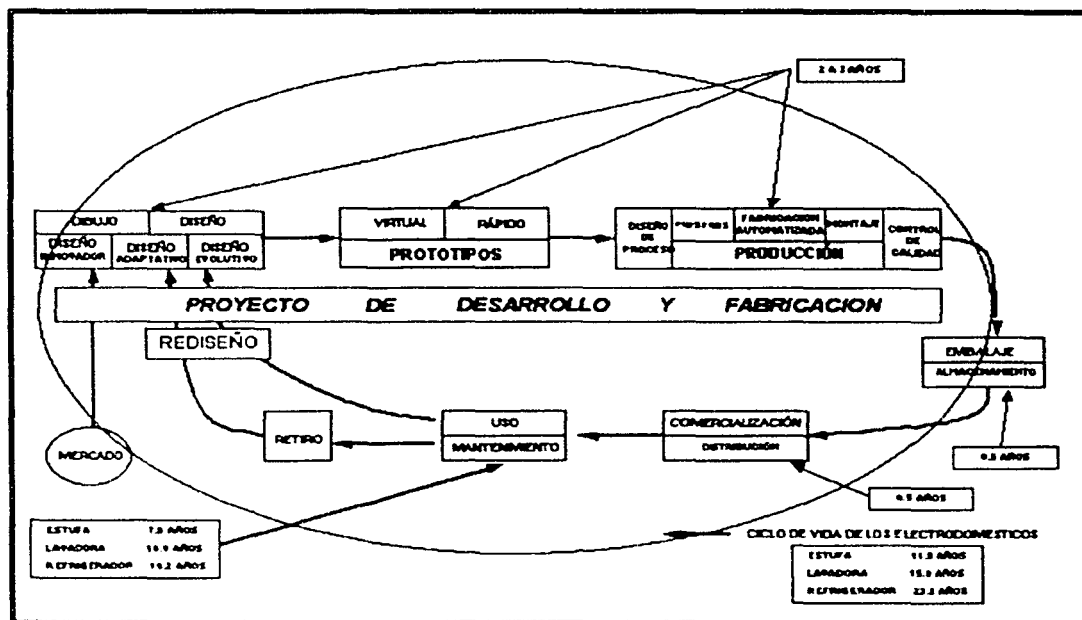


Figura 1.9 Ciclo de vida de los electrodomésticos

En el siguiente capítulo se revisan a detalle los componentes de un refrigerador bajo una clasificación de subsistemas. Se muestra la participación de las resinas de ingeniería en los electrodomésticos de Estados Unidos. Por otra parte, se describen los principales métodos de transformación de plástico así como los programas de simulación existentes. Por último, se plantea el ciclo de vida de los componentes plásticos en los enseres mayores, dentro del esquema de trabajo de ingeniería concurrente.

⁷ Salvador Capuz Rizo, Introducción al proyecto de producción Ingeniería concurrente para el diseño de producto, Ed. Alfaomega, Universidad Politécnica de Valencia, Capítulos 1, 2 y 3

CAPÍTULO 2

LOS PLÁSTICOS EN LOS REFRIGERADORES

En este capítulo se observan los diferentes componentes de un refrigerador doméstico indicando su función, el material y proceso de manufactura bajo el que fueron conformados. Posteriormente, para tener una idea de la creciente importancia de la aplicación de los plásticos de ingeniería en los electrodomésticos, se revisa el caso de Estados Unidos al exponer algunas cifras sobre la aplicación en los refrigeradores producidos en ese país. Se profundiza en los procesos de transformación de plásticos más importantes y se muestran las funciones de algunos de los programas CAE disponibles actualmente. Se da a conocer el programa Part Adviser el cual es uno de los simuladores de plástico más básico que se encuentra en el mercado y que ayuda a resolver muchos de los problemas que se tiene en las piezas de plástico para los electrodomésticos.

Por otra parte, se revisa el ciclo de vida de los componentes plásticos dentro de un esquema de trabajo de ingeniería concurrente, para aplicar un ejemplo de diseño evolutivo al seleccionar una pieza inyectada con una resina de ingeniería con el objetivo de reducir su costo de fabricación. Para alcanzar este objetivo, es necesario conocer la función que desempeña este componente, los requerimientos que necesita para su óptimo funcionamiento, así como las propiedades del plástico que deben tomarse en cuenta para la sustitución exitosa del material.

2.1 COMPONENTES DE UN REFRIGERADOR

Una forma de clasificar los diferentes componentes de un electrodoméstico es por medio de subsistemas, los subsistemas de un refrigerador doméstico son:

- Cuerpo espumado
- Puertas
- Accesorios
- Sistema eléctrico
- Sistema de refrigeración

A continuación se presenta una serie de tablas y figuras en donde se muestran los diferentes componentes de un refrigerador doméstico proporcionando su descripción, subsistema al que pertenece, su aplicación, proceso de fabricación y por último el tipo de material con que se fabrica.

En la tabla 2.1 se muestran las partes que se visualizan en la figura 2.1

Número	Descripción	Subsistema	Función ó Aplicación	Proceso	Material
1	ENS. PUERTA CONGELADOR	Puertas	Pared móvil del refrigerador	Espumado con poliuretano	Metal, plástico y poliuretano
2	PLACA EMBLEMA	Puertas	Placa logotipo	Encapsulamiento	Resina
3	BUJE PUERTA	Puertas	Aloja el pivote de la bisagra	Inyección	Plástico
4	TAPÓN BUJE PUERTA	Puertas	Cubre buje puerta	Inyección	Plástico
5	TOPE PUERTA CONGELADOR	Puertas	Limita la apertura de la puerta	Troquelado	Metal
9	PUERTA REFRIGERADOR	Puertas	Pared móvil del refrigerador	Espumado con poliuretano	Metal, plástico y poliuretano
10	FORRO PUERTA REFRIG.	Puertas	Aloja a los anaqueles	Termo formado	Plástico
11	SELLO MAGNÉTICO	Puertas	Sella el perímetro de la puerta	Extrusión	Plástico
14	ANGULO TOPE INTERRUPTOR	Puertas	Acciona el interruptor de la luz interior	Inyección	Plástico
15	TOPE PUERTA REFRIG.	Puertas	Resistencia al desgaste en la base de la puerta	Troquelado	Metal
16	CHAROLA PARA HUEVOS	Accesorios	Contenedor de huevos	Inyección	Plástico
17	ANAQUEL. 2ª PUERTA. CONG.	Accesorios	Espacio para poner alimentos en las puertas	Inyección	Plástico
18	ANAQUEL. 2ª PTA. REFRIG.	Accesorios	Espacio para poner alimentos en las puertas	Inyección	Plástico
19	ANAQUEL. 3ª PTA. REFRIG.	Accesorios	Espacio para poner alimentos en las puertas	Inyección	Plástico
27	CUBIERTA ANAQUEL.	Accesorios	Tapa superior para anaquel	Inyección	Plástico
28	SEPARADOR DE BOTELLAS	Accesorios	Evita volcamiento de botellas en los anaqueles	Inyección	Plástico

Tabla 2.1 Elementos de la figura 2.1

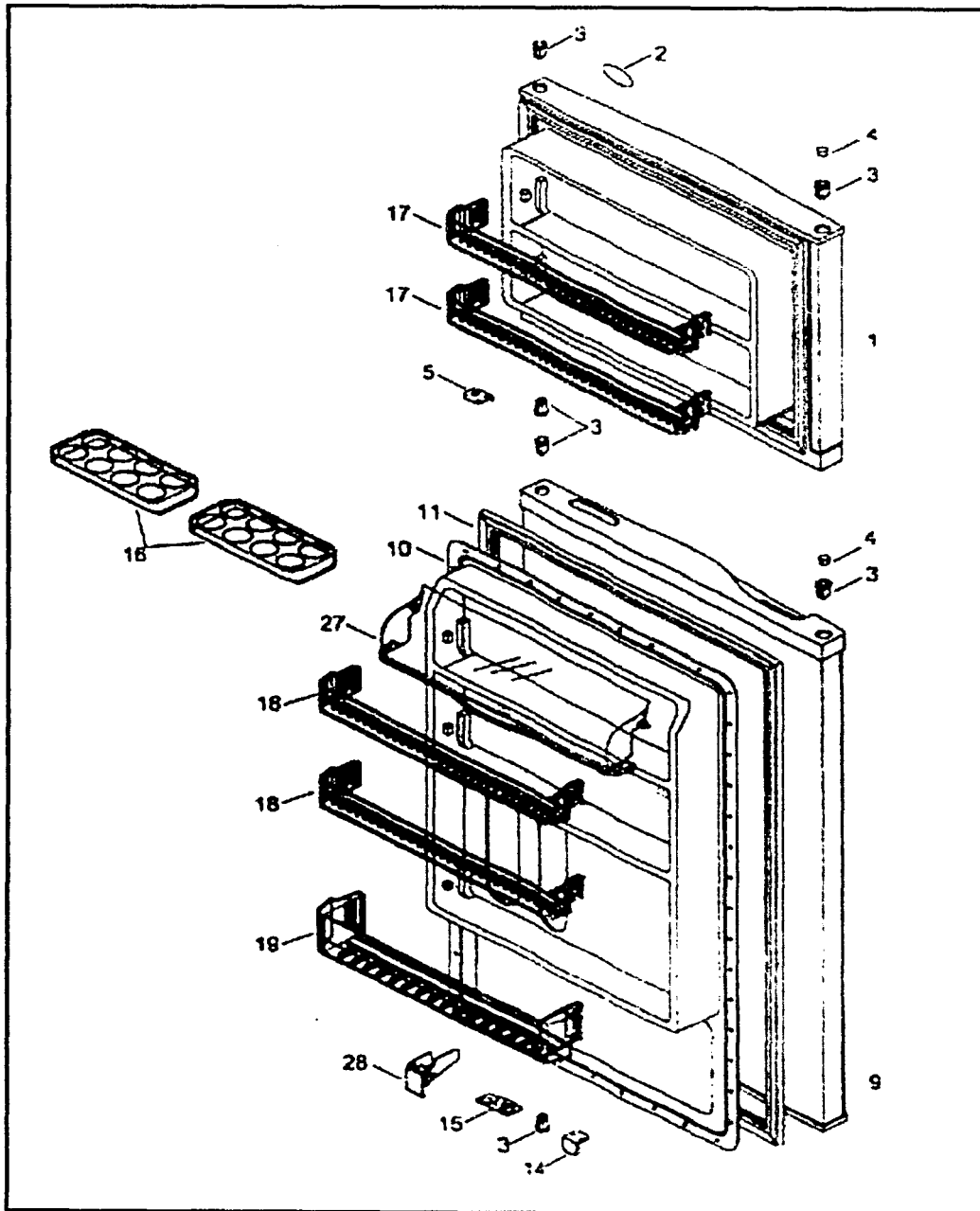


Figura 2.1 Componentes de la puerta de un refrigerador

LOS PLÁSTICOS DE LOS REFRIGERADORES

Número	Descripción	Subsistema	Función ó Aplicación	Proceso	Material
6	ENS. CUERPO ESPUMADO	Cuerpo espumado	Mueble exterior, aislante térmico	Varios	Varios
7	CUERPO EXTERIOR	Cuerpo espumado	Compartimento exterior	Troquelado	Metal
8	CUERPO INTERIOR	Cuerpo espumado	Compartimento interior	Termo formado	Plástico
40	TAPA BISAGRA	Accesorios	Cubre la bisagra superior	Inyección	Plástico
41	CHAROLA CUBOS DE HIELOS	Accesorios	Recipiente para la formación de hielos	Inyección	Plástico
42	CORREDERA CHAROLA PARA CUBOS DE HIELOS	Accesorios	Porta charola de hielos	Inyección	Plástico
43	PARRILLA ALAMBRÓN CONG.	Accesorios	Superficie horizontal porta alimentos	Doblado	Metal
48	REMATE PARRILLA CONG.	Accesorios	Cubre el canto frontal y posterior de la parrilla	Extrusión	Plástico
53	PARRILLA ALAMBRÓN REFRIG.	Accesorios	Superficie horizontal porta alimentos	Doblado	Metal
54	REMATE PARRILLA	Accesorios	Cubre el canto frontal de la parrilla	Extrusión	Plástico
56 y 68	TAPÓN TORNILLO BISAGRA	Accesorios	Estética, uniformiza los colores	Inyección	Plástico
105	ENS. CAJÓN DE LEGUMBRES	Accesorios	Aloja a las legumbres	Inyección	Plástico
106	ENS. TAPA CAJÓN DE LEGUMBRES	Accesorios	Superficie horizontal porta alimentos y soporte cajón	Inyección	Plástico
107	SOPORTE TAPA CAJÓN DE LEGUMBRES.	Accesorios	Limita el movimiento de la tapa del cajón	Inyección	Plástico
108	CAJÓN DE LEGUMBRES	Accesorios	Aloja a las legumbres	Inyección	Plástico
109	FRENTE CAJÓN DE LEGUMBRES	Accesorios	Pared vertical del cajón con jaladera	Inyección	Plástico
112	ENS. CUBIERTA EVAPORADOR	Accesorios	Cubre el evaporador y aloja el motor ventilador	Varios	Metal, plástico y otros
120	BISAGRA SUPERIOR	Puertas	Proporciona el soporte para el giro de la puerta	Troquelado	Metal
121	BISAGRA INTERMEDIA	Puertas	Proporciona el soporte para el giro de las puertas	Troquelado	Metal
122	RONDANA ESPACIADORA PUERTA	Puertas	Intermediario entre bisagra y puerta, nivelador	Inyección	Plástico
123	BISAGRA INFERIOR	Puertas	Proporciona el soporte para el giro de la puerta inf.	Troquelado	Metal
124	RONDANA BISAGRA INFERIOR	Puertas	Intermediario entre bisagra y puerta, nivelador	Inyección	Plástico
126	CONTRA BISAGRA INFERIOR	Puertas	Complemento unión	Troquelado	Metal
130	INTERRUPTOR MOTOR VENTILADOR	Eléctrico	Para el flujo de aire al abrir la puerta del congelador	Inyección	Plástico
140	ESQUINERO GABINETE	Accesorios	Estética, oculta los dobles de lámina en el gabinete	Inyección	Plástico
155 y 157	CONDUCTO SUPERIOR REFRIG.	Refrigeración	Dirige el flujo del aire	Inyección	Plástico
160	ENS. CUBIERTA CONDUCTO REFRIG.	Refrigeración	Tapa del ensamble ducho de aire	Inyección	Plástico
165	TORNILLO NIVELADOR	Accesorios	Accesorio para nivelar el refrigerador	Inyección con inserto metálico	Metal, plástico
211	INTERRUPTOR FOCO	Eléctrico	Controla la luz del interior	Inyección	Metal, plástico
218	RELOJ DE DESHIELO	Eléctrico	Coordina el ciclo del deshielo	Inyección	Metal, plástico
230	SOPORTE CONTROL DE DESHIELO	Eléctrico	Protege y aloja al reloj de deshielo	Troquelado	Metal

Tabla 2.2 Elementos de la figura 2.2

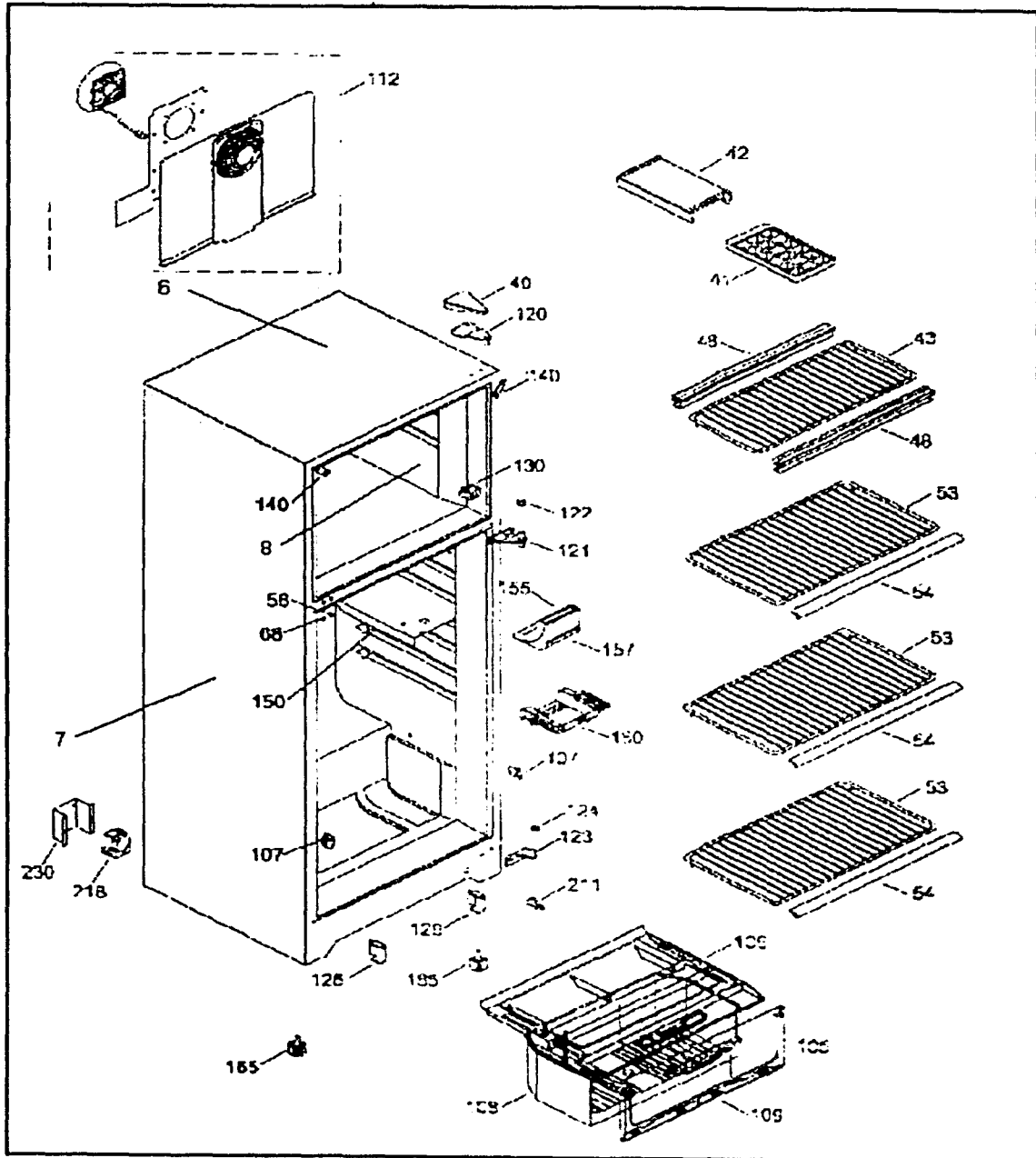


Figura 2.2 Componentes del cuerpo espumado y accesorios

Número	Descripción	Subsistema	Función ó Aplicación	Proceso	Material
190	PISO CONGELADOR	Accesorios	Charola inferior del congelador	Inyección	Plástico
192	ENS. EVAPORADOR	Refrigeración	Evaporador del sistema de refrigeración	Varios	Metal
193	ACUMULADOR	Refrigeración	Garantizar que no pase al compresor refrigerante en estado líquido	Repujado	Metal
194	TERMOSTATO DE DESHIELO	Eléctrico	Controla la temperatura de la resistencia de deshielo	Inyección	Metal, plástico
197	RESISTENCIA DE DESHIELO	Eléctrico	Proporciona energía calorífica para retirar el hielo del evaporador	Varios	Varios
198	ENS. ARNÉS FUSIBLE	Eléctrico	Alimenta eléctricamente la resistencia de deshielo	Extrusión, Inyección	Metal, plástico
200	CHAROLA DE DRENAJE	Refrigeración	Recolecta el agua generada en el ciclo de deshielo	Suaje	Metal
210	PERILLA CONTROL DE TEMPERATURA	Refrigeración	Perilla de control temperatura	Inyección	Plástico
215	TORNILLO 8 - 19 HIJO	Accesorios	Ensamble de la caja control	Pernado	Metal
216	CAJA CONTROL DE TEMPERATURA	Accesorios	Aloja los componentes controladores de refrigeración	Inyección	Plástico
217	CONTROL DE TEMPERATURA	Refrigeración	Dispositivo para el control de temperatura	Varios	Varios
219	ENS. SOCKET Y TERMINALES	Eléctrico	Porta lámpara	Inyección	Plástico
220	FOCO	Eléctrico	Fuente luminosa	Varios	Varios
275	CONDENSADOR	Refrigeración	Retira el calor del fluido de trabajo	Extrusión, Inyección	Metal y plástico
276	REJILLA FOCO	Accesorios	Protege el foco	Inyección	Plástico
283	TAPA CAJA CONTROL TEMPERATURA	Accesorios	Tapa de la caja de control temperatura	Inyección	Plástico

Tabla 2.3 Elementos de la figura 2.3

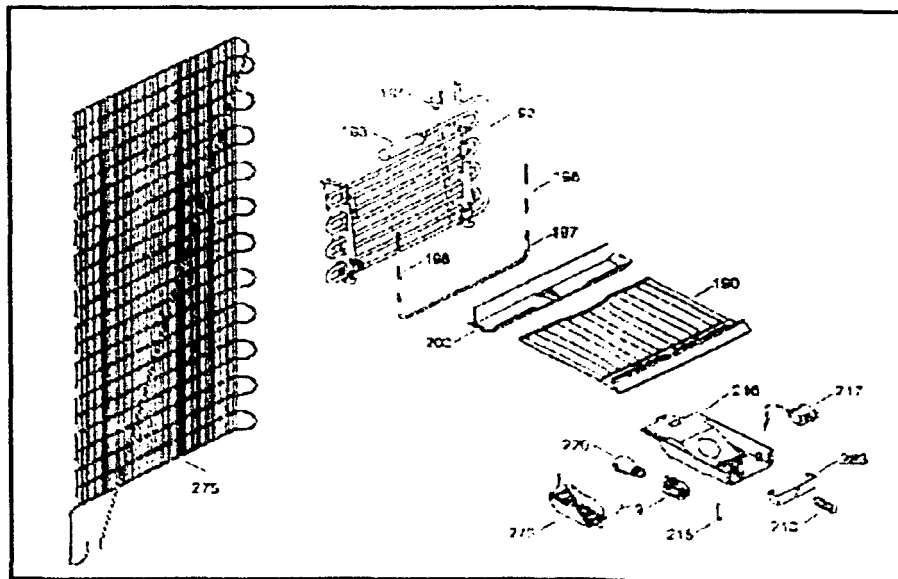


Figura 2.3 Componentes del sistema de refrigeración (superiores)

Número	Descripción	Subsistema	Función ó Aplicación	Proceso	Material
225	ARNÉS TOMACORRIENTE	Eléctrico	Transporta la energía eléctrica del toma corriente al sistema eléctrico	Extrusión, Inyección	Metal, plástico
235	COMPRESOR	Refrigeración	Provee la energía de presión al fluido de trabajo	Varios	Varios
236	TAPA COMPONENTES ELÉCTRICOS	Refrigeración	Protege los componentes eléctricos del compresor	Inyección	Plástico
237	PROTECTOR TÉRMICO	Refrigeración	Protector de temperatura y corrientes altas	Inyección	Plástico
238	DISPOSITIVO DE ARRANQUE	Refrigeración	Relevador eléctrica	Inyección	Plástico
239	CLIP TAPA COMPRESOR	Refrigeración	Sujeta la tapa del compresor	Doblado	Metal
240	FILTRO DESHIDRATADOR	Refrigeración	Retira la humedad e impurezas del sistema de refrigeración	Varios	Varios
241	CESPOL	Refrigeración	Proporciona un sello hidráulico entre el exterior y la cámara fría	Extrusión	Plástico
246	ENS. TUBO AUXILIAR	Refrigeración	Evapora el agua contenida en la charola de evaporación	Extrusión, Inyección	Metal, plástico
247	SEPARADOR TORRES	Refrigeración	Amortigua la vibración	Inyección	Plástico
248	RONDANA SEPARADORA TUBO AUX.	Refrigeración	Amortigua la vibración	Inyección	Plástico
250	CHAROLA DE EVAPORACIÓN	Refrigeración	Capta el agua generada por el ciclo de deshielo	Inyección	Plástico
252	RUEDA	Refrigeración	Ayuda para el movimiento del refrigerador	Inyección	Plástico
256	AMORTIGUADOR DEL COMPRESOR	Refrigeración	Amortigua la vibración	Inyección	Plástico
257	BUJE COMPRESOR	Refrigeración	Soporte mecánico del compresor	Extrusión	Metal
260	SOPORTE RUEDAS	Refrigeración	Aloja a las ruedas	Troquelado	Metal

Tabla 2.4 Elementos de la figura 2.4

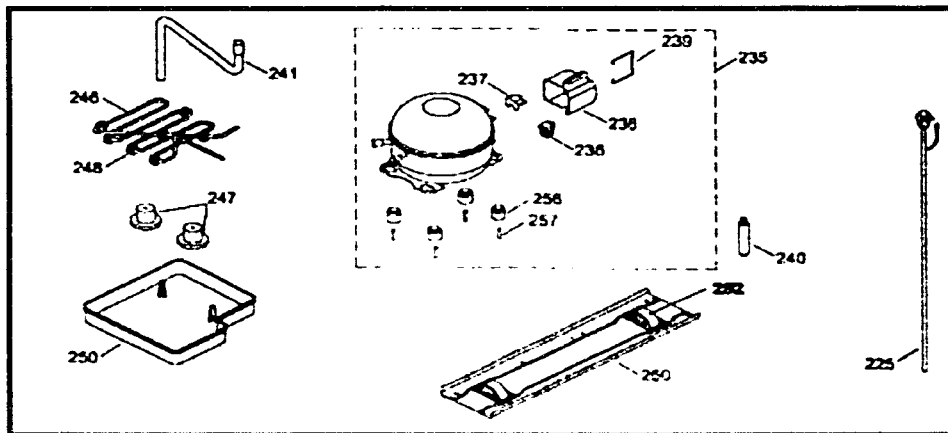


Figura 2.4 Componentes del sistema de refrigeración (inferior)

De las tablas anteriores se puede concluir que de los 81 componentes indicados, 57 están constituidos por plástico representando un 70%. En cuanto a la participación por proceso de transformación de plástico se tiene que el 87% es a través de inyección, el 9% por extrusión y finalmente 4% por termoformado, ver tabla 2.6.

Resumen Porcentaje				
Material	Varios	6		7%
	Metal y plástico	10		12%
	Metal	18		22%
	Plástico	47		58%
Procesos Plásticos	Termoformado	2	4%	
	Extrusión	4	9%	
	Inyección	41	87%	

Tabla 2.5 Resumen de participación por material y proceso en un refrigerador doméstico

2.2 LOS PLÁSTICOS DE INGENIERÍA EN LA LÍNEA BLANCA DE ESTADOS UNIDOS

Por otra parte, como en México no se cuenta con información sobre el consumo de plásticos desglosado por aplicación específica, se toma como ejemplo las cifras generadas por Estados Unidos, para observar los volúmenes y la tendencia en la aplicación de este tipo de materiales para los electrodomésticos.

A continuación se proporcionan algunas cifras importantes sobre la participación que tienen los plásticos en el mercado de línea blanca de los Estados Unidos, ya que esta información no se tiene para el mercado mexicano.

La venta de unidades oscila entre los 43 millones de unidades con un crecimiento anual del 2.2%.

El consumo total de plástico usado en este ramo se estima alrededor de los 499 millones de kilogramos con un crecimiento anual de 4.2%, de los cuales el 10.6% son resinas de ingeniería presentando un crecimiento anual de 4.8%.

En la tabla 2.6 se muestra el crecimiento en el consumo de plásticos de ingeniería para el caso de refrigeradores domésticos en millones de kilogramos.

	1995	1998	2000	2005	Incremento anual %
Policarbonato	11.8	11.8	11.3	8.2	-3.6
Acetal	-	0.5	0.5	1.4	11.6
Nylon	-	-	0.5	1.4	11.6
Poliéster	0.5	2.3	3.6	8.2	33.5
Otros	-	0.5	0.5	1.4	11.6
Suma	12.3	15.1	16.4	20.6	

Millones de kilogramos

Tabla 2.6 Crecimiento en el uso de plásticos de ingeniería en los refrigeradores domésticos

Los plásticos utilizados fueron 131.5 millones de kilogramos, distribuidos de la siguiente manera:

APLICACIÓN	PLÁSTICO	VOLUMEN (millones de kilogramos)
Cuerpos interiores (liners)	PP y HIPS	113.4
Cajón de legumbres y anaqueles (Crisper trays)	PC	10.4
	PET	2.3
	SAN	4.5
Fábricas de hielo (Icemakers)	Acetal (POM)	0.5
Compresores	Poliéster	0.5

Nota: Polipropileno (PP), Polietileno Alto Impacto (HIPS), Policarbonato (PC), Polietileno Tereftalato (PET), Acrilnitrilo Estireno (SAN), Poliacetal o Polioximetileno (POM)

Tabla 2.7 Consumo de plásticos de ingeniería en función de su aplicación en refrigeradores domésticos

La industria de la Línea Blanca es un mercado saturado en Estados Unidos, por lo tanto, las empresas buscan el crecimiento para mantenerse dentro del mercado a través de:

- Reducción de costos
- Diseños innovadores
- Reducción de partes
- Mayor calidad
- Mercadotecnia en nichos de mercado
- Reducción de ruido
- Mayor capacidad
- Facilidad de uso

Al observar esta tendencia cada vez mayor hacia la utilización de este tipo de materiales, es recomendable buscar nuevas aplicaciones donde se demanden propiedades específicas de alto desempeño y con esto poder sobrevivir dentro de la guerra de la competitividad.

2.3 PRINCIPALES PROCESOS DE CONFORMADO PARA LOS PLÁSTICOS¹

2.3.1 MOLDEO POR INYECCIÓN

Proceso: se calientan los gránulos de material plástico (pellets) hasta conseguir la temperatura de fundido en un cilindro a una temperatura controlada y después se hace pasar, bajo presión, a través de bebederos, canales y entradas a un molde de enfriamiento; la resina se solidifica rápidamente, se abre el molde y se extraen las piezas; con determinadas modificaciones, se pueden utilizar materiales termo endurecibles para piezas pequeñas.

Ventajas: velocidad de producción extremadamente rápida que supone un bajo costo por pieza; excelente acabado superficial; buena precisión dimensional; posibilidad de producir variedad de formas relativamente complejas.

Desventajas: alto coste de herramientas y moldes; grandes pérdidas por desperdicio; no resultan rentables las series reducidas de piezas relativamente pequeñas.

2.3.2 EXTRUSIÓN

Proceso: se introduce gránulos de material plástico a una cámara en la que se calienta hasta dar plasticidad y después se conduce, normalmente mediante un tornillo giratorio, a través de una boquilla con una sección transversal deseada, las longitudes extraídas se utilizan como tales o se cortan en secciones; con modificaciones, se pueden utilizar los materiales termoendurecibles.

Ventajas: costo muy bajo, gran variedad de formas complejas posibles; velocidad de producción rápida.

Desventaja: dificultad de conseguir tolerancias ajustadas, las aberturas deben tener la dirección de la extrusión; limitación a formas de sección transversal uniforme (longitudinalmente).

¹ Fuente: Richardson & Lokensgard, Industria del plástico, Editorial Paraninfo, España 2000, 584 pp.

2.3.3 TERMOFORMADO

Conformado al vacío

Proceso: se coloca una lámina ablandada por calor sobre un molde macho o hembra; se forma vacío entre la lámina y el molde procurando que la lámina se adapte al molde. Cabe la posibilidad de muchas modificaciones, incluyendo ajuste a presión, conformado, ayuda de núcleo, etc.

Ventajas: procedimiento sencillo y barato; precisión dimensional; posibilidad de producir piezas grandes con secciones finas.

Desventaja: limitación a partes de perfil bajo.

Conformado por soplado o a presión

Proceso: opuesto al conformado al vacío, ya que se aplica presión de aire positiva en lugar de vacío para formar el contorno de lámina al molde

Ventajas: posibilidad de piezas muy estiradas, láminas muy gruesas para conformado al vacío; precisión dimensional; velocidad rápida.

Desventajas: relativamente barato; es necesario pulir muy bien los moldes.

2.4 PROGRAMAS DE SIMULACIÓN

Actualmente existen programas para computadora que simulan por medio de Análisis de Elemento Finito (MEF), Métodos de Diferencias Finitas (MDF) y por medio del Método de Volumen de Control (MVC), los diferentes procesos de la transformación de los plásticos como son: inyección, extrusión, termoformado y moldeado de botellas.

A continuación se presentan algunos de los programas que se encuentran en el mercado.

Para el caso del proceso de inyección la compañía Moldflow cuentan con los siguientes programas de simulación, tabla 2.8:

Programa	Conceptos	Método	Variables	Resultados	Licencia Perpetua UDS.
Part Adviser	Piezas	MEF	Parámetros máquina Ubicación punto inyección Geometría pieza	Líneas de soldadura Aire atrapado Tiempo de llenado Presión de inyección Confiablez de llenado Probabilidad de rechupe Punto de inyección Condiciones óptimas de funcionamiento	\$7,000.00
Mold Adviser	Creación de moldes Herramientas de construcción Optimización modelos Balance de canales de alimentación	MEF	Incluyen las de Part Adviser más: Herramientas de construcción Balance canal de alimentación	Incluyen las de Part Adviser más: Fuerza de cierre de molde Disparo de inyección Tiempo estimado del ciclo	\$13,000.00

Tabla 2.8 Características de algunos programas de simulación para inyección

Programa	Conceptos	Método	Variables	Resultados	Licencia Perpetua UDS.
Plastic Inside	Plataforma				\$73,000.00
Flow	Flujo de material	Análisis Reológico	Comportamiento del material Optimiza posición entradas Condiciones de proceso	Posibles defectos de pieza Balance del sistema de alimentación Determina las mejores condiciones de proceso	
Fusión	Paredes delgadas	Malla superficial			
Cool	Enfriamiento de molde	Análisis de enfriamiento	Tamaño y ubicación de los circuitos Parámetros del líquido refrigerante		
Stress	Comportamiento mecánico	Análisis de esfuerzos Análisis lineal Análisis no lineal	Resistencia mecánica Cargas límite	Integridad estructural de pieza Comportamiento a cargas Tipo de deformación Cálculo de pandeo	
Warp	Contracción y Alabeo	Análisis lineal y no lineal	Efectos de flujo Temperaturas Geometría de la pieza	Tamaño de los defectos Identificación de la causa Esfuerzos residuales	

Tabla 2.8 Características de algunos programas de simulación para inyección (continuación)

En la siguiente tabla 2.9 se observan algunos de los módulos para un simulador del proceso de extrusión de la Compañía Compuplast:

Programa	Simulador de:	Conceptos	Método	Variables	Resultados	Licencia Perpetua UDS.
Flow 2000	Extrusión	Plataforma				
Flow 2D	Tuberías y tubos Moldeo por soplado Láminas y películas	Barril Flujos de material	MEF	Análisis 2D Superficies hasta de 10 capas Flujo de material en barril y canales Campos de flujo Regiones de recirculación Vórtices, flujo estancado Tiempo de residencia	Zonas de tensión excesiva Defectos superficiales en intecapas	\$25,000.00
Flow 3D	Barril Tornillos de extrusión Boquillas Coextrusión	Tornillo Flujos de material Boquilla plana Boquilla en espiral	MEF Partícula avanzada	Análisis 3D Campo de flujo Distribución de capa Seguimiento de partícula	Animación del flujo	\$15,000.00
Profile Die	Boquillas Diseño de perfiles Cambio de material	Boquillas	MEF	Deslizamiento, material - pared Restricciones, bordes	Perfil de flujo Gota de presión Perfil de velocidades Esfuerzos de corte Velocidad max. extrusión Optimización de proceso	
Extruder		Diseño de tornillos Rosca única Múltiples hélices		Funcionamiento virtual Secciones de mezclado Respiraderos Longitud de barril Zonas de calentamiento Zonas de enfriamiento Geometría del tornillo	Extrusión virtual Comprueba combinaciones de barril - tornillo	

Tabla 2.9 Características de los módulos de un programa de simulación para extrusión

Programa	Simulador de:	Conceptos	Método	Variables	Resultados	Licencia Perpetua UDS.
Flat Die	Película plana Lámina Aplicación capa de exterior Distribución de material. Controlado	Boquillas planas mono y multi capas Boquillas anulares Efecto de la resina	MVC	Presión, tiempo, espesores	Predicción del funcionamiento Presión de operación Tiempo de residencia Distribución de las capas Optimización de diseños	
Spiral Die	Película tubular Diseño de perfiles Aislantes de tubos Tubos Flujo anular uniforme	Boquillas tipo mandril espiral tubular	MVC	Funcionamiento del cabezal Tipo de resina	Optimización de los diseños Análisis del dado Efectos espirales del canal del poste	\$10,000.00
Multi Layer	Flujo de capas múltiples Sistemas > 3 capas Película, lámina y tubo	Sistemas coextrusión: Boquillas	MEF	Regiones de flujo Velocidades Tensiones de esquiroleo	Predicción del flujo Gotas de presión	
Material Data Base		Base de datos	N.A.	Propiedades Modelos de viscosidad Comparación entre materiales A diferentes temperaturas Campos comunes de flujo	Modelos matemáticos: Newtoniano Power - Law Carreau Log - polinomial Cross	\$500.00
Profile Cooling	Perfil de los sistemas de enfriamiento Calibración de diseños	Sistemas enfriamiento	MEF	Tiempos y distorsión Escenarios de enfriamiento	Descripción detallada de enfriamiento Optimiza rangos de producción Tiempo de enfriamiento Distorsión por enf.	
Chill Roll	Laminado Películas delgadas mono y multicapas Cintas	Transferencia de calor	MEF	Temperatura rodillos y material Flujo másico Transferencia de calor Escenarios de enfriamiento	Temperaturas detalladas por las diferentes etapas Control del ancho	\$8,000.00

Tabla 2.9 Características de los módulos de un programa de simulación para extrusión (continuación)

Por último se observa en la tabla 2.10 algunas de las características de los simuladores para los procesos de termoformado y producción de botellas de la compañía Accuform.

Programa	Simulador de:	Conceptos	Método	Variables	Resultados	Licencia Perpetua UDS.
T-Sim	Termo formado	Diseño óptimo	Modelo visco elástico K-BK7 ó PTT Arrhenius y de WLF	Piezas Moldes Distribución de espesores Temperaturas Fricción Transferencia de calor	Análisis Simulación del procesamiento Pre distorsión de imágenes Imágenes 3D, colores Esfuerzos, Espesores y Cortes	\$2,800.00
B-Sim	Botellas	Diseño óptimo	Modelo visco elástico K-BK7 ó PTT Arrhenius y de WLF	Piezas Moldes Distribución de espesores Temperaturas Distorsión de imágenes Fricción Transferencia de calor	Análisis Simulación del proceso Imágenes 3D, colores Esfuerzos Cortes	\$2,800.00

Tabla 2.10 Características de los programas de simulación para termoformado y producción de botellas

Notas para las tablas 2.8, 2.9 y 2.10:

El costo del mantenimiento anual varía entre un 10 y 16% del costo de la licencia perpetua

El costo de una licencia anual es aproximadamente el 25 % del costo de la licencia perpetua

N.A.: no aplica

Los requerimientos de hardware que necesitan estos programas son básicamente los siguientes:

Memoria RAM	De 64 a 512 Mb
Espacio en disco	De 2 a 5 Gb
Memoria virtual	De 128 a 512 Mb
Monitor	Resolución de 1024 X 728, de 17" a 21"
General	Pentium II a 300 a 800 MHz o superior Windows 98 o Windows NT NTSF Ratón de tres botones CD - ROM
Dispositivos gráficos	Adaptador de red Ethernet, protocolos Microsoft TCP/IP MS Win 32 GDI Graphics 1024 256 colores 4 Mb WRAM

Con base en la información anterior se concluye que el acceso a este tipo de tecnología esta cada vez más cerca de mucha más gente debido a que los costos de adquisición ya no son tan inalcanzables y sobre todo que son de fácil manejo y aprendizaje.

Ventajas y desventajas de los programas de simulación:

Ventajas	Desventajas
Accesibles	Errores por ignorancia
Contienen bases de datos	
Manejo fácil	

Tabla 2.11 Ventajas y desventajas de los programas de simulación

2.4.1 PART ADVISER (MOLDFLOW)

En México desde hace aproximadamente una década, se han aplicado los sistemas de simulación de flujo en plásticos de ingeniería, principalmente por los fabricantes de materias primas debido al alto costo de este tipo de sistemas y a la preparación técnica que se requiere del personal. Actualmente, los fabricantes de electrodomésticos cuentan ya con este tipo de sistemas, debido al desarrollo de programas de menor costo y a que se integran a los sistemas de CAD y CAM con los que actualmente cuentan.

Los programas de simulación que existen para el proceso de moldeo por inyección se pueden dividir en dos grupos generales; los programas que permiten hacer análisis simples y rápidos y los sistemas más complejos, que llevan a soluciones en tres dimensiones. Asimismo, ya se cuenta con sistemas de control de procesos de producción que operan con base en los programas de simulación.

Dentro de los programas de simulación rápida encontramos la generación más novedosa de herramientas de simulación, incluyendo los productos Part Adviser de la compañía Moldflow Corporation; FaMold y MCO de Plastics & Computer; MiniFlow de The Madison Group y Quickflow de RJG Associates. En este tipo de sistemas, se toma el modelo 3D y se define el punto o los puntos de inyección, se selecciona el material y se realiza la corrida de análisis.

Los sistemas complejos los podemos dividir en sistemas de dos y media dimensiones, 2½D, y sistemas de tres dimensiones, 3D. Los sistemas de 2½D, fueron los primeros en desarrollarse siendo que al paso del tiempo se han empleado más para realizar la simulación del proceso de inyección. En estos sistemas se hace uso de un

plano medio de la pieza y se considera que los planos superiores e inferiores de la cavidad del molde son las únicas fuentes de generación de esfuerzos cortantes y de calor.

Los sistemas de 3D, aparecieron en 1998 y se considera su uso sólo cuando existen grandes espesores en la pieza, no cuentan con un plano medio visible y no pueden ser representados de una manera exacta por la mayoría de los programas de simulación de 2½D.

2.4.2 INTRODUCCIÓN AL PROGRAMA DE SIMULACIÓN PART ADVISER

El propósito inmediato del simulador Part Adviser es permitir que el diseñador realice evaluaciones de desempeño del proceso sin la necesidad de un prototipo o un molde para obtener las primeras muestras del producto. El simulador puede ser capaz de entregar modelos de tres dimensiones del producto que se quiere fabricar, bajo unas condiciones de fabricación que se acercan mucho a las reales. Así, por ejemplo el programa debe de conocer de antemano la clase y propiedades del material que se propone como materia prima para realizar la fabricación real. El programa, además, debe conocer la forma del molde con que se desea realizar el proyecto de fabricación. La localización de los puntos de inyección de la pieza siendo que Part Adviser automáticamente los dará.

El programa de simulación puede realizar un análisis de diferentes propiedades y características mediante resultados rápidos tales como:

- ♦ El Índice de Confianza de Llenado se calcula de los resultados de temperatura y presión. Las temperaturas se definen utilizando la temperatura de no flujo del polímero (T_1) y la temperatura en el punto de inyección (T_4). Esta diferencia se divide en 5 partes iguales. Esto quiere decir que (T_2) es 20% más alto que (T_1) y (T_3) es 20% más que (T_2) y así sucesivamente, figura 2.5.

Por lo tanto un alto confidente de llenado ocurre cuando la presión es menos del 80%, y además de la temperatura esta entre (T_3) y la temperatura de inyección (T_4).

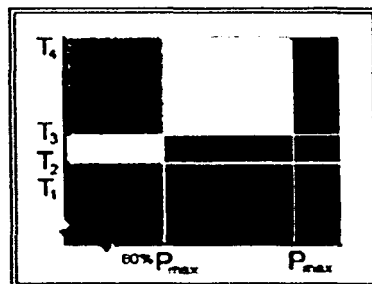


Figura 2.5 Gráfica T vs. P, la cual el confidente de llenado, toma como referencia para dar una respuesta.

- ◆ La Temperatura de Flujo Frontal es un factor para determinar la confianza de llenado así como saber la calidad de llenado. En áreas donde la temperatura de flujo es demasiado alta (fuera de la temperatura recomendada en especificaciones del material), puede ocurrir que el material se degrade así como tener defectos en el material. Si la temperatura de flujo es baja en áreas delgadas de la pieza, el efecto de duda (ver capítulo 3) puede presentarse por este factor así como no llenarse por completo en alguna de sus zonas. Además si es muy baja en una área donde las líneas de unión se presentan, éstas hacen que la pieza sea estructuralmente muy débil en esa zona.

- ◆ Las Líneas de Unión son lugares donde dos flujos frontales convergen. La presencia de estas líneas de unión puede ocasionar problemas estructurales y ser visualmente inaceptable, como se vera en el capítulo 3. Una buena línea de unión ocurre cuando la temperatura del fundido no esta por debajo a 20 °C de la temperatura de inyección. Como las líneas de unión siempre van a existir en una pieza es recomendable que estas líneas se localicen donde no se encuentren los mayores esfuerzos de la pieza o donde se quiera que la pieza tenga apariencia estructural buena.

- ◆ El Aire Atrapado es un defecto, el cual es muy usual que ocurra como se comentará en el punto 3.3.7.

- ◆ Con la Caída de Presión se pueden visualizar las áreas dentro de la pieza las cuales tendrán problemas de ser llenadas con plástico. Esto es por que la caída de presión en cualquier punto de la pieza es mayor al 80% de la presión máxima de inyección, y la temperatura del fundido es demasiada baja. La caída de presión es un factor utilizado para determinar el confidente de llenado.

- ◆ La Predicción de la Calidad es un resultado que se encuentra en Part Adviser que sirve para determinar la calidad de la pieza mediante una combinación de las siguientes cinco propiedades:
 - temperatura del flujo frontal
 - caída de presión
 - tiempo de enfriamiento
 - velocidad de corte
 - esfuerzo cortante

Para cada área de la pieza, los cinco resultados son evaluados. Si los cinco resultados en una zona son aceptables, el área en la representación de la pieza será de color verde. Si hay al menos un resultado inaceptable será amarillo y si hay al menos dos, el color de la zona será roja.

- ◆ El Tiempo de Llenado sirve para conocer cuantas piezas se pueden realizar en un cierto tiempo y conocer si se tendrán problemas con el llenado de la pieza.

2.4.3 SECUENCIA DEL ANÁLISIS CON PART ADVISER

Para tener un análisis más con fiable Part Adviser recomienda la siguiente secuencia:

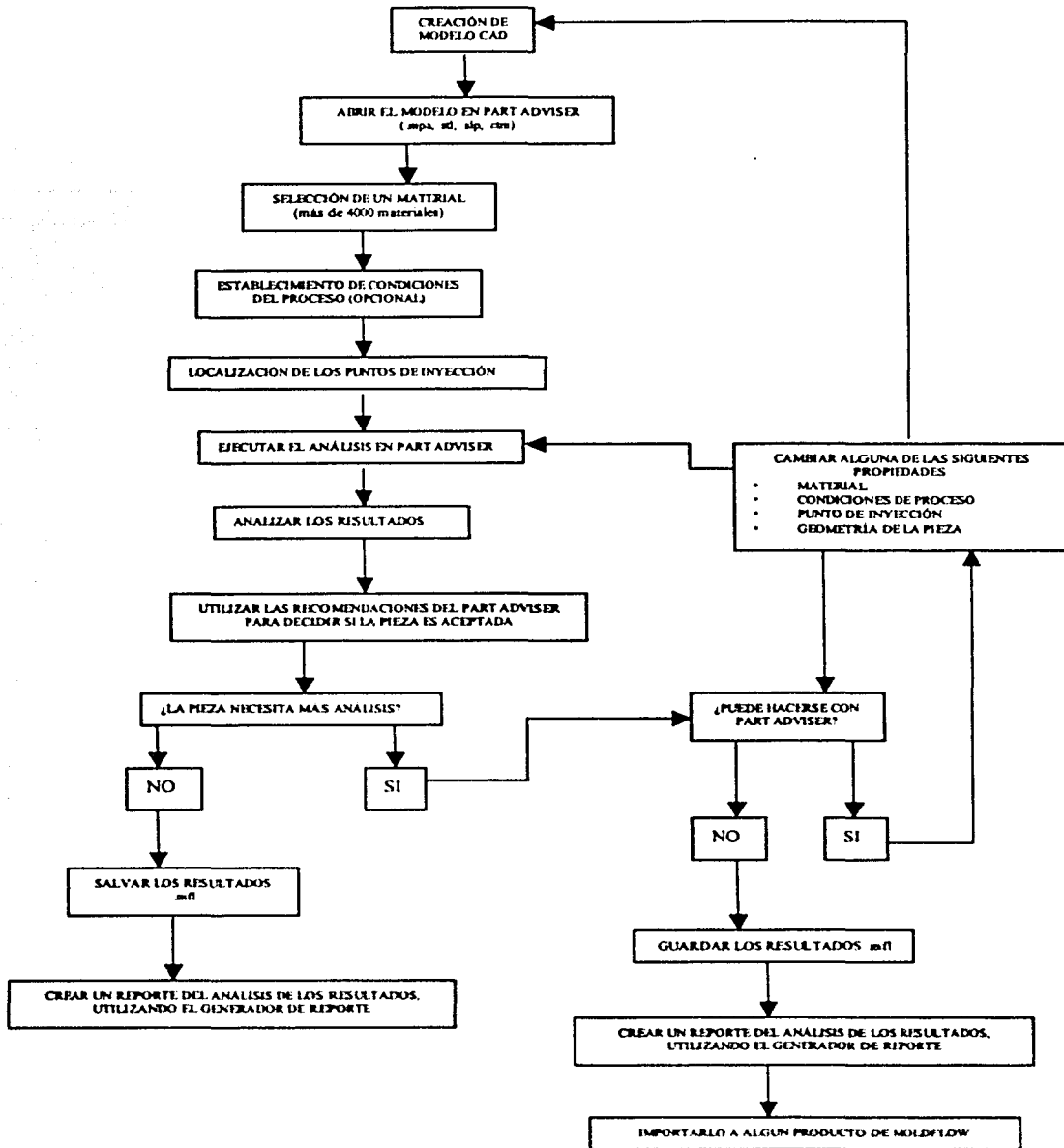


Diagrama de flujo para el análisis de una pieza plástica con Part Adviser

2.4.4 FUNCIONAMIENTO DEL PROGRAMA PART ADVISER

Part Adviser de Moldflow define y afronta los problemas típicos del proceso desde el principio, para esto el manejo del programa es sencillo y cualquier persona ajena al tema podría manejar éste. A continuación se describen los pasos que cualquier persona tiene que realizar para tener los resultados confiables en menos de 30 minutos.

A partir del modelo geométrico del componente diseñado se recomienda seguir los siguientes pasos con Part Adviser:



1) Con este icono se abre la ventana de diálogo la cual permite seleccionar uno de los análisis disponibles por Part Adviser. Esta ventana indica cual de los análisis no puede ser corrido y por que.



2) El primer análisis que permite seleccionar, es la localización del mejor punto de inyección la cual lo indica con manchas de color azul en la misma pieza.



3) La ubicación de "inyección del polímero" define el punto de inyección desde el cual el plástico fundido se inyecta hacia la cavidad. Este punto se colocará en las zona(s) donde las manchas azules fueron más notorias.



4) Se abre el icono de los "parámetros de moldeo" donde se selecciona la clase de polímero entre más de 4000 polímeros y las condiciones del proceso con las cuales se va a inyectar el material.



5) Con el icono del "análisis del flujo plástico" se empieza a visualizar como el fundido empieza a recorrer la pieza centímetro a centímetro.



6) Se abre la ventana de los diálogos vista en el icono del paso "1", para abrir el icono de "análisis del moldeo de ventana" el cual da información valiosa que sirve para saber cuales son las condiciones óptimas para el llenado de la pieza, en la figura 2.6 se muestra la pantalla que aparece después de abrir esta ventana.

El punto "6" sirve para saber cuales son las condiciones óptimas para inyectar la pieza elegida. La gráfica muestra en su eje X el tiempo de llenado y en el eje Y la temperatura del molde, también la intersección de las dos líneas indica el punto óptimo de llenado. En este punto se van a tener las mejores condiciones de llenado sin tantos problemas.

Como se puede ver, estos serian los seis puntos a seguir para realizar un análisis básico en el cual únicamente faltaría analizar las seis gráficas de resultados que se explicaron en la sección 2.4.2.

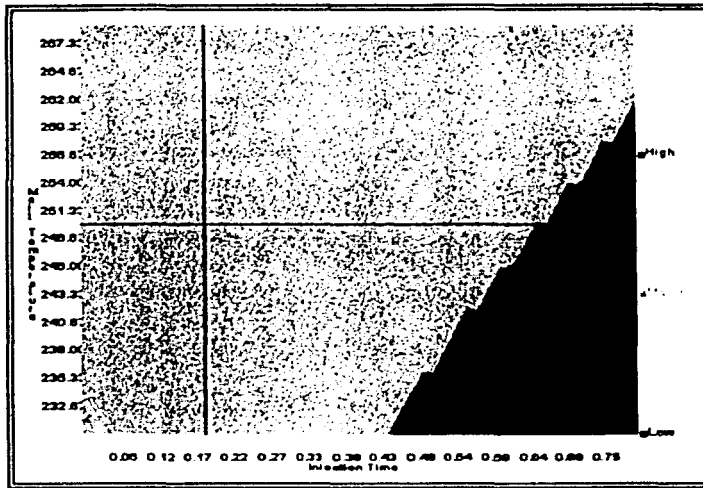


Figura 2.6 La intersección entre las dos líneas es donde se encuentra las condiciones óptimas de inyección

2.4.5 VALIDACIÓN DEL USO DEL SOFTWARE PART ADVISER

Part Adviser trabaja mejor cuando la geometría de la pieza está compuesta de paredes delgadas y de superficies planas.

Se debe evitar modelos tales como: conos sólidos, cilindros sólidos, y piezas con formas extrañas o demasiadas curvas. Sin embargo, no se necesita modificar el modelo que contenga tales características, ya que éstos no son muy comunes dentro del diseño de piezas. Por ello, no se recomienda simular dichos modelos ya que los resultados no serán tan exactos como en el caso cuando los modelos son de superficies planas. El programa Part Adviser obtiene resultados exactos dependiendo, si las paredes de la cavidad son delgadas, el tamaño de la pieza así como la forma del modelo, figura 2.8. Los siguientes tres puntos son la regla de validación para obtener resultados satisfactorios de acuerdo a las instrucciones de Part Adviser:

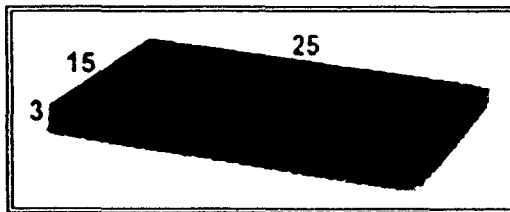


Figura 2.7 Con Part Adviser se puede obtener resultados confiables cuando las características del modelo son como este.

1. Se tiene que considerar el promedio del largo y ancho de una región de la pieza, figura 2.7.

$$\text{Promedio de } 15 \text{ y } 25 = 20$$

2. Se tiene que asegurar que el resultado anterior por un cuarto, sea menor al espesor (misma región), si esto se cumple, la validación del software está realizada y con esto se asegura una menor incertidumbre en los resultados obtenidos.

$$20 \times \frac{1}{4} = 5$$

$$\text{Espesor } 3 < 5$$

3. Para todas las piezas que se requieran simular es muy importante aplicar los dos pasos anteriores para cada pared con el propósito de tener la certeza de que los resultados sean viables. Sin embargo, es frecuente observar la pieza completa y decidir si la pieza es confiable para analizarla a través del simulador Part Adviser o no.

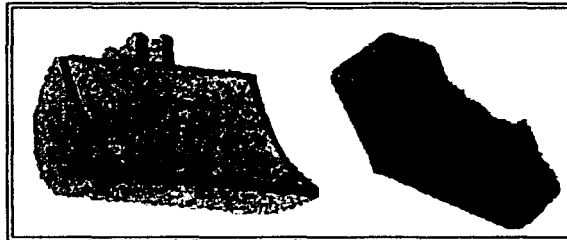


Figura 2.8 Los resultados de la pieza de la derecha no serían tan exactos como la pieza de la izquierda por lo ancho de sus paredes.

2.4.6 VENTAJAS Y DESVENTAJAS

Las ventajas de Part Adviser son de acuerdo a lo que ofrece este sistema en comparación con otros de las mismas características. A continuación se describen ventajas y desventajas:

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Precio en comparación con diferentes sistemas	En muchas ocasiones el simulador coloca puntos de inyección óptimos en áreas donde no es manufacturablemente posible colocarlos.
Al trabajar directamente a partir de modelos sólidos 3D generados en el paquete de CAD se elimina la necesidad de las complicadas traducciones de datos, mallado, generación de plano medio, arreglos geométricos finales del modelo.	No se puede colocar la colada de las piezas lo cual no se tiene el tiempo real de las piezas que se están inyectando.
Los conceptos del diseño se pueden comprobar rápidamente y modificarse en las etapas iniciales del diseño cuando el costo de cualquier cambio en el diseño es mínimo.	Los resultados no son confiables cuando las piezas son muy complejas (piezas cónicas, cilíndricas, etc.) o cuando carecen de paredes delgadas y de superficies planas.
La interfase con el usuario de Part Adviser es muy amigable lo cual facilita su uso y aprendizaje, no requiere un especialista en plásticos ni conocimientos previos.	El análisis de los resultados deben ser interpretados por un especialista en plásticos para obtener un mayor provecho de estos.
El sistema selecciona automáticamente las mejores zonas para colocar el punto de inyección.	

Tabla 2.12 Ventajas y desventajas de los programas de simulación

2.5 CICLO DE VIDA DE COMPONENTES DE PLÁSTICO EN LOS ENSERES MAYORES

En el diseño o rediseño de un electrodoméstico, los plásticos de ingeniería y de especialidades han ganado un gran terreno debido a su bajo peso, bajo costo y buenas propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas dentro de los rangos de aplicación de los diferentes aparatos electrodomésticos.

Los plásticos de ingeniería y de especialidades son aquellos que presentan un alto desempeño funcional con un excelente conjunto de propiedades como resistencia mecánica, térmica y eléctrica². Los plásticos de ingeniería y especialidades incluyen materiales tales como: poliamidas, poliacetales, policarbonato, poliéster termoplástico, polisulfuro de fenileno, materiales con fibras largas entre otros. Asimismo, el moldeo por inyección es una de las técnicas de procesamiento más empleadas para transformar los materiales plásticos y obtener piezas de formas muy complejas, de alta precisión y de bajo costo. Para obtener las ventajas anteriores, se requiere el uso de mejores técnicas y métodos de diseño, así como un buen control del proceso de fabricación para poder obtener los beneficios esperados.

El ciclo de vida de un componente de plástico inyectado es un subsistema del ciclo de vida de un electrodoméstico, en el cual diferentes elementos interactúan de una manera dinámica. Este ciclo de vida se muestra en la figura 2.9, así como las técnicas de diseño que se pueden aplicar en cada etapa.

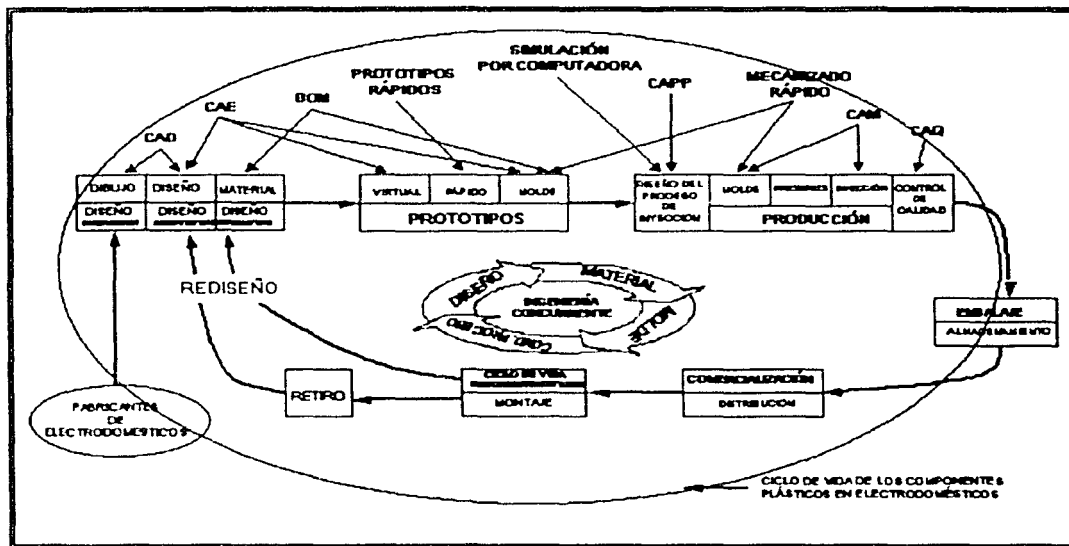


Figura 2.9 Ciclo de vida de un componente de plástico en los enseres mayores³

El desarrollo de componentes de plásticos fabricados por el proceso de inyección en un entorno de Ingeniería Concurrente, se lleva a cabo en tres etapas:

- Etapa de Diseño.
- Etapa de Prototipos.
- Etapa de Producción.

Cada etapa debe contemplar diseño, selección de materiales, moldes y condiciones de procesamiento, lo que significa que las decisiones en cada una de las etapas son tomadas en forma paralela. El desarrollo de los componentes se realiza a través de un grupo interdisciplinario, como un equipo de expertos o como un equipo de empresas, tales como los fabricantes de los electrodomésticos, proveedores de plásticos, fabricantes de moldes y fabricantes de los componentes, en el cual cada uno de ellos puede y debe contribuir en el desarrollo del producto. Ante esta situación se puede decir que la competencia el día de hoy no es entre compañías, sino más bien entre cadenas de suministro.

² IMPI, Enciclopedia del plástico, Tomo I, 2000

³ Ver referencia 1.7 Salvador Capuz

ETAPA DE DISEÑO

La Etapa de Diseño contempla: geometría, condiciones de operación y funcionalidad, materiales, problemas técnicos de manufactura y costos. La fase de diseño se jerarquiza en tres niveles de originalidad:

- Diseño de Innovación
- Diseño Adaptativo
- Diseño Evolutivo

El Diseño de Innovación es aquel que aborda el problema de diseño mediante un nuevo “principio de solución” para un componente, en el cual se enfoca su diseño completamente a la aplicación de un material plástico. Este tipo de diseño se presenta cada vez más en los nuevos modelos de electrodomésticos debido a la gran competencia en el mercado.

El Diseño Adaptativo es aquel en el que se mantienen los “principios de solución” conocidos y establecidos para los componentes. En la Industria Nacional se aplica este tipo de diseño en la Substitución de Metales por Plásticos y en la Ingeniería Inversa. Este tipo de diseño ha sido hasta el día de hoy, uno de los más aplicados.

El Diseño Evolutivo, es una ligera modificación del componente para lograr el máximo desempeño, funcionalidad y reducción de costo. Este tipo de diseño se ejemplifica en la substitución de plásticos sobre-especificados, modificación de espesores y/o condiciones de inyección.

Estos dos últimos tipos de diseño realmente se consideran como rediseños⁴.

La selección y especificación de materiales plásticos se basa en el uso de bases de datos de los diferentes fabricantes de materias primas, actualmente disponibles en Internet. Las bases de datos, las podemos dividir en bases de datos generales y reológicas, estas últimas están disponibles principalmente, en programas de simulación de flujo.

Las Etapas de Diseño se apoyan fuertemente en las Técnicas de Diseño Asistido por Computadora CAD e Ingeniería Asistida por Computadora CAE, esta última, recientemente se ha visto apoyada por sistemas de diseño especializado proporcionada por los fabricantes de componentes y de materias primas, por ejemplo: está disponible en Internet un sistema de diseño de engranes de plástico⁵.

ETAPA DE PROTOTIPOS

La Etapa de Prototipos contempla decisiones de manufactura de prototipos, análisis de flujo, pruebas en prototipos y rediseño. La validación del diseño de los componentes plásticos solo se puede realizar con prototipos y moldes prototipo que deben ser fabricados lo más parecido posible a los componentes de producción. Los moldes prototipo de una sola cavidad deben ser fabricados con acero, con los canales de enfriamiento de los moldes multi cavidades, los canales y puntos de inyección lo más cercano al molde de producción. Asimismo, las condiciones de inyección deben acercarse al ambiente del moldeo de producción, es decir, máquina de inyección, equipo periférico e instalaciones.

Los moldes prototipo, así como los de producción, requieren un buen diseño, materiales, procesos de manufactura y tratamientos térmicos. En cuanto al diseño del molde, éste lo podemos dividir en:

- Diseño Mecánico
- Diseño Térmico
- Diseño Reológico

⁴ Salvador Capuz Rizo, Introducción al Proyecto de Producción, Alfaomega, 2000.

⁵ <http://www.ufe.com>

El Diseño Mecánico busca el dimensionamiento y distribución de cavidades, asimismo, la selección del tipo de molde a utilizar. Esta actividad se apoya en los catálogos electrónicos de componentes estándar para porta moldes.

El Diseño Térmico tiene como objetivo alcanzar el enfriamiento rápido y uniforme de la masa fundida, mediante la distribución y dimensionamiento de los canales de enfriamiento.

El Diseño Reológico consiste en el estudio del comportamiento del flujo de material plástico en las fases de llenado y empacamiento de la cavidad con el fin de obtener las dimensiones para los canales de distribución y con esto la forma de estos.

El diseño del molde en general se ve fuertemente apoyado por sistemas de Ingeniería y Manufactura Asistidos por Computadora, CAE y CAM respectivamente, destacando recientemente en este sector industrial el uso del programa Part Adviser de la compañía Moldflow, por su costo y facilidad de uso, asimismo, las Bases de Datos de Materiales BDM, propias del programa.

ETAPA DE PRODUCCIÓN

La Etapa de Producción contempla: diseño de herramental, fabricación y evaluación; análisis de flujo, selección y evaluación del equipo; pruebas y análisis de costos. Aunque la productividad guarda una importancia relevante en esta etapa, los conocimientos del diseño de ingeniería y del material, son requeridos. En esta fase, el diseño del proceso de moldeo por inyección requiere de una evaluación para poder determinar si la inyección se realizará de la forma convencional o se requieren sistemas especiales de inyección, tales como:

- Sistemas Multicomponentes.
- Inyección Asistida con Gas.
- Sistemas de Núcleo Perdido.
- Micro moldeo.

Para efecto de esta etapa, habrá de realizarse el diseño de detalle del herramental requerido, dado que éste afecta sensiblemente la manufactura de la pieza. En esta fase, el molde de inyección debe ser definido conforme a los requerimientos de producción, determinándose: el tamaño del molde, el tipo, el número de cavidades, etc. Cabe destacar que el molde de producción se debe desarrollar con base al conocimiento obtenido del molde prototipo y con mínimas variaciones respecto a este último.

Los diferentes tipos de moldes que se tienen son ¹:

- Moldes Estándar de Dos Placas.
- Moldes de Tres Placas.
- Con sistema de Desenrosque.
- Moldes con Elementos Deslizantes.
- Moldes Combinados.
- Moldes Stack o Varios Niveles.
- Moldes con Sistema de Colada Caliente.

Las condiciones de procesamiento de la pieza se depuran de las obtenidas en el molde prototipo y del análisis de flujo.

El análisis de flujo es una importante herramienta en el diseño de moldes de inyección de plástico y para el establecimiento de condiciones iniciales de procesamiento, principalmente cuando se trata de piezas complejas. Sin embargo, el establecimiento de condiciones finales de inyección se debe realizar con base a un Diseño De Experimentos DOE para determinar las condiciones críticas de acuerdo al componente y a su función. Esta área es todavía incipiente entre muchos de los fabricantes de componentes.

Debido a que muchos de los componentes plásticos en los electrodomésticos son considerados como partes de precisión, el control de calidad debe de ser muy riguroso para alcanzar las tolerancias establecidas.

ETAPA DE EMBALAJE

La etapa de embalaje considera aspectos relacionados con el ambiente en el cual serán almacenados dichos productos para no afectar las dimensiones de los componentes debido a relajación de esfuerzos y cambios dimensionales causados por temperaturas extremas, humedad y post contracción de los materiales plásticos.

ETAPA DE COMERCIALIZACIÓN

Regularmente esta etapa esta establecida con base a los programas de producción de los fabricantes de electrodomésticos y se trabaja bajo pedidos semanales o mensuales.

El ciclo de vida de los componentes termina cuando se ensamblan estas partes en el producto final y se continúa el ciclo de vida de los electrodomésticos.

2.6 INTERCAMBIO DE DATOS ENTRE SISTEMAS CAD/CAM/CAE

La misma existencia de los sistemas CAD/CAM/CAE conlleva la necesidad de intercambiar información entre las diferentes aplicaciones utilizadas por los diferentes usuarios involucrados en el desarrollo de un producto, ya sea un diseñador, un técnico de producción, un cliente, un proveedor, etc.

La situación ideal sería aquella en que el usuario sólo tuviera que definir una vez la geometría y los datos asociados al producto. Dichos datos podrían ser intercambiados y compartidos por todas las aplicaciones involucradas en el proceso de diseño.

Sin embargo, en la práctica, las mismas herramientas informáticas creadas para incrementar la productividad de los ingenieros pueden llegar a convertir los distintos departamentos en islas de automatización, cada uno de ellos con sus propios sistemas diferentes, e incompatibles con los del resto. Estos constituye un obstáculo para la plena integración de las funciones de la empresa, es decir, para la ingeniería concurrente.

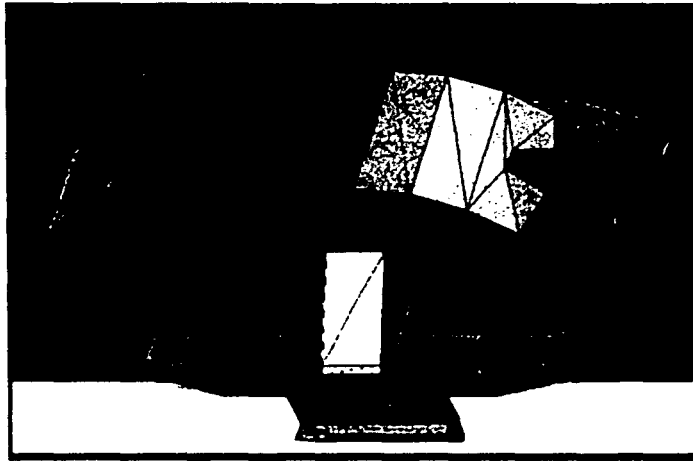
Para nuestro caso, para pasar del sistema de modelado (Pro - Engineering) al sistema de análisis (Part Adviser) se utiliza un tipo de archivo STL. Este formato es un tipo de archivo de intercambio estandarizado para representaciones CAD (*Computer Aided Design*) entre diferentes plataformas.

A grandes rasgos este tipo de archivo realiza la traducción del sólido a texto en lenguaje ASCII o binario, mediante una lista de puntos que representan una malla formada por triángulos, los cuales deben cumplir con ciertas restricciones. Entre las desventajas que presenta este tipo de formato es que no maneja unidades y algunos sistemas únicamente admiten un sólido por archivo.

A continuación se presentan las condiciones que debe cumplir el archivo STL para poder ser aceptado por el sistema de análisis de Part Adviser:

- Un solo sólido por cada archivo STL.
- La malla de triángulos debe estar definida en sentido de las manecillas del reloj, con su vector normal apuntando hacia fuera.
- Los vectores normales deben de estar alineados.
- Los triángulos contiguos deben de compartir el mismo nodo.
- No deben existir triángulos sobre puestos o nodos libres.
- Se recomienda que el archivo no contenga más de 100,000 triángulos por parte.
- Relación recomendada para la base y la altura de los triángulos de 6:1

En la figura 2.10 se muestra el resultado de la traducción a triángulos del modelo, bajo un formato de archivo STL.



**Figura 2.10 Traducción de la geometría en triángulos
Archivo STL.**

En el siguiente capítulo se revisa el comportamiento del plástico en la cavidad del molde involucrando las fases del llenado, las variables implicadas en el proceso de inyección así como la relación que existe entre el producto final con las condiciones de procesamiento.

CAPÍTULO 3

COMPORTAMIENTO DEL PLÁSTICO EN LA CAVIDAD

En este capítulo se presentan los conceptos básicos de los principales fenómenos que ocurren durante el proceso de inyección, es por ello que el conocimiento de éstos permite entender el comportamiento de los plásticos dentro de la cavidad.

Las propiedades de la pieza dependen básicamente de como se lleve a cabo la inyección, por ejemplo; dos piezas que se moldean con dimensiones idénticas, mismo material pero inyectadas bajo diferentes condiciones serán piezas con esfuerzos y niveles de encogimiento diferentes. Esto quiere decir que se comportarán de manera diferente bajo las mismas condiciones de trabajo. La manera en la que el plástico fluye dentro del molde es de gran importancia para la determinación de la calidad de la pieza. La calidad de un análisis de llenado dependerá de la capacidad para predecir o determinar la presión, la temperatura y los esfuerzos en cada punto de la pieza.

3.1. FASES DE LLENADO DE LA CAVIDAD

El proceso de llenado de cualquier molde se puede dividir en dos fases:

1. Fase de llenado.
2. Fase de empaquetamiento.

3.1.1. FASE DE LLENADO

Cuando el material pasa a través de la boquilla hacia el sistema de canales de alimentación se inicia el llenado del molde (fase de llenado). La capa de plástico adyacente a las paredes del molde se enfrían muy rápido, mientras el centro de la pieza permanece fundido. En la parte central de la pieza, el plástico va desplazando el material que ya se encuentra en ese lugar y empujando al mismo a las paredes del molde para formar nuevas capas. El material desplazado es una combinación de flujo que va entrando (caliente) y flujo que esta en el exterior (frío). La masa fundida que esta en el extremo de la cavidad al ponerse en contacto con la pared y siendo que la pared tiene diferente temperatura que la masa fundida se enfría y se endurece para formar nuevas capas, mientras que el flujo que apenas entra, forma un nuevo corazón fundido, figura 3.1.

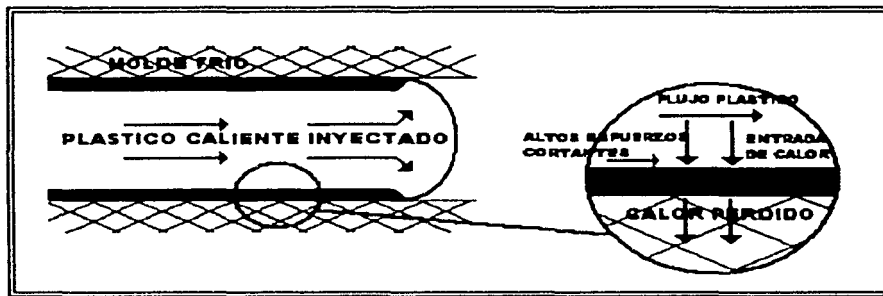


Figura 3.1 Este modelo de flujo es frecuentemente llamado "efecto fuente" o "flujo burbuja", por que el flujo frontal es como una burbuja que empieza a inflarse con plástico fundido desde el centro hacia las orillas.

La capa endurecida cercana a las paredes del molde se formó por las burbujas infladas, las cuales se someten a bajos esfuerzos cortantes y a un alto nivel de orientación molecular. Una vez que se endurece el plástico ya no podrá ser orientado, así la pieza terminada tendrá un bajo nivel de orientación.

El plástico fundido entra en la cavidad durante el tiempo establecido para el llenado, llevando nuevo material caliente a lo largo de la pieza, y generando una importante contracción térmica. Al mismo tiempo, el calor se pierde a través de la capa endurecida que se ha formado en la superficie del molde. Inicialmente, la capa sólida es muy delgada por lo que el calor se pierde rápidamente. Mientras más plástico se solidifica, esta capa crece hasta que termina la transferencia de calor. Después de un tiempo, la capa sólida llegará a ser de un espesor tal que el calor perdido por conducción, sea igual al calor que entró, por lo que, la condición de equilibrio se ha consolidado.

3.1.2. FASE DE EMPAQUETAMIENTO

Posteriormente, a medida que la cavidad se llena la presión aumenta hasta un máximo; en este momento se inicia el tiempo de sostenimiento (tiempo en que actúa la presión de sostenimiento) a esta fase se le llama "fase de empaquetamiento", en la cual más material es forzado dentro de la cavidad para compensar las contracciones térmicas de la pieza. Esta cantidad extra de material es pequeña comparada con la que entra inicialmente. Una vez que la cavidad está llena, el tiempo de presión remanente sólo sirve para establecer tensiones en la zona de entrada. El tiempo de empaquetamiento termina cuando empieza el retroceso del

pistón, si la entrada no ha solidificado, ocurre un retroceso de material fundido hacia los canales de alimentación. En cuanto el material en la entrada solidifica, se detiene este flujo de retroceso y el material continúa enfriándose y contrayéndose dentro del molde, esto permite la disminución de la presión dentro de la cavidad. Al cesar la presión, el molde se abre y expulsa la pieza. En la figura 3.2 se puede visualizar las fases de la inyección ya comentadas.

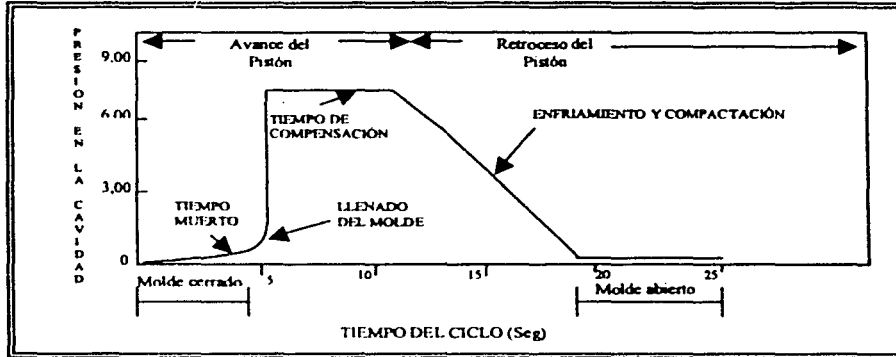


Figura 3.2 Representación del ciclo de inyección respecto a la presión en la cavidad del molde.

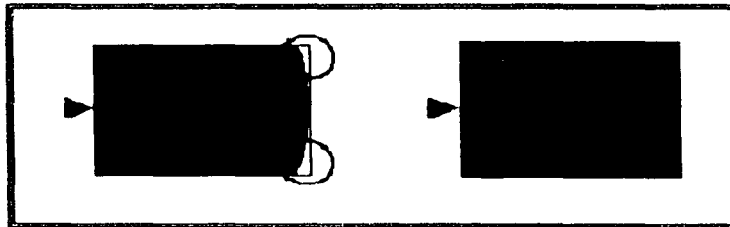


Figura 3.3 En la fase de llenado la pieza no se llena por completo (figura izquierda), mientras que la fase de compensación por la pequeña presión suministrada, la pieza es completamente llenada (figura derecha).

3.2. VARIABLES DEL PROCESO DE INYECCIÓN

En una operación tan compleja como el moldeo por inyección, los resultados se ven influenciados por toda una serie de variables, las cuáles a la vez pueden interactuar; por lo tanto, es difícil predecir con exactitud los resultados a obtener.

Las condiciones del proceso de inyección se dividen en dos; las condiciones de la máquina y las condiciones del proceso o variables del proceso, estas dos condiciones determinan las propiedades de la pieza. Es importante señalar que se hace una distinción entre las condiciones de la máquina y las variables de moldeo.

Cuando se habla de las condiciones de la máquina nos referimos a:

1. Temperaturas del cilindro
2. RPM's del tornillo.
3. Velocidad de inyección.
4. Ausencia o presencia de cojin o colchón.
5. Presión durante la inyección y el sostenimiento.
6. Tiempos de inyección y de sostenimiento.
7. Control de temperatura en el molde.

Por otra parte, las variables del proceso son parámetros más específicos y están relacionados con las condiciones de la máquina, pero algunas veces de manera no obvia. Por ejemplo:

1. Temperatura del material fundido.
2. Temperatura del molde.
3. Tiempo de llenado.
4. Presión en la cavidad.

Son las variables del proceso, adecuadamente definidas y medidas, y no las condiciones de la máquina (operación), las que pueden ser correlacionadas con las propiedades de la pieza. Por ejemplo, si se aumentan las temperaturas del barril, la temperatura del fundido no necesariamente va a aumentar en la misma proporción. Ya que, la temperatura del fundido se ve influenciada también por el diseño del tornillo, las rpm's, la presión de sostenimiento y los tiempos de residencia. Es más seguro la temperatura del fundido y correlacionarla a su vez con propiedades, que tratar de correlacionar éstas con las condiciones fijadas en la máquina.

3.2.1. TEMPERATURA DEL MATERIAL FUNDIDO

Las temperaturas establecidas en el barril repercuten directamente en la temperatura del material fundido pero es posible obtener valores muy diferentes dependiendo del diseño del husillo, duración del disparo y duración del ciclo. El perfil correcto de temperaturas del barril se determina en función de la temperatura del material fundido por lo cual durante el arranque de producción es necesario medirla y efectuar las correcciones necesarias para obtener el valor deseado.

Es importante considerar las variaciones en la temperatura de la masa fundida, ya que influyen en la viscosidad, densidad, degradación térmica, cristalinidad, esfuerzos, orientación de moléculas y peso de la pieza así como el comportamiento mecánico y físico de la pieza terminada.

El peso de la pieza está directamente relacionado con la temperatura del material fundido, a mayor temperatura el peso es menor, debido a la reducción real en la presión de inyección durante el llenado de la pieza, figura 3.4.

El incremento en la temperatura de la masa fundida ayuda a una mejor fluidez del material y transmisión de presión, reduce el tiempo permitido de residencia en el barril, requiriendo mayor tiempo de enfriamiento, la densidad de la pieza y la presión de inyección son menores.

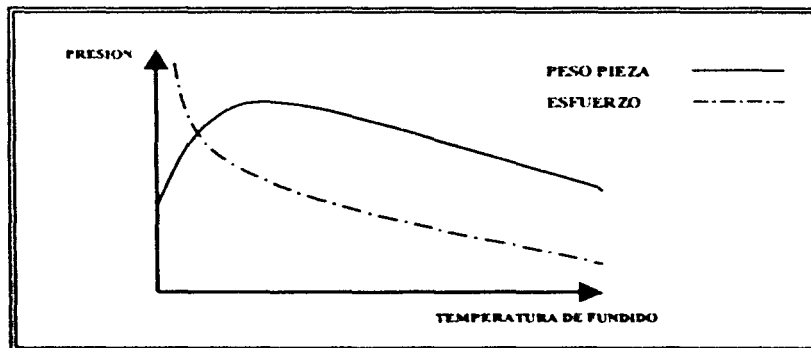


Figura 3.4 Relación que existe entre presión y temperatura de fundido.

3.2.2. TEMPERATURA DEL MOLDE

El comportamiento del plástico durante el proceso de inyección depende en gran medida de la temperatura del molde. Sin embargo, en ocasiones los malos resultados se atribuyen a otros factores.

La temperatura del molde tiene gran influencia sobre las propiedades de flujo del material en la cavidad y en el sistema de distribución. Las variaciones de temperatura pueden producir piezas con diferentes calidades y dimensiones.

El desmoldeo de piezas inyectadas no sólo depende del tiempo de solidificación sino de la rigidez necesaria para evitar deformaciones durante dicha etapa, figura 3.5. La relación entre rigidez de desmoldeo y temperatura del molde es afectada por fluctuaciones en la temperatura del medio enfriador. En ocasiones al no ser alcanzada la temperatura óptima de extracción, el producto puede llegar a ser perforado por los pernos expulsores o marcado de forma antiestética por el dispositivo expulsor.

Las propiedades como brillo pueden ser mejoradas a través de temperaturas mayores de la superficie del molde. Los defectos como líneas de unión o marcas de flujo se eliminan empleando apropiadamente este parámetro del proceso.

Los efectos en la pieza inyectada al incrementar la temperatura del molde son:

1. Mayor contracción en la pieza.
2. Menor contracción después del moldeo.
3. Compensación interna de tensiones.
4. Mejor fluidez del fundido.
5. Mayor brillo superficial en la pieza.
6. Menor tendencia a formar líneas de unión.
7. Ciclos más largos.
8. Mejor transmisión de presión en la cavidad.

En moldes con baja temperatura la pieza moldeada se enfría más rápido y puede obtener una mayor orientación de la estructura, elevadas tensiones y riesgo de un aspecto superficial antiestético.

Durante el diseño del molde, deben ser contemplados los aspectos dimensionales del material que será empleado. Si las dimensiones de una pieza inyectada no se obtienen durante el proceso, un cambio en la temperatura superficial del molde ofrece la posibilidad de hacerlo. Del mismo modo, las propiedades mecánicas de las piezas pueden verse afectadas cuando no existe un manejo adecuado de la temperatura del molde, aún cuando el material ha sido tratado de la manera más favorable durante otras fases del proceso.

En este punto resulta importante mencionar que la selección del equipo periférico (control de temperatura), representa un papel trascendente para lograr la calidad funcional, dimensional y estética de las piezas inyectadas.

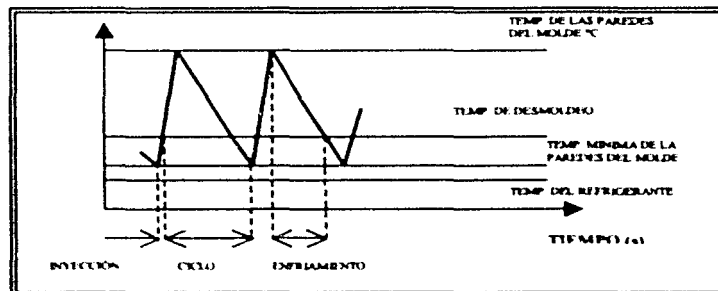


Figura 3.5 Variación de la temperatura del molde vs ciclo.

3.2.3. TIEMPO DE LLENADO

Para tiempos de llenado cortos las presiones son altas, simplemente por que el promedio de la velocidad de flujo es muy alto. Para tiempos de llenado largos se requiere de presiones altas por que la temperatura de la masa fundida va disminuyendo y con esto aumenta su viscosidad entorpeciendo el flujo del material. En algún lugar entre estos extremos se encuentra el tiempo óptimo de inyección, el cual proporciona una presión de llenado aceptable.

La figura 3.6 muestra el efecto de variar el tiempo de llenado con respecto a la presión. Con altas velocidades de inyección hay una alta velocidad de corte así como también la presión requerida es alta. Cuando la velocidad de inyección baja, existe una velocidad de corte igualmente baja, más calor se pierde, así la temperatura del plástico es menor, incrementado su viscosidad.

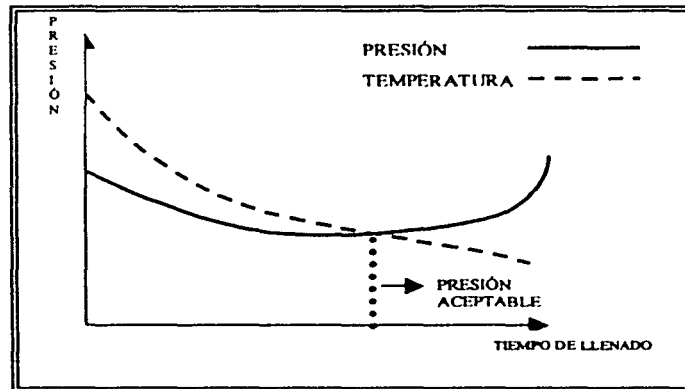


Figura 3.6 En la intersección presión-temperatura se encuentra tanto la presión y la temperatura aceptable.

3.2.4. PRESIÓN EN LA CAVIDAD

Una de las variables, que afectan directamente la calidad de la pieza moldeada, es la presión de inyección que esta directamente relacionada con la presión en la cavidad. Esta se define como la fuerza máxima que puede ejercer el tornillo sobre el material plástico, por unidad de área. Dicha presión es la que obliga al material fundido a introducirse en las cavidades del molde. La presión real que se aplica al material depende de la eficacia con la cual se transmita esta presión a través del volumen de material situado entre el tornillo y la boquilla, cuando esta presión se transmite casi sin pérdidas se dice que nuestra presión en la cavidad va ser optima.

Debido a que normalmente se presentan pérdidas substanciales de presión en la resina durante su trayecto desde la punta de la boquilla de la máquina hasta la cavidad del molde, es preferible tomar en cuenta la presión en cada punto de la cavidad, lo cual facilita un control más preciso de las medidas y peso de la pieza.

Una insuficiente presión de inyección y por consecuencia en la cavidad puede ocasionar algunos de los siguientes efectos:

1. Rechupes y huecos debido a mala compactación.
2. Un encogimiento mayor de lo esperado por falta de compactación.
3. Dimensiones menores a las esperadas por el excesivo encogimiento.
4. Orientación deficiente debido al retroceso de flujo.

3.3. EFECTOS DEBIDO A LAS VARIABLES DE PROCESO

La falta de conocimiento en las variables y condiciones del proceso de inyección conduce comúnmente a errores que repercuten en la calidad de la pieza que si no son atendidos adecuadamente, dan lugar a la obtención de productos que no cuentan con las propiedades deseadas y por tanto tienen que ser rechazados, con la consecuente disminución en la producción. En la mayoría de los casos, la mala calidad del producto puede ser detectada a simple vista antes de someterlo a su aplicación final; sin embargo, puede ocurrir que debido a errores cometidos durante su procesamiento, la pieza falle durante su uso, aún cuando aparentemente, la pieza no presenta ningún defecto apreciable.

Basándose en esto, es de gran importancia conocer lo que sucede dentro de la cavidad. Los efectos que se presentan más comúnmente dentro de la cavidad en el moldeo por inyección de termoplásticos están relacionados con defectos de la pieza moldeada y son principalmente:

1. Encogimiento y alabeamiento.
2. Efecto de sobreempaquetamiento.
3. Efecto de pista.
4. Efecto de duda
5. Líneas de unión.
6. Líneas de fusión.
7. Aire atrapado.
8. Orientación.

A continuación se describen algunas de las causas que originan estos efectos, lo cual permite tener un mayor entendimiento de éstos para encontrar la solución más adecuada.

3.3.1. ENCOGIMIENTO Y ALABEAMIENTO

El mayor problema que existe con la producción de piezas por inyección es llegar a las dimensiones y forma del diseño original. Para predecir como una pieza se encogerá y alabeará, es importante primero entender el mecanismo de encogimiento del polímero. Un enfoque práctico analítico, el cual captura la información relevante de lo que esta causando su encogimiento, combinado con una exacta caracterización de los materiales que se encogen, relativo a las condiciones bajo las cuales se moldea, suministra un significado para finalmente predecir el efecto neto en la pieza. El encogimiento de los plásticos resulta de dos factores principalmente. El primero son contracciones térmicas; el segundo en un grado menor es la cristalización que puede ocurrir dentro de muchos tipos de polímeros. Cuando el polímero se calienta, la energía introducida debilita el enlace secundario o Van der Waals, o sea la fuerza de cohesión en las cadenas moleculares. El resultado es un incremento en el volumen específico de la masa del polímero así como la ruptura de enlaces de las moléculas. Durante el enfriamiento subsecuente, si fuerzas no externas se aplican, este se contrae (encoge) igualmente en todas las direcciones.

Existen muchas situaciones por las cuales una pieza puede alabear, a continuación se mencionan dos de las más importantes.

3.3.1.1. ORIENTACIÓN DIFERENCIAL

El material orientado se encoge más que un material no orientado, figura 3.7. En general, cualquier condición que tienda a reducir la orientación también tiende a reducir el alabeamiento. En ocasiones el alabeamiento se provoca por diferencias de densidad en la pieza. Por esta razón, es importante llenar el molde rápidamente, de modo que el material que entra en primer lugar en el molde, no disponga de más tiempo para transferir calor, que el material que entra al último.

Normalmente, durante la inyección de una pieza ocurre orientación; es decir, las cadenas del polímero se alinean en la dirección del flujo, cuando el flujo cesa estas cadenas tienden a regresar a su forma "ovillada" normal. La pieza moldeada, se reduce en longitud en esa misma dirección, mientras que la contracción en dirección perpendicular a la línea de flujo es mucho menor. Esta contracción diferencial es una de las causas de alabeamiento.

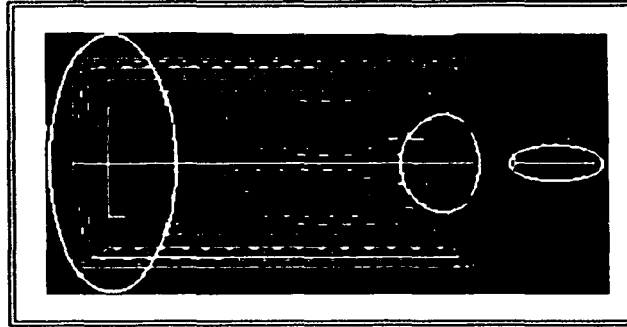


Figura 3.7 El material dentro de las elipses no se encuentra orientado lo cual provoca tener menos encogimiento que en las partes no encerradas por lo tanto esto hace que la pieza tenga alabeamiento.

3.3.1.2. ENFRIAMIENTO DIFERENCIAL

Se le llama enfriamiento diferencial cuando existe una diferencia considerable en el enfriamiento de las zonas de una pieza, en la figura 3.8 el enfriamiento en la parte central de la pieza es mayor que alrededor del borde por lo cual la pieza se alabea debido al enfriamiento diferencial. Esta variación en los tiempos de enfriamiento puede ser causa de contracciones térmicas o un diseño impropio de los canales de enfriamiento ya que se tiene más calor para ser extraído en el área del punto de inyección que en el borde; por lo tanto, los canales de enfriamiento deben ser diseñados para extraer más calor cerca del punto de inyección. En muchos casos se usan dobles sistemas de enfriamiento para un mejor control de la temperatura local.

El enfriamiento del centro y los extremos de la cavidad debe ser cuidadosamente planeado. Si el contorno de la pieza tiene una temperatura muy superior que en el centro, resulta un alabeamiento de la pieza hacia adentro.

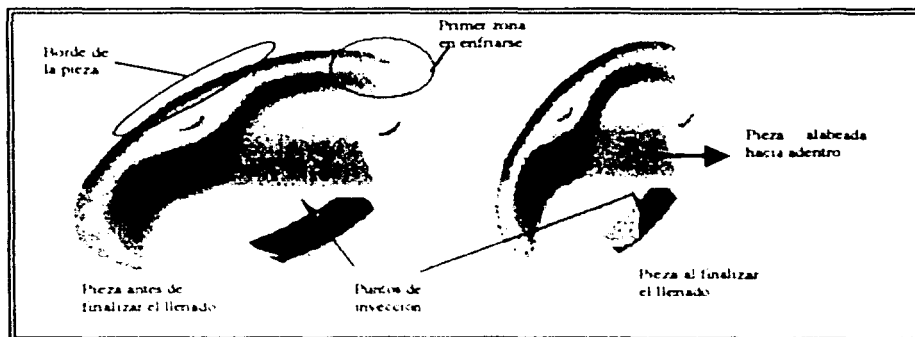


Figura 3.8 Los bordes no llenan al mismo tiempo (gris oscuro), por lo cual algunos se enfrían primero y se encogen más rápidamente (pieza izquierda), provocando un alabeamiento hacia adentro (pieza derecha).

Ahora se mencionan dos causas que provoca el encogimiento:

Disminución de la Temperatura del Molde: El encogimiento y alabeamiento aumentan en la medida en que el molde aumente su temperatura, ya que una temperatura alta del molde, tarda más el enfriamiento del material. Esto significa que le toma más tiempo a la pieza para endurecer.

Disminución del Espesor de la Pared: El encogimiento se incrementa cuando los espesores de las paredes aumentan. Cuando el espesor de la pared aumenta, toma más tiempo para que la sección enfríe y se solidifique.

3.3.2. EFECTO DE SOBREENPAQUETAMIENTO

El sobreempaquetamiento ocurre cuando el material fundido se comprime más en una trayectoria mientras que otras todavía no terminan de llenar, figura 3.9.

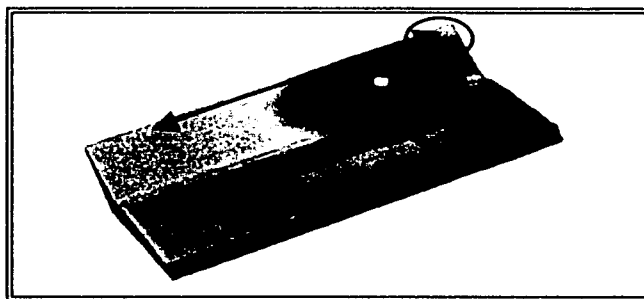


Figura 3.9 En el círculo existe sobreempaquetamiento.

El sobreempaquetamiento también ocurre cuando las trayectorias más fáciles se llenan primero (las más cortas o las más gruesas). Una vez que alguna de las trayectorias ha sido llenada estará bajo presión por el plástico fundido (ver círculo en la figura 3.9) que se inyecte para llenar las trayectorias restantes. Esta presión empuja más material en la trayectoria que ya fue llenada, ocasionándole tener una densidad más alta y a la vez un encogimiento en otras regiones. El sobreempaquetamiento de las trayectorias llenadas se enfría bajo presión, con lo cual existen esfuerzos residuales.

Cuando las trayectorias no están balanceadas el sobreempaquetamiento ocurre. El sobreempaquetamiento puede ocasionar una gama de efectos incluyendo alabeamiento, incremento en el peso y distribución de densidad no uniforme a lo largo de la pieza.

Los problemas ocasionados por el sobreempaquetamiento se pueden resolver de la siguiente manera:

1. Equilibrar las trayectorias de flujo.
2. Adelgazar o hacer más gruesas algunas de las partes de la pieza para que actúen como flujos líderes o deflectores.
3. Mover la ubicación del punto de inyección a una posición que defina trayectorias similares de flujo.
4. Usar una ubicación múltiple de inyección para cada sección o quitar puntos de inyección innecesarios.

3.3.3. EFECTO DE PISTA

El efecto de pista ocurre cuando existen vueltas muy drásticas en el flujo. El efecto de pista indica las trayectorias no balanceadas de flujo y pueden ocasionar frecuentemente líneas de unión innecesarias así como también aire atrapado. La figura 3.10 muestra una pieza con efecto de pista.

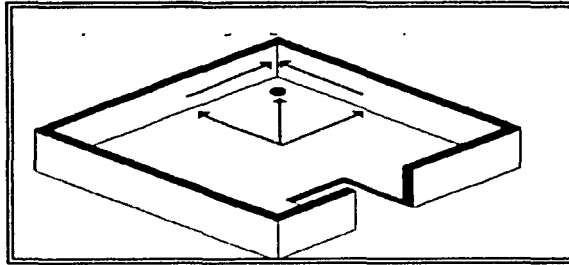


Figura 3.10 El punto que se encuentra en la pieza es aire atrapado debido al efecto de pista.

Una gran diferencia en el espesor de las paredes a lo largo de una pieza puede ocasionar problemas de efecto de pista, pero a veces es necesario desde un punto de vista de diseño. Este problema ocurre cuando no se balancean los flujos, si el plástico alcanza todas las partes de la pieza del borde al mismo tiempo, el efecto de pista no ocurrirá, figura 3.11.

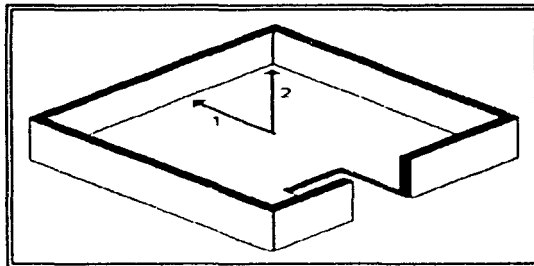


Figura 3.11 El efecto de pista no ocurre ya que los dos flujos alcanza los bordes al mismo tiempo.

3.3.4. EFECTO DE DUDA

El "efecto de duda" ocurre cuando el flujo se llega hacer más lento o se para a lo largo de una trayectoria particular. Si el plástico dentro de la cavidad tiene dos opciones entre una sección delgada y una sección gruesa, el plástico tiende a llenar la sección gruesa primero, por que esta ruta ofrece menos resistencia para el flujo. Este efecto se hace más grande si se aplica una presión mayor en la dirección de la trayectoria más gruesa. Esto hace que el plástico en la sección delgada pare o se haga más lento significativamente, figura 3.12.

El "efecto de duda" ocurre frecuentemente en costillas y piezas que tienen cambios importantes en el espesor de la pared.

Este efecto puede reducir la calidad de la pieza debido a la variación en el aspecto de la superficie, pobre empaquetamiento, esfuerzos altos y orientaciones no uniformes de las moléculas plásticas. Además, si el efecto duda permite al flujo frontal solidificarse completamente, parte de la cavidad permanecerá sin llenarse.

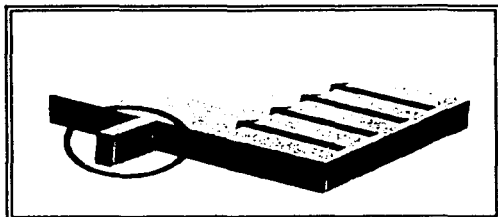


Figura 3.12. Dentro del círculo existe el efecto de duda, para el fluido es más fácil llenar el espesor más ancho que tratar de llenar la costilla.

Para prevenir este efecto se sugiere:

1. Mover la ubicación del punto de inyección lejos de cualquier costilla o cualquier parte más delgada. Esto dará menos tiempo para que el polímero pueda "dudar".
2. Mover el punto de inyección al área más gruesa de la pieza.
3. Mover el punto de inyección al lugar que realice más presión, para que toda la presión se aplique en donde ocurre el "efecto de duda". Es usual tener costillas delgadas como último punto para llenar, así toda la presión de inyección se aplica a este punto.
4. Aumentar el espesor de la pared donde el efecto de duda ocurrió, para reducir la resistencia al flujo.
5. Usar un material menos viscoso.

3.3.5. LÍNEAS DE UNIÓN

Cuando existen piezas moldeadas que incluyen aberturas (orificios), las líneas de unión se desarrollan más frecuentemente. El proceso de llenar una cavidad que contiene un orificio o barreno es el siguiente; el flujo plástico se obstruye llegando al comienzo del orificio, divide su corriente y rodea al mismo. Después la corriente dividida se vuelve a juntar y continúa su camino hasta que la cavidad es llenada, figura 3.13. La reunión de las corrientes divididas forma una línea de unión, esta carece de las propiedades de fuerza que existe en una área sin líneas de unión porque el flujo de material tiende a atrapar aire, humedad y lubrica el área donde la unión de la corriente tiene lugar e introduce sustancias ajenas en la superficie de unión.

Además que el material plástico ha perdido algo de su calor, la temperatura para la misma unión no nos conduce a resultados favorables. Una superficie que está sujeta a cargas no debe contener líneas de unión. Si esto no es posible, los esfuerzos permitidos de trabajo deberán reducirse hasta un 15%.

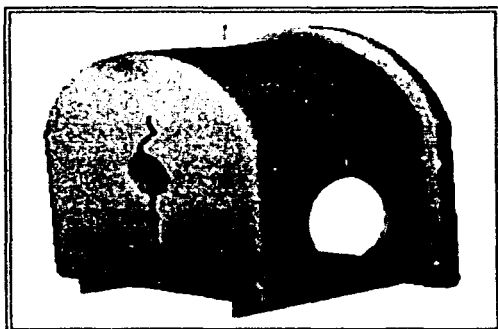


Figura 3.13. Las líneas de diferente color son las líneas de unión que existen en esta pieza.

3.3.6. LÍNEAS DE FUSIÓN

La línea de fusión es similar a una línea de unión excepto que los flujos frontales se mueven un poco paralelos y no se encuentran de frente como en el caso de líneas de unión. Una línea de fusión ocurre

cuando dos flujos frontales se unen en un ángulo oblicuo, figura 3.14. La orientación de las moléculas plásticas es por lo tanto más uniforme que en el caso de una línea de unión.

Las líneas de fusión son normalmente más fuertes que las líneas de unión y son frecuentemente menos visibles.

Para evitar las líneas de fusión, se puede cambiar la ubicación de inyección o alterando espesores de pared para establecer un tiempo diferente de llenado. En un tiempo diferente de llenado, los flujos frontales pueden encontrarse en una ubicación diferente y por lo tanto las líneas de unión o fusión se moverán.

Una buena unión/fusión ocurre cuando la temperatura del fundido no es menor a 20°C de la temperatura de inyección.

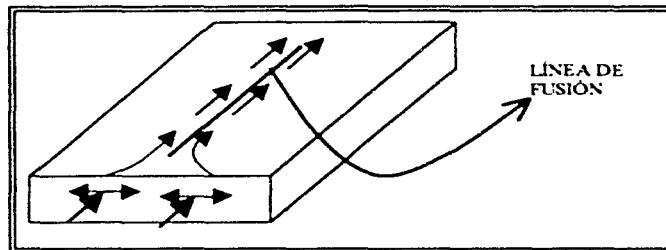


Figura 3.14. La única diferencia que existe entre una línea de unión y fusión es el ángulo con el cual se encuentran los flujos frontales.

3.3.7. AIRE ATRAPADO

El aire puede estar atrapado durante el proceso de inyección cuando los pellets de plástico son fundidos en un medio ambiente con aire normal y este no puede escapar. Generalmente el material fundido está sujeto a cargas de compresión las cuales causan una liberación de aire, pero en algunos casos el aire es atrapado. Si el aire atrapado es aceptable, no se requiere realizar alguna otra acción, figura 3.15. Sin embargo, usualmente no será aceptable por razones de rendimiento y estética.

Además el aire atrapado ocurre cuando flujos frontales convergentes rodean y atrapan una burbuja de aire. Esto normalmente sucede donde hay trayectorias no balanceadas.

El aire atrapado puede ocasionar un llenado incompleto y fases de compresión muy largas que ocasionan frecuentemente una imperfección en la superficie de la pieza final. El aire atrapado en bolsas puede comprimirse, calentarse y causar marcas de quemadura en el material.

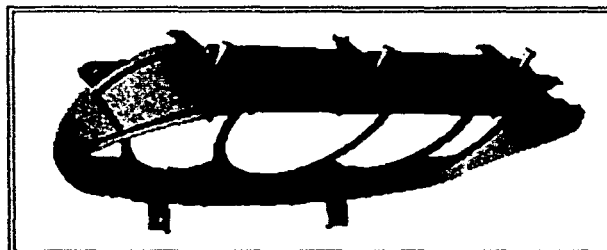


Figura 3.15. Los puntos que se encuentran en la pieza son aire atrapado.

3.3.8. ORIENTACIÓN

3.3.8.1. ORIENTACIÓN EN EL MOLDEO POR INYECCIÓN

Las moléculas de los polímeros en su forma normal o en un estado relajado existen como cadenas enmarañadas; cuando se les aplica presión y por consiguiente esfuerzo al polímero fundido (es decir, cuando el material se encuentra a las temperaturas de procesamiento) las cadenas tienden a orientarse en la dirección del flujo, para moverse con mayor facilidad. Al cesar el esfuerzo y si se mantiene el polímero caliente por un tiempo suficientemente largo las moléculas tienden a recobrar su forma original enrollada, a este proceso se le conoce como relajación, figura 3.16. En procesos tales como moldeo por inyección las moléculas no tienen el tiempo suficiente para regresar completamente a su forma original.

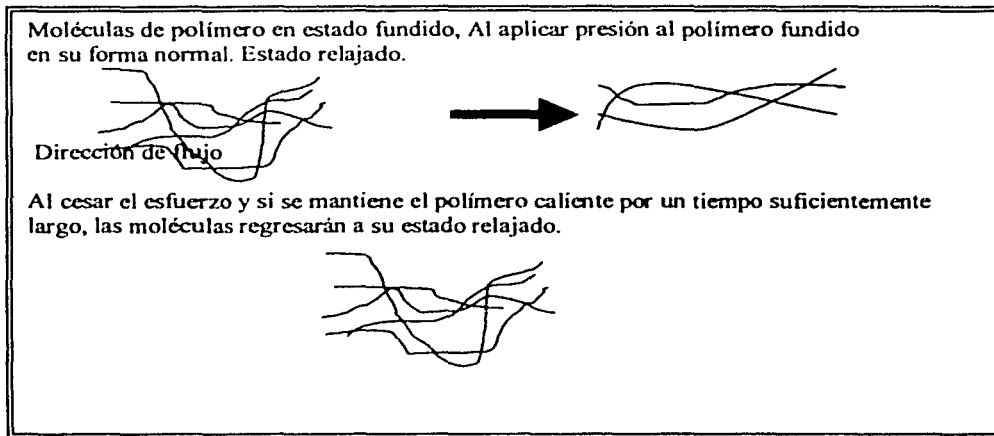


Figura 3.16 La relajación de cadenas durante el procesamiento de polímeros.

3.3.8.2. FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ORIENTACIÓN

La orientación es el resultado neto de la alineación de las moléculas en una dirección, causada por los efectos de los esfuerzos de corte y la relajación de ese alineamiento. Se deduce que cualquier cosa que se hace por mantener el plástico caliente y por consiguiente aumentar la relajación tiende a disminuir la orientación. Los siguientes factores de operación son importantes:

1. **Altas temperaturas del molde y material disminuyen la orientación.** Por que permiten la relajación de las moléculas. Por otra parte, después de remover la pieza del molde puede ocurrir una cantidad de relajación significativa. Por ejemplo, el colocar artículos moldeados de secciones gruesas en agua caliente permite disminuir la orientación.
2. **La presión aumenta la orientación:** altas presiones causan altos esfuerzos de corte que a la vez causan más orientación.
3. **El tiempo de sostenimiento tiene un efecto importante en la orientación.** Si el punto de inyección no solidifica, la presión del pistón provoca que el flujo continúe, existe más esfuerzos de corte y por lo tanto mayor orientación.
4. **El espesor de la pieza afecta a la orientación.** Debido a la baja conductividad térmica de los plásticos, las piezas gruesas actúan como aislante de la zona central, la cual se mantiene más tiempo caliente. Esto promueve la relajación, disminuyendo la orientación.

En la Tabla 3.1 y figura 3.17 se resumen gráficamente la influencia de las variables del molde y del proceso de inyección sobre la orientación.

EFFECTO DE LAS VARIABLES DEL MOLDE Y DE MOLDEO SOBRE LA ORIENTACIÓN

	AUMENTA LA ORIENTACIÓN	DISMINUYE LA ORIENTACIÓN
TEMPERATURA		
- Temperatura del material	FRÍO	CALIENTE
- Temperatura del molde	FRÍO	CALIENTE
- Enfriamiento de la pieza	RÁPIDO	LENTO
PRESIÓN		
- Presión de inyección	ALTA	BAJA
- Tiempo pistón avanzado	LARGO	CORTO
GEOMETRÍA		
- Espesor de la pieza	DELGADA	GRUESA
Tamaño de la entrada	GRANDE	PEQUEÑA
OTROS		
- Velocidad de llenado del molde	LENTA	RÁPIDA

Tabla 3.1

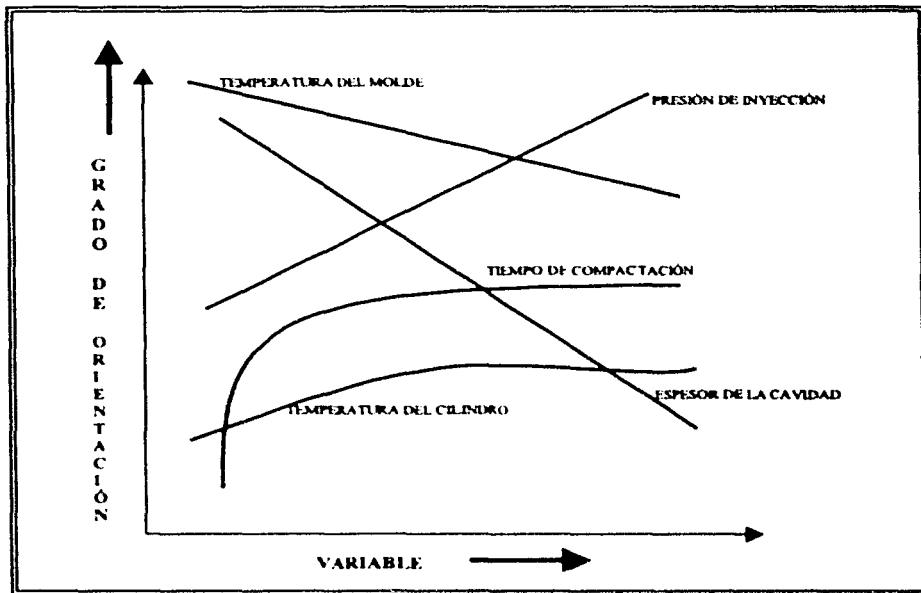


Figura 3.17 Efecto de las variables de proceso y del molde sobre la orientación.

3.3.8.3. EFECTO DE LA ORIENTACIÓN EN LAS PROPIEDADES

Aunque en un menor grado que la cristalinidad, la orientación también afecta las propiedades de polímeros cristalinos y amorfos. En la tabla 3.2, se observa el efecto de incrementar la orientación en algunas propiedades.

EFECTO DE LA ORIENTACIÓN EN LA PROPIEDADES

CUANDO LA ORIENTACIÓN AUMENTA

PROPIEDAD	DIRECCIÓN PERPENDICULAR	DIRECCIÓN LOGITUDINAL
RESISTENCIA A LA TENSIÓN	DISMINUYE	AUMENTA
RESISTENCIA AL IMPACTO CON ENTALLE	DISMINUYE	AUMENTA
RESISTENCIA AL IMPACTO CON CAÍDA DE PESO	DISMINUYE	DISMINUYE
RESISTENCIA A LA FLEXIÓN	AUMENTA	AUMENTA
FLUENCIA	DISMINUYE	DISMINUYE

Tabla 3.2

3.3.9. FLUJOS LÍDERES Y FLUJOS DEFLECTORES

Un flujo líder es un incremento local en el espesor a lo largo de la dirección del flujo para incrementar su velocidad en la misma dirección.

Un flujo deflector es un decremento local en el espesor a lo largo de la dirección del flujo para que disminuya su velocidad en la misma dirección.

Los flujos líderes y deflectores se utilizan para asegurar que todas las direcciones de flujo dentro de la cavidad se llenen al mismo tiempo (balanceo de flujo). Frecuentemente, la localización más adecuada del punto de inyección no define que las direcciones de flujo sean iguales, así como si se quiere utilizar multipuntos de inyección crean líneas de unión innecesarias en la pieza. Por lo tanto, alterando los espesores dentro de las especificaciones del diseño puede ser la manera más apropiada para tener flujos balanceados.

Un ejemplo para mostrar lo dicho es la figura 3.18, la cual es una pieza cuadrada con espesor uniforme con un punto de inyección al centro de la pieza con lo cual se tiene un flujo balanceado. La pieza de la izquierda tiene un flujo radial por lo cual tiene una calidad pobre estructural ya que mientras que algunos puntos ya fueron llenados otros aun necesitan más tiempo para llenarse (flecha más corta). La figura de la derecha se le realizan cuatro flujos líderes para que la resistencia del flujo disminuya y así con esto todos los puntos de la pieza se llenen al mismo tiempo.

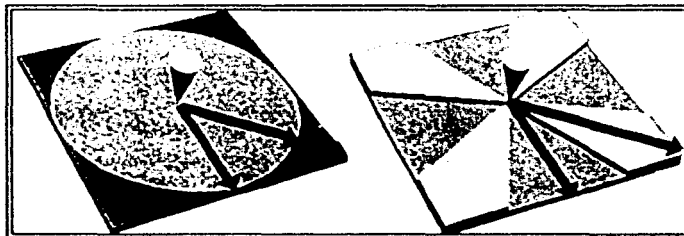


Figura 3.18 En la pieza de la derecha existen cuatro flujos líderes.

Los aspectos mencionados a lo largo de este capítulo respecto a las fases de llenado de la cavidad y variables del proceso de inyección así como los efectos debido a estas variables, es importante mencionar que para obtener una pieza moldeada que cumpla con los requerimientos de uso final, además de conocer los puntos anteriores, es necesario saber la localización de los puntos de inyección más adecuados así como el número de estos.

En una operación tan compleja como el moldeo por inyección, los resultados se ven influenciados por una serie de variables, las cuáles a la vez pueden interactuar, como se vio en este capítulo. Por lo tanto, es difícil predecir con exactitud los resultados.

El siguiente capítulo ayudará a localizar las zonas para colocar los mejores puntos de inyección y la cantidad de los mismos para disminuir con esto, los efectos ya mencionados.

CAPÍTULO 4

PUNTOS DE INYECCIÓN

En este capítulo se establecen los conceptos básicos para seleccionar un buen punto de inyección. El punto de inyección conecta al sistema de distribución con la cavidad y controla el flujo de material en ese sentido. Generalmente, es la parte más estrecha del sistema que recorre el plástico a excepción del caso de bebedero directo, donde no existen canales de distribución. El punto de inyección tiene gran influencia sobre el peso, calidad dimensional y presentación de la pieza así como la orientación molecular de la resina y cualquier carga o refuerzo que esta contenga. Es por eso que, la localización del punto de inyección es estratégica para lograr el desempeño requerido en el producto.

El punto de inyección puede ser responsable de problemas de apariencia de la pieza como color irregular y marcas de flujo. A mayor tamaño del punto de inyección, se facilita el llenado de la cavidad y se reducen los esfuerzos residuales en el producto, pero tarda más en enfriarse el material fundido, incrementando la duración del ciclo.

Puntos pequeños de inyección presentan las siguientes características: solidifican más rápido, facilitan separación entre producto y sistema de distribución "colada", la marca de la pieza es menos visible, pieza sujeta a mayores esfuerzos, difícil control dimensional de la pieza, pueden producir imperfecciones superficiales (degradación del material) y riesgo de líneas débiles de unión.

4.1 CONCEPTOS BÁSICOS PARA LA SELECCIÓN DE PUNTOS DE INYECCIÓN

Los programas de simulación resuelven la localización de puntos de inyección automáticamente, mediante la identificación de zonas donde los puntos de inyección son más recomendables de ser colocados. Estos programas están basados en la aplicación de diez principios con el fin de obtener piezas de calidad y así poder diseñar moldes y establecer condiciones de inyección preliminar, los cuales se listan a continuación:

1.- PATRÓN DE FLUJO CONTROLADO Y UNIDIRECCIONAL

El principio de flujo direccional establece que el plástico debe fluir en una sola dirección con un flujo frontal recto hasta la última zona en llenarse. Esto da un patrón de flujo unidireccional.

2.- FLUJO BALANCEADO

Este principio establece que las trayectorias del flujo dentro de un molde, deben terminar en el mismo tiempo y con la misma presión.

3.- GRADIENTE DE PRESIÓN CONSTANTE

La mejor eficiencia de llenado se realiza cuando el gradiente de presión se mantiene constante, esto quiere decir que la caída de presión por unidad de recorrido es constante a lo largo de la trayectoria del flujo.

4.- MÁXIMO ESFUERZO CORTANTE

El esfuerzo cortante durante el llenado debe ser menor que el nivel crítico. El valor de este nivel crítico depende del material que se este usando así como la aplicación de la pieza.

5.- TIEMPO DE ENFRIAMIENTO UNIFORME

El tiempo de enfriamiento debe ser uniforme en toda la pieza para evitar alabeamiento.

6.- LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE UNIÓN Y FUSIÓN

La mejor localización de las líneas de unión y fusión será en las áreas menos sensibles, dónde los esfuerzos mecánicos sean menores o desde el punto de vista estético, no sean visibles.

7.- EVITAR EL EFECTO DUDA

Los puntos de inyección se deben colocar tan lejos como sea posible de las zonas en las que se unan espesores delgados con gruesos, además se debe evitar colocar puntos de inyección en zonas delgadas debido a que en esta zona el fundido tendrá mayor resistencia para fluir.

8.- EVITAR FLUJOS FRONTALES

Este principio establece que se deben de colocar los puntos de inyección de tal manera que los flujos frontales se encuentren al final del llenado de la pieza.

9.- BALANCEAR CON FLUJOS LÍDERES Y DEFLECTORES

Los flujos líderes son un incremento local en el espesor de cualquier pared de la pieza para tener un decremento en la velocidad de flujo en una dirección particular y los flujos deflectores es una reducción local en el espesor para que la velocidad del flujo aumente y así obtener un flujo balanceado.

10.- CONTRACCIONES TÉRMICAS CONTROLADAS

Se necesita diseñar adecuadamente los sistemas de distribución para controlar las contracciones térmicas, para lo cual se requiere incrementar la temperatura del material en la cavidad. Esto hace que la pieza tenga más bajos niveles de esfuerzo, sin causar degradación en el material debido a los largos tiempos de exposición a temperaturas elevadas.

4.2 NÚMERO DE PUNTOS DE INYECCIÓN

Comúnmente, se ubica un punto de inyección para cada cavidad, aunque en algunos casos, es conveniente emplear multi-puntos, lo cual está determinado por la trayectoria del flujo, plástico empleado, geometría y espesor de la pieza. Existen algunas consideraciones especiales cuando se trata de diseño de moldes para productos con puntos de inyección múltiples, o cuando el molde presenta corazones (orificios) que deben ser rodeados por el plástico fundido para llenar la cavidad. En estos casos, es muy importante el control de las líneas de unión que inevitablemente se producen.

Cuando el material fundido fluye por la cavidad, el flujo frontal empuja el aire atrapado durante el cierre del molde, perdiendo temperatura paulatinamente, así al encontrarse con otro flujo frontal proveniente de un punto de inyección distinto o del flujo dividido por alguna obstrucción, no favorece una fusión apropiada entre ellos. Por lo tanto, se debe evitar ubicar un punto de inyección frente a otro, ya que el encuentro descontrolado puede originar huecos, porosidades o líneas débiles de unión.

La resistencia de las líneas de unión se controla a través de:

- Adecuada ubicación y dimensionamiento de los sistemas de enfriamiento.
- Elevadas velocidades y presiones de inyección que mantengan calientes los flujos frontales en el momento de su encuentro.
- La correcta temperatura del fundido y del molde.
- Ubicar pozos o trampas frías en las zonas de unión de los frentes de llenado.

4.2.1. UN SOLO PUNTO DE INYECCIÓN

El siguiente ejemplo muestra lo que se explicó en el punto anterior por lo cual se analiza el problema de dos formas; el primero es cuando se tiene únicamente un punto de inyección y la segunda es cuando tenemos multi-puntos.

Se considera la pieza de la figura 4.1, (se utiliza en las sillas de las escuelas para colocar los lápices o colores), la cual se inyecta con solo un punto de inyección. Se tienen tres problemas a primera vista que son: alta presión que se debe de imprimir a la pieza ya que mientras la trayectoria P_2 se encuentra llena, la trayectoria P_1 le falta material extra para ser completada la trayectoria. El segundo problema es debido a que las dos trayectorias que se observan no están balanceadas ya que P_1 y P_2 son diferentes en distancia, por lo cual ocurre un sobreempaquetamiento en el área central de la pieza. El tercer problema es que existe una temperatura muy alta en la parte central (zona roja), que puede provocar que el material se degrade o que tenga otro tipo de daños superficiales. Se puede observar que $P_1 \gg P_2$.

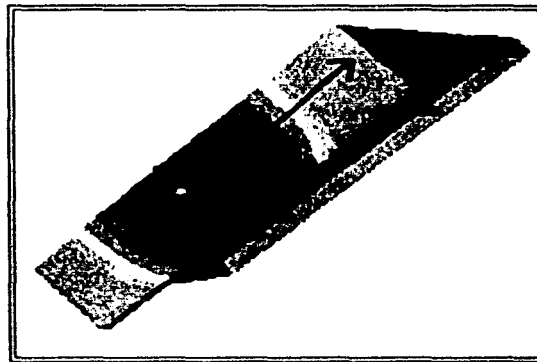


Figura 4.1 $P_1 \gg P_2$ por lo cual hace que exista un sobreempaquetamiento en toda la zona roja. (P_2).

4.2.2. MULTI-PUNTOS DE INYECCIÓN

El problema que se tiene en este caso es que hay un sobreempaquetamiento en el área central de la pieza por tantos puntos de inyección así como muchas líneas de unión que repercuten en la apariencia de la pieza. Este sobreempaquetamiento hace que exista más encogimiento al centro de la pieza que en las orillas por este exceso de material en el centro. Se puede observar que en este caso $P_1 < P_2 < P_3$, figura 4.2. Esto significa que aunque existan muchos puntos de inyección las trayectorias de los flujos siguen sin balancearse.

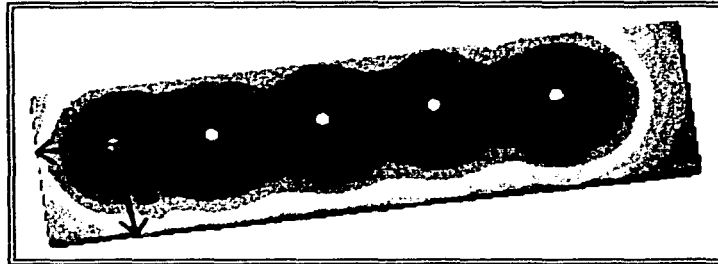


Figura 4.2 Las trayectorias no están balanceadas aunque existan multi-puntos de inyección, lo cual conlleva un efecto de sobreempaquetamiento en cada uno de los puntos.

Para obtener trayectorias de flujo con la misma distancia, la pieza se divide en un número de sub-piezas, las cuales se consideran como piezas virtualmente separadas dentro de la pieza completa. Los principios para dividir la pieza en sub-piezas son:

- 1) Mismo volumen en cada sub-pieza.
- 2) Misma caída de presión en cada sub-pieza.
- 3) Prever que las líneas de unión y fusión se encuentren en áreas las cuales no tengan esfuerzos tan grandes.
- 4) Evitar los efectos de duda.
- 5) Evitar los efectos de flujo de choque.

4.3 LOCALIZACIÓN DEL PUNTO DE INYECCIÓN

La localización del punto de inyección es de mucha importancia con respecto a la manera en la cual el polímero fluye dentro del molde. Se tiene que tomar en consideración los siguientes puntos para elegir la localización de un punto de inyección:

- a) Consideraciones estéticas de la pieza.
- b) Complejidad de la pieza.
- c) Requerimiento de la temperatura de moldeo.
- d) Característica del polímero para ser procesado.
- e) Volumen de polímero que se alimentará a través del punto de inyección y la velocidad de inyección.
- f) Localización de líneas de unión producidas y su posible repercusión en la pieza en esa posición.

g) Posible localización y efectos de gas atrapado creado como resultado del perfil de llenado.

En base a los puntos anteriores, se recomienda que la localización del punto de inyección se determine rápidamente y antes de que el diseño se empiece a realizar.

Uno de los objetivos al seleccionar puntos de inyección es asegurar que todas las trayectorias del flujo dentro de la cavidad se llenen al mismo tiempo (trayectorias balanceadas) y con la misma presión. Esto impide sobreempaquetamiento en algunas trayectorias mientras otras aún no se han llenado. Este principio aplica ya sea si tenemos un solo punto de inyección o si la pieza tiene que ser dividida en sub-piezas.

A continuación se describen las tres opciones más recomendables para la ubicación de un punto de inyección. Al último de estas tres opciones se constata lo que implica cambiar la ubicación del punto de inyección así como se conoce cual es el más óptimo.

En el primer sistema la figura 4.3, tiene un flujo balanceado, pero el plástico fundido tarda más tiempo en llegar al extremo contrario, lo cual implica algunas situaciones con la pieza terminada como por ejemplo: presión alta de llenado, diferencia de orientación entre un punto y otro. A consecuencia de la orientación la pieza tiene alabeamiento y encogimiento.

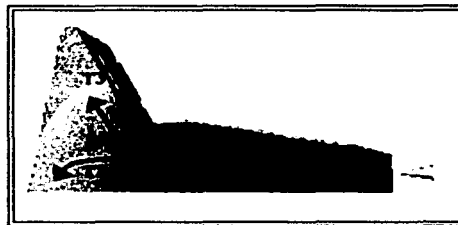


Figura 4.3 El flujo no está balanceado por que $T_1 \gg T_2$ y T_3 , esto provoca alabeamiento y encogimiento.

El segundo caso, la figura 4.4 se ve la misma pieza que en el caso anterior únicamente con la diferencia que el punto de inyección cambió de lugar al centro de la misma, por lo cual se tiene un flujo balanceado ($T_1 = T_2$), ya que los dos extremos se llenan aproximadamente al mismo tiempo con esto disminuyen los problemas descritos en la figura 4.3.

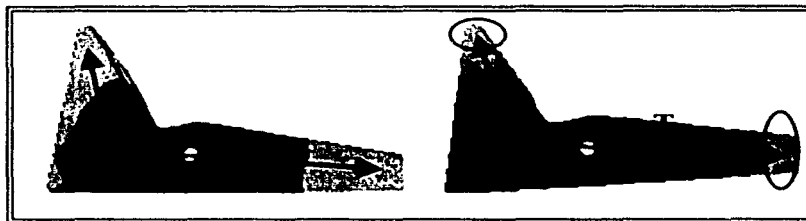


Figura 4.4 La pieza se llena uniformemente, la porción de la pieza que no ha sido llenada se muestra en las clipses, siendo la misma para los dos extremos. El balanceo la pieza se enfría aproximadamente igual en los dos extremos $T_1 = T_2$.

El tercer caso, figura 4.5, el punto de inyección se tiene al extremo contrario, esta alternativa es buena, si se realizan algunas modificaciones en la pieza, como por ejemplo: tener flujos líderes o deflectores. Esto hace que las trayectorias se llenen al mismo tiempo y con la misma presión. Esto no es fácil ya que existen piezas que no se puede realizar ninguna modificación por especificaciones de molde.

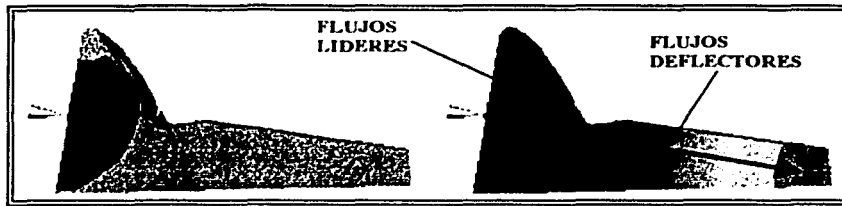


Figura 4.5 Para resolver el flujo no balanceado en la pieza, se requiere usar flujos líderes (flecha azul) o flujos deflectores (flecha roja).

4.3.1. LOCALIZACIÓN DE PUNTOS DE INYECCIÓN EN PIEZAS COMPLEJAS

La pieza de la figura 4.6, tiene un orificio en forma de "T", con la que se puede ilustrar los problemas típicos en decidir donde colocar los puntos de inyección para un llenado correcto.

El sistema más sencillo que se tiene es el observado en la figura 4.6, el cual se colocan los puntos de inyección en la parte inferior de la pieza pero esto conlleva a serios problemas con el llenado.

El primer problema que tenemos es un efecto de flujo de choque porque los flujos de los puntos A y B se encuentran muy tempranamente en el ciclo de llenado (primer problema es un sobrecalentamiento en estas zonas). El flujo del punto A se invierte por la alta presión del punto B. Segundo, el área alrededor del punto B se sobreempaqueta (mancha roja) y tiende a más bajo encogimiento que el resto de la pieza y por lo tanto se alabea o se degrada.

Esto se puede componer parcialmente al seleccionar tamaños alternados de coladas, siendo que esto no soluciona el flujo de choque que ocurre de "A" a "B".

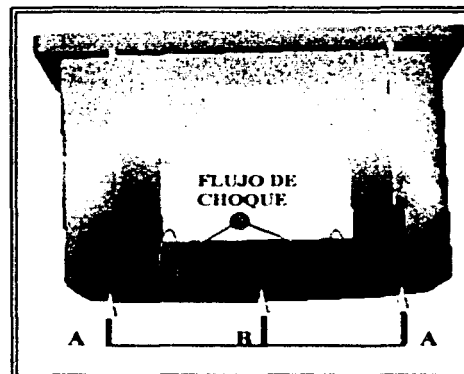


Figura 4.6 Sistema de localización de puntos de inyección más sencillo, ya que los tres se colocan en la parte inferior de la pieza. Las dos clipses marcan donde se encuentran los flujos.

Se tiene otro sistema, la misma pieza es girada 180° con respecto a su eje horizontal, figura 4.7. Se colocan los puntos de inyección en su cara opuesta, lo cual da un problema diferente, por que ahora hay una línea de unión en la parte central de la sección más delgada. Se observa que las ondas de choque van a ser

mínimas por que el flujo del punto B se distribuye más rápido que en el caso anterior ya que el ancho de la T es menor en este caso.

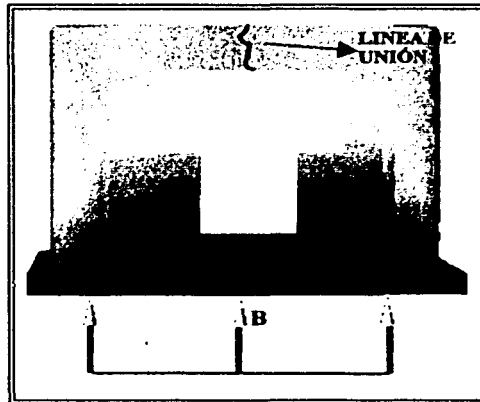


Figura 4.7 En esta pieza existen menos flujos frontales.

Rotando la pieza nuevamente a la forma original y usando cuatro puntos de inyección, figura 4.8, se llega a un enfoque factible, pero se tiene los mismos problemas del primer caso, además los problemas estéticos de la pieza son considerables. Al tener cuatro puntos de inyección existe una zona la cual tiene una alta orientación, esta se encuentra en el punto de inyección C, por lo tanto en toda la franja delgada existe más encogimiento.

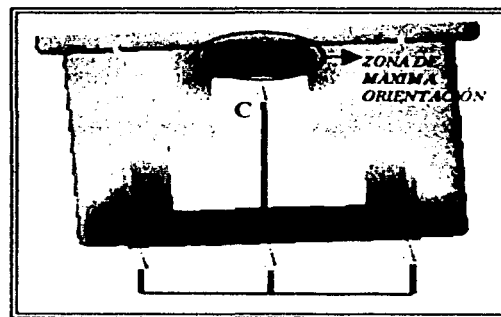


Figura 4.8 Al ser su enfriamiento muy rápido el punto C tiene la máxima orientación provocando el mayor encogimiento.

Utilizando el enfoque de cualquier sistema CAE (visto en el capítulo anterior), se divide la pieza en sub-piezas de aproximadamente igual volumen, se localiza cada punto de inyección en cada sub-pieza para dar un balance de flujo en cada parte, lo cual da un llenado más uniforme.

La pieza de la figura 4.9 se divide en tres partes (I,II,III), las cuales tienen aproximadamente el mismo volumen. Aunque las coladas de la figura de abajo son ligeramente más largas que las tres anteriores, el volumen actual de material que pasa por la colada III es menor que en la colada I y II. Las coladas son diseñadas para una caída de presión dada.

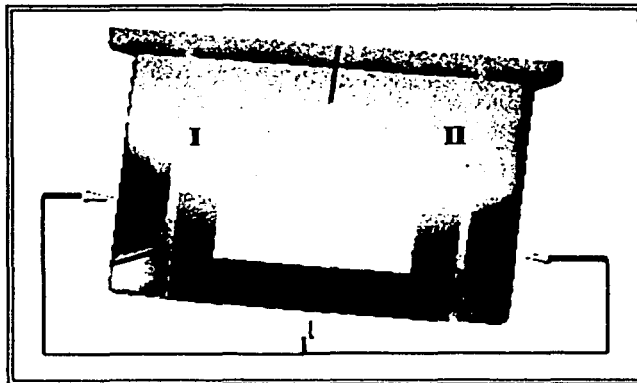


Figura 4.9 La colada del punto III es más pequeña que los otros dos puntos por lo que el flujo es uniforme en cualquier espacio.

4.3.2. MULTI-PUNTOS PARA MEJORAR EL LLENADO

La colocación de multi-puntos se utiliza casi siempre para reducir los efectos analizados en el capítulo anterior, (ver sección 3.3.). Muchos moldes usualmente no tienen el problema de llenado, por que el disparo del mismo realiza inmediatamente el llenado. Sin embargo uno de los efectos es el alabeamiento (ver sección 3.3.1.).

Un criterio muy importante para eliminar estos efectos, es el balanceo de flujos. Los puntos de inyección siempre deben ser colocados, utilizando el principio de balanceo de flujos, para dar la misma caída de presión en toda la cavidad. En la figura 4.10 se observa que la pieza se llena con el principio de balanceo de flujos ya que $P_1=P_1$, $P_2=P_2$, y $P_3=P_3$, así también sus caídas de presión son las mismas en cada punto de los tres cilindros, esto se comprueba con los colores que se muestran en la gráfica siguiente.

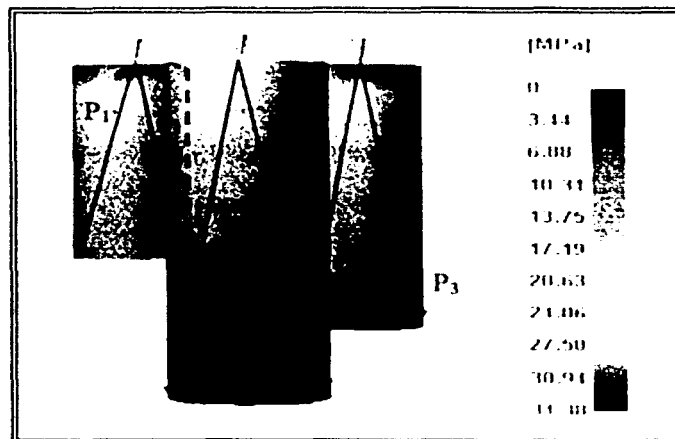


Figura 4.10. Cada color muestra un valor diferente de caída de presión, la caída de presión mayor es de 34.30 y el más bajo es 0.

En ciertos casos, aunque un molde se llene fácilmente con un punto de inyección o un sistema de multi-puntos, siempre se toma en cuenta el uso de flujos balanceados, para evitar efectos de alabeamiento o duda.

Un ejemplo donde multi-puntos de inyección fueron utilizados especialmente para evitar alabeamiento es en la pieza anterior, figura 4.10. Aunque es una pieza muy sencilla por su forma la cual podría ser llenada con un solo punto de inyección, el área principal puede haber tenido inevitablemente el efecto de sobreempaquetamiento mientras que toda la pieza es llenada. Por la forma de la pieza la cual es circular es muy propensa a alabearse. Un sistema de tres puntos de inyección se utilizó para dar un flujo frontal recto. Y así con esto no tener problemas de alabeamiento ya que los puntos más alejados o extremos de cada tubo se enfriaran al mismo tiempo.

4.3.3. MULTI-PUNTOS PARA EVITAR EL EFECTO DUDA (HESITATION)

El efecto duda en piezas complejas se puede evitar al utilizando multi-puntos de inyección con un sistema balanceado de colada. La pieza 4.11 necesita multi-puntos de inyección para evitar el efecto duda.

Este punto de inyección causa el efecto duda en la costilla más delgada cerca del punto de inyección. El plástico en la costilla se solidifica mientras el área gruesa aún esta siendo llenada. El efecto duda (ver la flecha roja) es debido al flujo restringido.

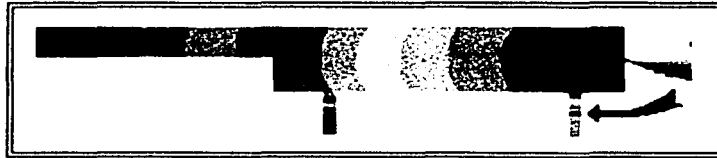


Figura 4.11 Esta pieza requiere multi-puntos para que no tenga problemas de efecto duda por las dos costillas.

Colocar el punto de inyección al otro extremo de la pieza, figura 4.12, es aun mejor por que el polímero fluye más rápido y fácil en la sección más gruesa que en la sección más delgada. Esto conduce al efecto duda en la sección delgada (ver la flecha roja) en la mitad de la pieza.

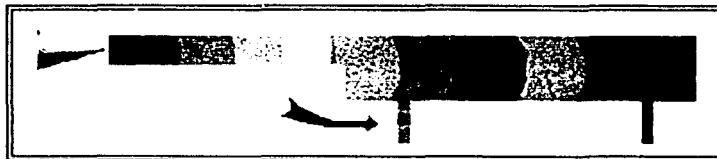


Figura 4.12 Se tiene el mismo efecto que en la figura 4.11, donde se encuentra la flecha roja no se llena ya que se tiene el efecto duda.

Una manera de resolver este problema es utilizar dos puntos de inyección de frente a las dos costillas, para que con esto el flujo este balanceado, como se muestra la figura 4.13. La pieza se divide en dos sub-piezas con la línea de unión cerca a una de las costillas. Las coladas son después dimensionadas de diferente tamaño para hacer uniforme el flujo dentro de las dos costillas y colocar la línea de unión en la posición escogida. Los puntos de inyección se colocan de tal forma que las costillas delgadas sean completamente llenadas al mismo tiempo y con una presión proporcional en cada punto, por lo tanto el efecto duda será prevenido.

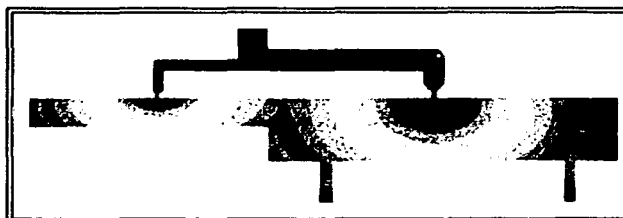


Figura 4.13 Se colocan dos puntos de inyección así como las coladas de diferentes tamaño para que el flujo dentro de la cavidad sea uniforme, se evitan los problemas de efecto duda.

4.4. SELECCIÓN DEL PUNTO DE INYECCIÓN MEDIANTE UN SISTEMA DE SIMULACIÓN DE PLÁSTICOS

En esta sección se analiza la pieza de la figura 4.6 (sección 4.3.1.) por medio de un programa de simulación de plásticos. La pieza cuenta con tres orificios y dos costillas por lo cual el proceso de identificación de estas zonas es complicado para que a simple vista, se pueda elegir el punto de inyección en la mejor zona como se realizó en el capítulo anterior. Siendo que un sistema de simulación en menos de 3 minutos obtiene los siguientes resultados.

A continuación se da una explicación por la cual se señalan las siguientes zonas como las óptimas para colocar el punto de inyección en la pieza.

En la figura 4.14 existen 5 zonas generales en las que se tiene una certeza desde 91% (azul) hasta 19% (rojo). El 91% representa que al colocar el punto de inyección en esta zona no se tienen efectos tan serios, las trayectorias están balanceadas así como el esfuerzo cortante esta en un rango mucho menor al máximo permitido. En las zonas que el porcentaje es 73, 64 y 46% el material fundido tiene una serie de efectos como; sobreempaquetamiento ya que se tiene mucha resistencia para que el material fundido llene la cavidad, alabeamiento y encogimiento debido al enfriamiento diferencial y a que las trayectorias del fundido no están balanceadas y no se llenan al mismo tiempo. Se tiene demasiadas líneas de unión en zonas donde no se aconsejan que se encuentren. La zona de 19% tiene grandes problemas pero el más peligroso y con el cual se descartaría por completo es que no se llega a llenar toda la pieza.

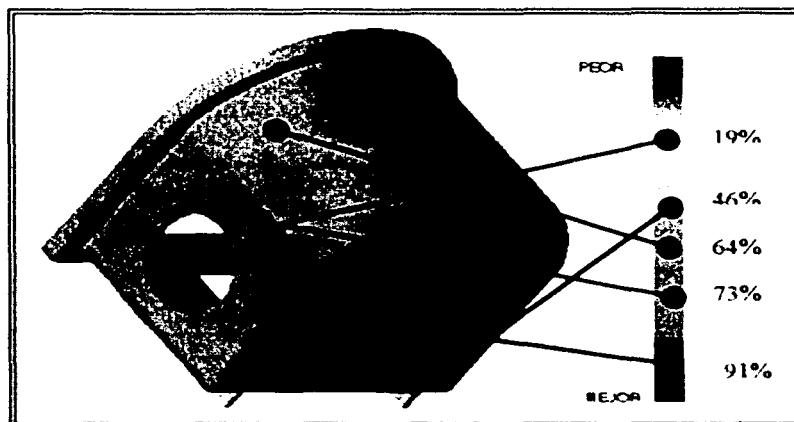
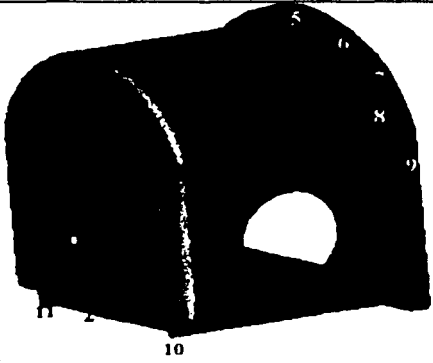


Figura 4.14 Zonas donde puede ser inyectada esta pieza.

Es confiable la zona de 91% para lo cual el sistema se basa en los diez principios ya citados y que a continuación se desarrollan:

- 1 El flujo es CONTROLADO Y UNIDIRECCIONAL ya que como se observa en la figura 4.14 el plástico fluye en una sola dirección radial hasta llegar a la última zona.
- 2 El FLUJO BALANCEADO, en el cuadro I se observa que el gradiente llenado en una circunferencia (zona roja) que consta los puntos 1 al 4 es de 0.12 segundos y en la zona más alejada que son los puntos 5 al 9 se tiene un gradiente de tiempo 0.05 seg. Por lo cual se considera que el flujo esta balanceado ya que las trayectorias se llenan aproximadamente al mismo tiempo.
- 3 Para tener la mejor eficiencia en el llenado se debe de tener un GRADIENTE DE PRESIÓN CONSTANTE, esto quiere decir que la caída de presión por unidad de recorrido es constante como se ve en el cuadro I.

PUNTO	TIEMPO DE LLENADO (seg)	TIEMPO DE ENFRIAMIENTO (seg)	PRESIÓN (Mpa)	CAIDA DE PRESIÓN (Mpa)
1	0.29	11.70	21.37	8.65
2	0.31	11.79	20.19	7.98
3	0.20	10.58	21.03	8.25
4	0.19	11.27	20.98	8.36
5	1.83	8.59	6.11	47.88
6	1.82	8.33	5.95	46.56
7	1.81	8.56	6.18	45.98
8	1.78	8.39	6.12	47.66
9	1.78	8.39	5.86	46.56
10	0.35	9.52	15.26	13.23
11	0.41	7.29	15.95	14.02



Cuadro I. Los puntos del 1 al 4 tienen aproximadamente la misma distancia medida desde el punto de inyección así como los puntos del 5 al 9 y los puntos 10 y 11.

- 4 Con el diagrama de calidad de predicción figura 4.15 se muestra El MÁXIMO ESFUERZO CORTANTE, donde la zona verde es el esfuerzo cortante que está muy por de abajo del máximo, mientras que la zona amarilla se aproxima al máximo permitido del esfuerzo cortante sin sobrepasarlo y la zona roja sobrepasa el esfuerzo máximo.

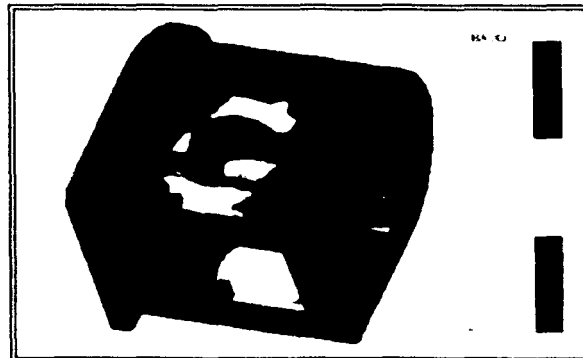


Figura 4.15 En este diagrama se observa como se comporta el esfuerzo cortante.

- 5 Para evitar alabeamiento en la pieza se tiene un TIEMPO DE ENFRIAMIENTO UNIFORME, para considerar esto, debe de existir a lo mucho un 20% de diferencia entre los puntos que se encuentran a la misma distancia, estos puntos son del 1 al 4, 5 al 9 y los puntos 10 y 11, cuadro 1.
- 6 En muchas ocasiones la LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE UNIÓN Y FUSIÓN no son preocupantes como en este caso, por que la pieza no esta sujeta a esfuerzos mecánicos por lo cual no interesan tanto las líneas de unión figura 4.16.

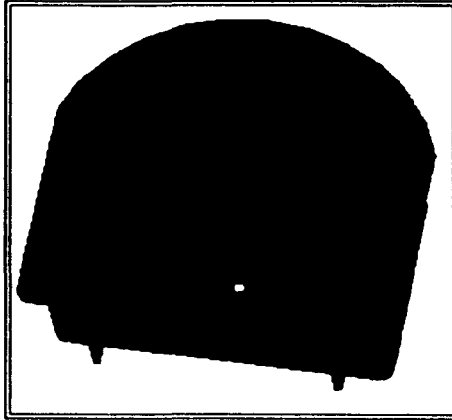


Figura 4.16 Las líneas rojas muestran las líneas de unión de la pieza.

- 7 El EFECTO DUDA en este caso no sucede por que las costillas quedan lejos del punto de inyección así como los espesores son más anchos con respecto al espesor de toda la pieza.
- 8 Las líneas rojas de la figura 4.16 muestran donde se encuentran los FLUJOS FRONTALES, los cuales son conveniente que se encuentren hasta el último de cada trayectoria.
- 9,10 Los principios 9 y 10 no son considerados en esta pieza ya que no se tiene FLUJOS DEFLECTORES NI FLUJOS LIDERES en la pieza así como LAS CONTRACCIONES TÉRMICAS no se pueden controlar en este momento por que se necesita saber cuales van a ser los sistemas de distribución.

Al ser aceptados estos 10 principios, se considera que el punto de inyección elegido es el mejor para la pieza así como va a tener los problemas menores.

El capítulo número cuatro sirvió para conocer los conceptos básicos con los cuales se basa el programa Part Adviser 4.0, para realizar la localización de las zonas para los puntos de inyección. Se menciona la diferencia entre colocar un solo punto de inyección y tener un sistema de multi-puntos y que problemática podemos tener con esto. Cuando alguien no puede utilizar algún sistema de simulación de flujo los más apropiado es seguir los puntos nombrados en la sección 4.3 así como lo comentado en el capítulo 3 con esto se estará más cerca del punto de inyección óptimo.

El siguiente capítulo se dará a conocer un caso de estudio de diseño evolutivo aplicando los conceptos estudiados en los capítulos anteriores, con la utilización del programa Part Adviser.

CAPÍTULO 5

CASO DE ESTUDIO DE DISEÑO EVOLUTIVO EN COMPONENTES DE ELECTRODOMÉSTICOS

La globalización e integración de la economía mundial ha provocado un gran cambio en los sistemas de diseño, fabricación y organización de la producción, cuyas principales innovaciones se resumen en el paradigma organizativo denominado **Ingeniería Concurrente**.

La Ingeniería Concurrente es la consideración, durante la fase de diseño, de los factores asociados al ciclo de vida del producto, los cuales incluyen fabricación, montaje, verificación, mantenimiento, fiabilidad, costo y calidad. Dentro de la fase de diseño se tienen tres sub-fases las cuales son: Diseño Innovador, Diseño Adaptativo y Diseño Evolutivo¹.

El Diseño Evolutivo se da cuando las especificaciones del problema varían ligeramente y se pretende resolver mediante la modificación de un diseño anterior. Supone la variación del tamaño y/o de la estructura de partes y subconjuntos dentro de los límites establecidos para el rango de productos previamente diseñados.

¹ Ver referencia 1.7 Salvador Capuz

5.1 SELECCIÓN DE UNA PIEZA DE PLÁSTICO

A continuación se presenta un ejemplo de Diseño Evolutivo para el componente denominado Dispositivo de Arranque que pertenece al subsistema de refrigeración con el número 238 de la figura 2.4 y tabla 2.4, del capítulo 2. Este es parte del sistema eléctrico del compresor de un refrigerador doméstico.

Uno de los criterios que se utilizó para la selección de este componente es el tipo de materia prima con el que está elaborado. Las resinas de ingeniería como se observa en el capítulo 2, han tenido un incremento importante en el mercado específico de los electrodomésticos. Por otra parte, cuando se selecciona este tipo de materiales es por que se requieren características muy específicas con valores de resistencia relativamente altos para que este, pueda realizar su función de manera apropiada.

5.1.1 REQUERIMIENTOS PARA LA PIEZA SELECCIONADA

FUNCIÓN

La función primaria de este componente es contener una pastilla de material cerámico así como sus respectivas terminales eléctricas. Esta pastilla tiene un funcionamiento electrotérmico teniendo la propiedad de variar su resistencia eléctrica cuando es calentada por la corriente que pasa a través de esta. La variación de temperatura en condiciones de trabajo va desde la temperatura ambiente hasta los 190°C y por lo menos el 50% del tiempo se encuentra en un rango entre los 150 y 190°C. Otra función que desempeña este componente para efectos de ensamble es la acción de un "snap fit" que tiene el objetivo de ensamblar una sola vez.

Por otra parte, la función de este componente dentro del sistema de refrigeración es el siguiente: al entrar en funcionamiento el compresor, el dispositivo de arranque tiene la función de energizar la bobina de arranque durante un periodo menor a un segundo para que el motor alcance su velocidad nominal y el consumo de energía eléctrica no sea tan elevado. Este componente está localizado sobre una pared del compresor.

REQUERIMIENTOS

Material actual: el cuerpo del dispositivo de arranque está formado por una base y una carcasa de poli sulfuro de fenileno (PPS) con 40% de fibra de vidrio. Este material tiene un grado de inflamabilidad UL94-V0, gran resistencia térmica, alta fluidez y es un material de alto costo.

Dado el alto volumen de piezas anuales requeridas, se cuenta con moldes para la base y la carcasa con ocho cavidades, colada fría y punto de inyección del tipo submarino.

Se requiere reducir el costo del componente, a través de un diseño evolutivo (substitución de material), empleando los mismos herramientas, ver figura 5.1.

5.1.2 PLANTEAMIENTO DE LA NECESIDAD

Dado el diseño del ensamble, la carcasa es la parte que presenta la geometría más complicada desde el punto de vista reológico, la cual puede propiciar problemas en el proceso de inyección. Por lo tanto, se busca un material de bajo costo que satisfaga los requerimientos anteriores, para establecer las condiciones de inyección de la cubierta y determinar problemas potenciales para la modificación del molde y pieza.

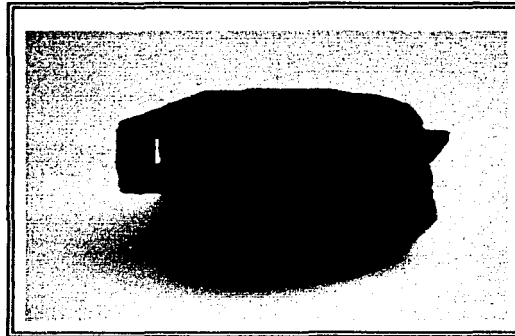


Figura 5.1 Dispositivo de arranque

5.2 APLICACIÓN DE PART ADVISER EN ELECTRODOMÉSTICOS

El diseño evolutivo constará únicamente de un cambio de material el cual tenga la misma resistencia térmica para nuestro caso o mejor, y menor costo como ya se había comentado en el punto anterior.

Para ello se utilizará el programa Part Adviser, para conocer si el cambio sugerido tendrá algún beneficio considerable. Para esto, primero se realiza el comparativo de dos materiales (PBT's) sustitutos concluyendo cual de los dos es el mejor para nuestro caso, para que al final se compare el material original (PPS) con alguno de los dos materiales sugeridos en la primera parte (PBT).

De la amplia variedad de materiales que se tienen con las condiciones comentadas en la sección 2.6.1., el proveedor recomienda dos materiales PBT's, uno es la opción 1, este material cuenta con aprobación UL-VO, siendo de los más utilizados en aplicaciones eléctrica-electrónica y que dentro de los diferentes grados, es de los más económicos, además cuesta 50% menos que el PPS. El segundo es la opción 2, con aprobación UL-VO y 40% más barato que el PPS.

Se elaboró un modelo tridimensional de la pieza, para representar una cavidad del molde, figura 2.7. Algunas de las propiedades de los dos materiales son las siguientes:

MATERIAL	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
TEMPERATURA MÁXIMA DEL FUNDIDO	260 °C	270 °C
TEMPERATURA MÍNIMA DEL FUNDIDO	230 °C	230 °C
TEMPERATURA MÍNIMA DEL MOLDE	65 °C	40 °C
TEMPERATURA MÁXIMA DEL MOLDE	95 °C	80 °C
ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO	0.4 MPa	0.4 MPa
VELOCIDAD MÁXIMO DE CORTE	50000 1/s	50000 1/s
CALOR ESPECÍFICO	1599 J Kg °C	1481 J Kg °C
VISCOSIDAD	901.65 Pa s A 225 °C	130.90 Pa s A 230 °C
VISCOSIDAD	64.67 Pa s A 245 °C	102.50 Pa s A 250 °C
VISCOSIDAD	91.13 Pa s A 265 °C	123.30 Pa s A 270 °C
TEMPERATURA NO FLUJO	214.90 °C	195 °C

Las condiciones del moldeo son:

MATERIAL	OPCIÓN 1	OPCIÓN 2
TEMPERATURA DEL MOLDE	80 °C	70 °C
TEMPERATURA DEL FUNDIDO	245 °C	250 °C
TIEMPO DE LLENADO	0.19 s	0.19 s

Se inyectaron los dos materiales con la misma localización del punto de inyección y las condiciones arriba citadas. Se realizó un análisis rápido para saber cual de los dos materiales es el mejor para poderlo comparar con el material original. Para esto únicamente se analizó el resultado del índice de calidad ya que en este intervienen cinco propiedades internamente.

El PBT (opción 1), por las dos características señaladas en la figura 5.2 (izquierda), la primera es que excede por mucho el esfuerzo cortante lo cual puede causar problemas con la apariencia de la pieza y la segunda es que la temperatura mínima para este material es de 230 °C siendo que en este punto la temperatura llega a 228 °C lo cual puede provocar que la pieza no llene por completo en ese punto. El PBT (opción 2) tiene problemas por que el esfuerzo cortante en la zona amarilla (0.84 MPa) de la parte superior de la pieza excede el limite que es 0.4 MPa y además el tiempo de enfriamiento es muy elevado y puede tener problemas de empaquetamiento como se ve en la figura 5.2 (derecha).

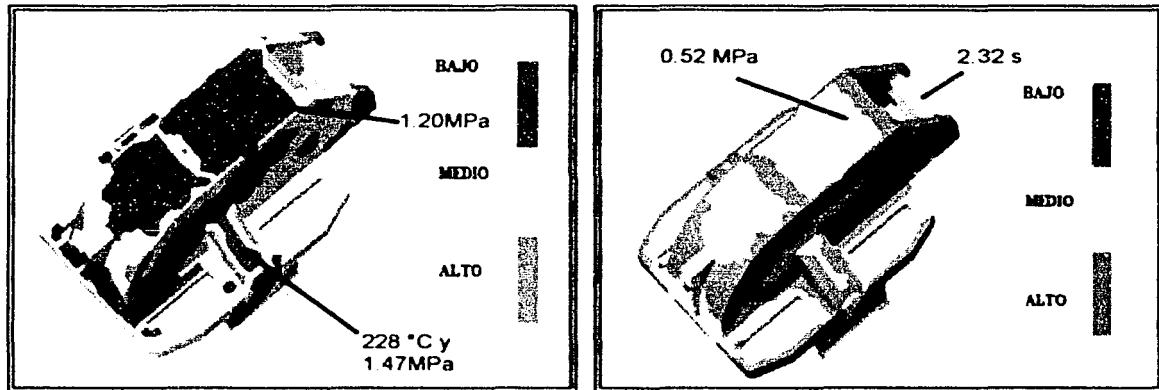


Figura 5.2 La pieza de la izquierda esta inyectada de PBT opción 1 mientras que la pieza de la derecha esta inyectada con PBT opción 2.

5.2.1 COMPARACIÓN DEL PROCESO ACTUAL CON EL PROCESO SUGERIDO

Por las razones de calidad que se describieron en el punto anterior se decide que el material que se podrá comparar con el PPS será la opción 2; para así saber si en realidad se puede realizar un diseño evolutivo. Todos los diagramas siguientes que se encuentran a la izquierda están proyectados de PPS mientras que los que están a la derecha están proyectados con PBT (opción 2).

Algunas de las propiedades de los dos materiales son las siguientes:

MATERIAL	PPS	PBT Opción 2
TEMPERATURA MÁXIMA DEL FUNDIDO	340 °C	270 °C
TEMPERATURA MÍNIMA DEL FUNDIDO	310 °C	230 °C
TEMPERATURA MÍNIMA DEL MOLDE	135 °C	40 °C
TEMPERATURA MÁXIMA DEL MOLDE	180 °C	80 °C
ESTUQUEO CORTANTE MÁXIMO	0.5 Mpa	0.4 Mpa
VELOCIDAD MÁXIMO DE CORTE	5000 1/s	5000 1/s
CALOR ESPECÍFICO	1481 J/Kg °C	1481 J/Kg °C
VISCOSIDAD	118.45 Pa.s A 305 °C	130.90 Pa.s A 230 °C
VISCOSIDAD	82.05 Pa.s A 325 °C	102.50 Pa.s A 250 °C
VISCOSIDAD	59.56 Pa.s A 345 °C	123.30 Pa.s A 270 °C
TEMPERATURA NO FLUJO	239.20 °C	195 °C

Las condiciones del moldeo son

MATERIAL	PPS	PBT Opción 2
TEMPERATURA DEL MOLDE	157 °C	70 °C
TEMPERATURA DEL FUNDIDO	340 °C	250 °C
TIEMPO DE LLENADO	0.84 s	0.19 s

★ TIEMPO DE LLENADO. En la figura 5.3, se muestra originalmente el tiempo de llenado del PPS el cual es de 0.84 segundos, mientras que el PBT es de 0.19 segundos, el patrón del flujo que se presenta en los dos casos es controlado, siendo el ultimo punto en ser llenado el extremo opuesto de la cavidad (zona azul)

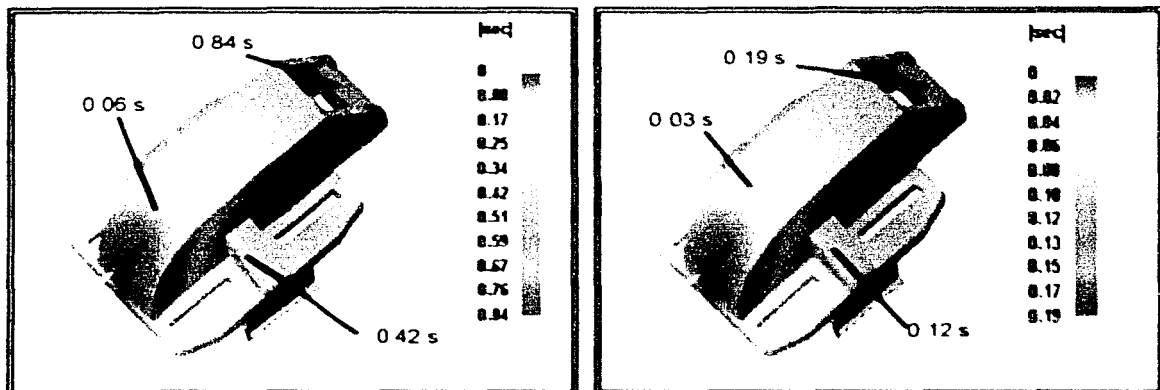


Figura 5.3 Existe una gran diferencia en el tiempo de inyección con el mismo patrón de llenado

★ **DISTRIBUCIÓN DE TEMPERATURAS.** La distribución de temperatura cuando el material va llenando la cavidad se muestra en la figura 5.4. Las dos cavidades, tanto la del PPS como la del PBT no tienen problemas de alabeamiento ya que sus gradientes son pequeños, 36°C y 19°C respectivamente.

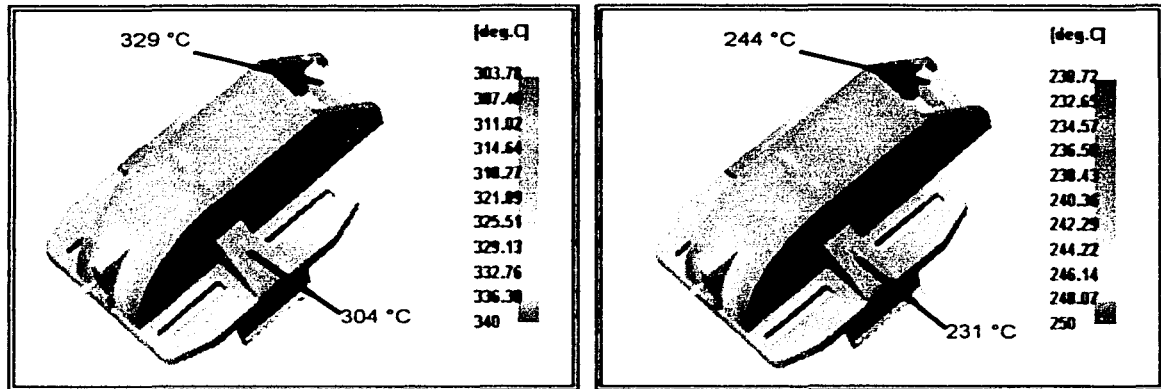


Figura 5.4 Los gradientes de las dos piezas son relativamente pequeños

★ **DISTRIBUCIÓN DE PRESIÓN** Como se muestra en la figura 5.5, el PPS por ser un material con mayor fluidez que el PBT es inyectado con menor presión. Lo importante de estas dos figuras es que el llenado o la caída de presión es constante en toda la pieza ya sea en el caso del PPS o del PBT.

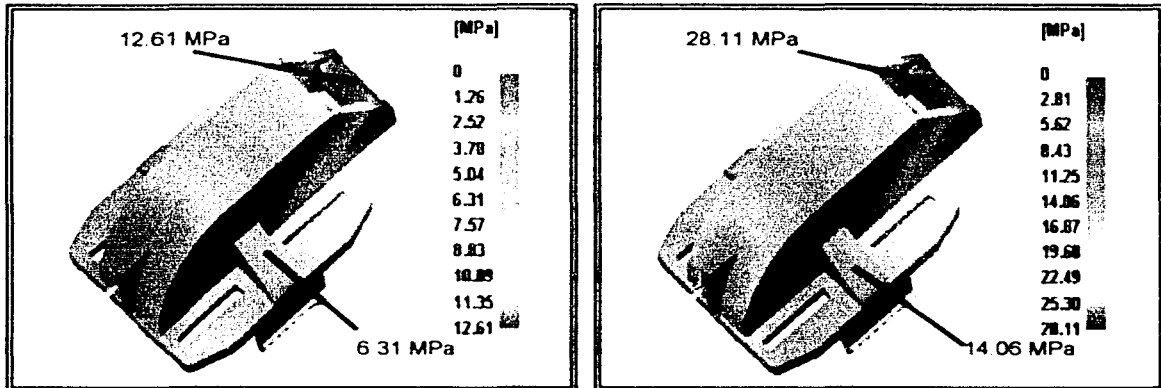


Figura 5.5 Se necesita mayor presión para el PBT ya que es un material con menos fluidez

★ **PREDICCIÓN DE LA CALIDAD** Dentro de este resultado se tiene que analizar el tiempo de enfriamiento, velocidad de corte y el esfuerzo cortante. Estos resultados se analizan con la figura 5.6

TIEMPO DE ENFRIAMIENTO El tiempo que se tarda en solidificar la parte más alejada de la pieza del PPS es de 7.71 seg., por lo cual el tiempo total para obtener una pieza es alrededor de 10 seg., mientras que para el PBT el tiempo para solidificar la zona más alejada es de 2.32 seg., siendo el tiempo total para obtener una pieza alrededor de 5 seg.

VELOCIDAD DE CORTE La máxima velocidad de corte para los dos materiales es de 50000 1/s, siendo que para el PPS la máxima velocidad se acerca a los 30000 1/s y para el PBT la máxima velocidad de corte es alrededor de 13000 1/s.

ESFUERZO DE CORTE. El esfuerzo de corte tiende a producir esfuerzos residuales en la pieza cuando este sobrepasa el esfuerzo de corte permisible. Para el caso del PPS el esfuerzo de corte no sobrepasa en toda la pieza, mientras que para el PBT es de 0.63 MPa teniendo aproximadamente 50% más esfuerzo que el permisible para este material.

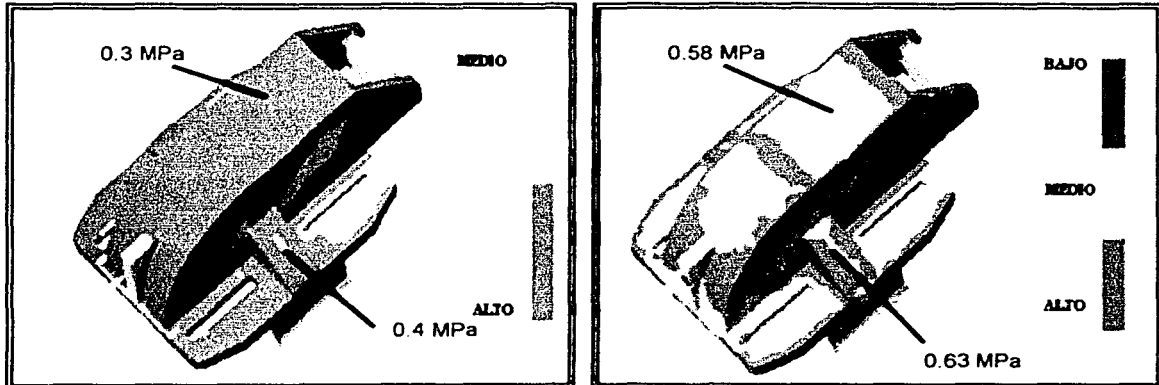


Figura 5.6 El color verde significa que las tres propiedades son satisfactorias, si dos son satisfactorias entonces el color será amarillo mientras si ninguna de las propiedades son satisfactorias se mostrara el color rojo.

★ **LÍNEAS DE UNIÓN.** En la figura 5.7 se presenta con líneas gruesas de diferente color las líneas de unión para cada material. El PBT presenta menos líneas de unión que el PPS, esto puede suceder por el tiempo de llenado y temperatura del fundido de una y otra cavidad.



Figura 5.7 Las líneas unión son las marcadas con líneas rojas, el PPS tiene más líneas de unión que el PBT.

5.3 RESULTADOS

El tiempo de llenado del PBT es aproximadamente 4.5 veces menor que el PPS, esto quiere decir que si se cambia el material el ciclo total de inyección se reduce, lo cual ayudaría para disminuir el costo del componente

Los dos materiales se comportan similar desde el punto de vista del flujo, además su mayor problema se presenta en los refuerzos laterales de la cubierta, con la diferencia que el PPS requiere de 37% más de energía térmica para llevar el material a la temperatura de flujo

La presión del PPS es más baja que la del PBT por la razón que el PPS tiene mayor fluidez así como su temperatura hace que el material fluya más rápido sin necesidad de tanta presión

Por otra parte la calidad de la pieza es similar ya que las dos graficas se comportan casi igual. las diferencias son que en el PPS solamente se tienen problemas de elevados tiempos de enfriamiento (en los refuerzos laterales) y temperatura del fundido baja. mientras que para el PBT se tienen problemas de elevados tiempos de enfriamiento y esfuerzos cortantes que exceden los limites recomendados para este PBT. Por lo cual se puede decir que los dos materiales no tendran problemas de apariencia estética ni problemas de llenado

La simulación de flujo permitió analizar la propuesta de diseño evolutivo de la pieza original siendo el material lo que se planeo cambiar. En base a los resultados es posible pensar en modificar el material inyectado originalmente y de acuerdo al material y al proceso de inyección el precio se reduce debido a que la relación entre precios de 2:1. Por lo cual se **ACEPTA** el PBT opción 2 para ser el nuevo material a ser inyectado

CONCLUSIONES

- El sector de los electrodomésticos en México tiene un gran potencial económico e industrial no solo a nivel local, tal como lo demuestra la fabricación de este tipo de enseres en los últimos veinte años, si no también a nivel internacional, debido a los diferentes Tratados de Libre Comercio, razón por la cual esta industria se vio favorecida para la exportación de sus productos hacia los mercados de Centro y Sudamérica, Estados Unidos y Canadá, convirtiéndose en una industria con muchas oportunidades de crecimiento al mediano y largo plazo
- La fuerte dinámica en los mercados globalizados demanda productos cada vez mejores y más complejos. El tiempo de obsolescencia de los productos es cada vez menor y esto ha obligado a los fabricantes de electrodomésticos a reducir sus tiempos de desarrollo mediante el uso de nuevos métodos y técnicas de diseño, tales como la simulación de flujo para el proceso de inyección de plásticos, para poder no sólo subsistir, sino también convertirse en líderes de su rama
- Al revisar el ciclo de vida de los electrodomésticos, dentro de un ambiente de Ingeniería Concurrente conjugada con la aplicación de programas para la simulación de flujo, permite responder en tiempo, forma y costo a las tendencias de la industria de electrodomésticos
 - Ahorros en el tiempo total invertido en el desarrollo de productos con respecto al sistema tradicional de prueba y error.
 - Disminución de costos en el producto mediante el mayor uso de materiales plásticos.
 - Mayores ventajas en cuanto a reducción en mermas y pruebas de producción.
- Se planteó el ciclo de vida de un componente plástico para los enseres mayores y se aplicó a un componente de un refrigerador doméstico
- Se establecieron las ventajas y limitaciones del uso del simulador de flujo *Part Adviser*, el cual se utilizó en el desarrollo de este trabajo, para el proceso de creación de componentes plásticos fabricados por el proceso de inyección de plásticos y por lo cual cabe destacar que los simuladores de flujo permiten obtener desde la etapa de diseño la visualización de un componente con altas probabilidades de éxito ya que está ha tomado en cuenta la geometría de la pieza y se ha definido el tipo, el número y la localización del punto de inyección así como las condiciones de proceso y el instrumental necesario para la producción del componente de manera virtual. En caso de presentarse un cambio, este puede hacerse a un costo mínimo, reduciendo con esto el tardado y costoso método de prueba y error
- Se conocieron y aplicaron los principios básicos del llenado del molde para piezas plásticas y las técnicas para evitar los defectos más comunes que se presentan en este tipo de piezas
- Se desarrolló un caso práctico de Diseño Evolutivo, aplicando la simulación de flujo como herramienta esencial para la sustitución de material del componente plástico denominado "dispositivo de arranque"
- La sustitución de material del dispositivo de arranque es factible desde el punto de vista reológico. Se obtuvieron las condiciones de inyección preliminares del PBT para que con estas se ajusten los parámetros en la máquina de inyección por parte del fabricante del componente. Por las características del procesamiento de este material, se reduce el tiempo de ciclo de fabricación, los costos de energía de la inyección y en consecuencia el costo total de producción del dispositivo de arranque como se vio en la sección 5.3
- El programa *Part Adviser* para la simulación de flujo se recomienda como esencial para los diseñadores de componentes plásticos, no así para los fabricantes y diseñadores de moldes los cuales requieren de sistemas más complejos.
- Finalmente, el área de la simulación de los procesos de manufactura de plásticos es un área de gran desarrollo y requiere de personal capacitado para mejorar los procesos de producción de componentes de plástico en México

ANÁLISIS DE FLUJO EN EL DISEÑO DE COMPONENTES DE PLÁSTICO EN ELECTRODOMESTICOS

Miguel Angel Cruz Morales*, Victor Hugo García Pantoja†, Gerardo Hernández Topete‡
 *Grupo Celanese, S.A. †Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNAM,
 Teocoyotilla 412, Col. Ex-Hlda. Gipe de Chimalistac, 01050 México D.F.
 Teléfono: (5) 4809423, Fax (5) 4809429

RESUMEN

Se presenta una visión general del ciclo de vida de los electrodomésticos mayores y el de los componentes de plástico inyectados en este sector. Se destaca la importancia que tiene el diseño y manufactura de los moldes de producción y prototipo para componentes plásticos y la importancia de la simulación del proceso de inyección así como los principios que rigen la aplicación de este tipo de sistemas. Finalmente se presenta un ejemplo de aplicación en refrigeradores

ABSTRACT

A general vision of the life cycle for major appliances and their plastic components is presented in this section. The importance of the mold design and the manufacturing of the prototype and production molds are discussed, as well as the importance of the simulation of the injection molding process so that the principles are established for the application in this kind of system. An example of the evolutionary design application is presented at the end.

INTRODUCCION

El propósito más inmediato de la simulación de los procesos de manufactura es permitir que el diseñador realice evaluaciones de desempeño del proceso sin la necesidad de un prototipo o un molde para obtener las primeras muestras del producto. Hasta ahora, el moldeo por inyección es el más beneficiado con este desarrollo [1].

La existencia de diversas técnicas de diseño por computadora, tales como el CAD, CAE, CAM, bases de datos y sistemas de selección de materiales plásticos, etc. han facilitado el uso de estos materiales en aplicaciones muy complejas, muchas de las cuales no podrían ser llevadas a cabo con las técnicas tradicionales. El desarrollo de moldes prototipos y de producción de una pieza de plástico se vuelve un factor crítico en cuanto al tiempo para el desarrollo de un nuevo componente de plástico.

De la misma forma, el desarrollo y fabricación de Electrodomésticos de Línea Blanca en México ha tenido un gran impulso desde el punto de vista comercial y técnico, por ejemplo Mabe y Vitro han instrumentado alianzas exitosas para exportar

aparatos electrodomésticos, apoyándose en la capacidad tecnológica y empresarial con que ya cuenta nuestro país [2]. Vitromatic, de su producción de refrigeradores, estufas y lavadoras, exporta el 40% y el restante 60% se coloca en el mercado nacional, además invierte entre el 3 y el 7 por ciento de sus ventas en investigación [3]. General Electric en México emplea 30 mil personas [4] y depende de Mabe como proveedor de todas las estufas de gas y refrigeradores que vende en Estados Unidos y Canadá [5]. La primera edición en México del Premio Nacional de Tecnología en el año de 1999 fue ganado por Vitromatic [6]. Cabe destacar, que tanto Mabe como Vitromatic cuentan con sus propios Centros de Tecnología y Desarrollo en México. La importancia de este sector industrial en México hace necesario que se lleve a cabo una revisión del ciclo de vida de los componentes de dichos productos, con el fin de acelerar el proceso de producción y aumentar la competitividad en este sector lográndose esto mediante el aumento de calidad y la reducción de costo y tiempo de desarrollo de nuevos productos.

CICLO DE VIDA DE ELECTRODOMESTICOS

Un electrodoméstico es un aparato eléctrico o electrónico que se utiliza en el hogar para facilitar las labores domésticas. Los electrodomésticos se pueden clasificar en enseres menores y mayores. Entre los enseres menores se consideran las batidoras, cafeteras, licuadoras, planchas, etc. en tanto que los enseres mayores o de línea blanca son refrigeradores, estufas, lavadoras de ropa, lavaplatos, etc. En la figura 1 se muestra el creciente incremento de las ventas nacionales de enseres mayores en las últimas dos décadas.

En la figura 2, se muestra el ciclo de vida de los enseres mayores, adaptado del modelo de Capuz [7]. Este ciclo se desarrolla en un tiempo variable dependiendo del tipo de electrodoméstico. El mercado de consumo en México tiene una frecuencia de compra o cambio de una estufa de 7.5 años, lavadoras automáticas de ropa de 11 años y en el caso de refrigeradores en un tiempo 19.2 años [8], esto depende de los hábitos de consumo y la situación económica del consumidor. El tiempo del desarrollo del producto, que es el periodo comprendido entre la

asignación de recursos al proyecto y la producción masiva del mismo, varía de 2 a 3 años dependiendo del tipo de diseño o rediseño en el producto. El tiempo de almacenamiento promedio es de 0.5 años. El tiempo de comercialización depende de la cadena de distribución, de la región del país para su venta y además de la temporalidad de estos productos, su mayor consumo se da en los meses de mayo y diciembre, y por lo cual se considera un tiempo de medio año para su comercialización. Por todo lo anterior, el tiempo del ciclo de vida de una estufa se estima en 11.5 años, el de una lavadora de ropa de 15 años y el de un refrigerador de 23.2 años. Cuando un electrodoméstico llega al mercado se cierra la primera fase de un ciclo, que empezó cuando se detecto un hueco en el mercado, que suponía una oportunidad de negocio. Y a su vez, se abre otro ciclo, en el que la competencia intenta lanzar otros productos que compitan con el nuevo objeto, y los fabricantes tratan de mejorarlo con el fin de no perder la ventaja lograda con el lanzamiento y en el cual se busca disminuir el tiempo de desarrollo con el fin de introducir nuevos productos y no perder ventas.

CICLO DE VIDA DE COMPONENTES DE PLASTICO INYECTADOS

En el diseño o rediseño de un electrodoméstico, los plásticos de ingeniería y de especialidades han ganado un gran terreno debido a su bajo peso, bajo costo y buenas propiedades mecánicas, térmicas y eléctricas dentro de los rangos de aplicación de los diferentes aparatos electrodomésticos. Los plásticos de ingeniería y de especialidades son aquellos plásticos que presentan un alto desempeño funcional con un excelente conjunto de propiedades como resistencia mecánica, térmica y eléctrica [9]. Los plásticos de ingeniería y especialidades incluyen materiales tales como poliamidas, poliacetales, policarbonato, políester termoplástico, polisulfuro de fenileno y materiales con fibras largas entre otros. Asimismo, el moldeo por inyección es una de las técnicas de procesamiento más empleadas para transformar los materiales plásticos y obtener piezas de formas muy complejas, de alta precisión y a un bajo costo. Para obtener las ventajas anteriores, se requiere el uso de mejores técnicas y métodos de diseño, así como de un buen control del proceso de fabricación para poder obtener los beneficios esperados. El ciclo de vida de un componente de plástico inyectado es un subsistema del ciclo de vida de un electrodoméstico y en el cual diferentes elementos interactúan de una manera dinámica. Este ciclo de

vida se muestra en la figura 3, así como las técnicas de diseño que se pueden aplicar en cada etapa. El desarrollo de componentes de plásticos fabricados por el proceso de inyección en un entorno de Ingeniería Concurrente, se lleva a cabo en tres etapas:

- Etapa de Diseño.
- Etapa de Prototipos.
- Etapa de Producción

Cada etapa debe contemplar diseño, selección de materiales, moldes y condiciones de procesamiento, lo que significa que las decisiones en cada una de las etapas son tomadas en forma paralela. El desarrollo de los componentes se realiza a través de un grupo interdisciplinario, como un equipo de expertos o como un equipo de empresas, tales como los fabricantes de los electrodomésticos, proveedores de plásticos, fabricantes de moldes y fabricantes de los componentes, en el cual cada uno de ellos puede y debe contribuir en el desarrollo del producto.

ETAPA DE DISEÑO

La Etapa de Diseño contempla: geometría, condiciones de operación y funcionalidad, materiales, problemas técnicos de manufactura y costos. La fase de diseño se jerarquiza en tres niveles de originalidad:

- Diseño de Innovación.
- Diseño Adaptativo
- Diseño Evolutivo.

El Diseño de Innovación es aquel que aborda el problema de diseño mediante un nuevo "principio de solución" para un componente y en el cual se enfoca su diseño completamente a la aplicación de un material plástico. Este tipo de diseño se presenta cada vez más en los nuevos modelos de electrodomésticos.

El Diseño Adaptativo se presenta cuando se mantienen los "principios de solución" conocidos y establecidos para los componentes y que regularmente se manifiesta en la Industria Nacional como la Substitución de Metales por Plástico y la Ingeniería Inversa. Este tipo de diseño, ha sido hasta el día de hoy uno de los más aplicados.

El Diseño Evolutivo, es una ligera modificación del componente para lograr el máximo desempeño, funcionalidad y reducción de costo. Este tipo de diseño se ejemplifica en la substitución de plásticos sobre-especificados y modificaciones de espesores y condiciones de inyección.

Estos dos últimos tipos de diseño realmente se consideran como rediseños [7].

La selección y especificación de materiales plásticos se basa en el uso de bases de datos de los diferentes fabricantes de materias primas y estas se pueden encontrar disponibles en Internet. Las bases de datos, las podemos dividir en bases de datos generales y

reológicas, siendo estas últimas principalmente disponibles en programas de simulación de flujo. Finalmente, la Etapa de Diseño se apoya fuertemente en las técnicas de Diseño Asistido por Computadora, CAD e Ingeniería Asistida por Computadora, CAE, asimismo esta fase recientemente se ha visto apoyada por sistemas de diseño especializado proporcionada por los fabricantes de componentes y de materias primas, por ejemplo: esta disponible en Internet un sistema de diseño de engranes de plástico [10].

ETAPA DE PROTOTIPOS

La Etapa de Prototipos contempla decisiones de manufactura de prototipos, análisis de flujo, pruebas en prototipos y rediseño. La validación del diseño de los componentes plásticos sólo se puede realizar con prototipos y moldes prototipos que deben de ser fabricados lo más parecido posible a los componentes de producción. Moldes prototipos de una sola cavidad deben ser fabricados con acero, con los canales de enfriamiento de los moldes multicavidades y los canales y puntos de inyección lo más cercano al del molde de producción. Asimismo las condiciones de inyección deben acercarse al ambiente del moldeo de producción, es decir máquina de inyección, equipo periférico e instalaciones.

Los moldes prototipo, así como los de producción, requieren un buen diseño, materiales, procesos de manufactura y tratamientos térmicos. En cuanto al diseño del molde, este lo podemos dividir en:

- Diseño Mecánico.
- Diseño Térmico
- Diseño Reológico

El Diseño Mecánico busca el dimensionamiento y distribución de cavidades, así mismo, la selección del tipo de molde a usar. Esta actividad se apoya en los catálogos electrónicos de componentes estándar para porta moldes.

El Diseño Térmico tiene como objetivo alcanzar el enfriamiento rápido y uniforme de la masa fundida, mediante la distribución y dimensionamiento de los canales de enfriamiento.

El Diseño Reológico consiste en el estudio del comportamiento del flujo de material plástico en las fases de llenado y empacamiento de la cavidad con el fin de dimensionar los canales de distribución y la forma de estos.

El diseño del molde en general se ve fuertemente apoyado por sistemas de Ingeniería y Manufactura asistidos por Computadora, CAE y CAM respectivamente, destacando recientemente en este sector industrial el uso del programa Part Adviser de Moldflow, por su costo y facilidad de uso, asimismo,

las Bases de Datos de Materiales, BDM, propias del programa.

ETAPA DE PRODUCCION

La Etapa de Producción contempla: diseño de herramental, fabricación y evaluación, análisis de flujo, selección y evaluación de equipo, pruebas y análisis de costos. Aunque la productividad guarda una importancia relevante en esta etapa, los conocimientos del diseño de ingeniería y del material son requeridos. En esta fase, el diseño del proceso de moldeo por inyección requiere de una evaluación para poder determinar si la inyección se realizará de la forma convencional o se requieren sistemas especiales de inyección, tales como:

- Sistemas Multicomponentes.
- Inyección Asistida con Gas.
- Sistemas Nucleo Perdido.
- Micromoldeo.

Para efecto de esta etapa, habrá de realizarse el diseño de detalle del herramental requerido, dado que este afecta sensiblemente la manufactura de la pieza. En esta fase, el molde de inyección debe ser definido conforme a los requerimientos de producción, determinándose: el tamaño del molde, el tipo, el número de cavidades, etc. Cabe destacar que el molde de producción se debe desarrollar en base al conocimiento obtenido del molde prototipo y con mínimas variaciones respecto a este último.

Los diferentes tipos de moldes que se tienen son [9]:

- Moldes Estándar de Dos Placas
- Moldes de Tres Placas.
- Con sistema de Desentrosque
- Moldes con Elementos Deslizantes.
- Moldes Combinados
- Moldes Stack o Varios Niveles.
- Moldes con Sistema de Colada Caliente.

Las condiciones de procesamiento de la pieza se definen de las obtenidas en el molde prototipo y del análisis de flujo.

El análisis de flujo es una importante herramienta en el diseño de moldes de inyección de plástico y para el establecimiento de condiciones iniciales de procesamiento, principalmente cuando se trata de piezas complejas. Sin embargo, el establecimiento de condiciones finales de inyección se deben realizar en base a Diseño de Experimentos para determinar las condiciones críticas de acuerdo al componente y su función. Esta área es todavía inexplorada entre muchos de los fabricantes de componentes.

Debido a que muchos de los componentes plásticos en los electrodomésticos son considerados como partes de precisión, el control de calidad debe ser

muy riguroso para alcanzar las tolerancias establecidas.

ETAPA DE EMBALAJE

La etapa de embalaje considera aspectos relacionados con el ambiente en el cual serán almacenados dichos productos para no afectar las dimensiones de los componentes debido a relajación de esfuerzos y cambios dimensionales causados por temperaturas extremas, humedad y postcontracción de los materiales plásticos

ETAPA DE COMERCIALIZACION

Regularmente esta etapa esta establecida en base a los programas de producción de los fabricantes de electrodomésticos y se trabaja bajo pedidos semanales o mensuales.

El ciclo de vida de los componentes termina, cuando se ensamblan estas partes en el producto final y se continúa el ciclo de vida de los electrodomésticos.

SIMULACION DEL PROCESO DE INYECCION

En México desde hace 11 años, se han aplicado los sistemas de simulación de flujo en plásticos de ingeniería, pero principalmente por los fabricantes de materias primas debido al alto costo de este tipo de sistemas y a la preparación técnica que se requiere del personal. Actualmente, los fabricantes de electrodomésticos cuentan ya con este tipo de sistemas, debido al desarrollo de programas de menor costo y a que se integran a los sistemas de CAD y CAM con los que actualmente cuentan. Los programas de simulación que existen para el proceso de moldeo por inyección se pueden dividir en dos grupos generales, los programas que permiten hacer análisis simples y rápidos y los sistemas más complejos, que llevan a soluciones en tres dimensiones. Asimismo, ya se cuenta con sistemas de control de procesos de producción que operan con base en los programas de simulación

Dentro de los programas de simulación rápida encontramos Part Adviser de Moldflow Corporation, FaMold y MCO de Plastics & Computer, Miniflow de The Madison Group y Quickflow de RJG Associates. En este tipo de sistemas, se toma el modelo tridimensional y se define el punto o puntos de inyección, se selecciona el material, se definen los parámetros de inyección y se realiza el análisis. Los sistemas complejos los podemos dividir en sistemas de plano medio y sistemas tridimensionales. Los sistemas de plano medio fueron los primeros en desarrollarse y que al paso del tiempo se han

empleado más para realizar la simulación del proceso de inyección. En estos sistemas, como su nombre lo indica, se hace uso de un plano medio de la pieza y se considera que los planos superiores e inferiores de la cavidad del molde son las únicas fuentes de generación de esfuerzos cortantes y de calor. Los sistemas tridimensionales aparecieron en 1998. Se considera su uso sólo cuando se presentan paredes gruesas en la pieza y no se cuenta con un plano medio obvio dentro de la misma y no pueden ser representados de una manera exacta por la mayoría de los programas de simulación de plano medio. Dentro de los programas de simulación complejos encontramos a MPI de Moldflow.

El análisis de resultados de cada uno de estos sistemas, se basa en la aplicación de diez principios:

1.- Patrón de Flujo Controlado y Unidireccional.

El principio de flujo direccional establece que el plástico deberá fluir en una sola dirección con un flujo frontal recto hasta la última zona en llenarse. Esto da un patrón de flujo unidireccional.

2.- Flujo Balanceado.

Este principio establece que las trayectorias del flujo dentro de un molde, deberán llenar todas las trayectorias de recorrido del material plástico en el mismo tiempo y con la misma presión

3.- Gradiente de Presión Constante.

La mejor eficiencia de llenado se realiza cuando el gradiente de presión se mantiene constante, esto quiere decir que la caída de presión por unidad del recorrido, es constante a lo largo de la trayectoria del flujo.

4.- Maximo Esfuerzo Cortante

El esfuerzo cortante durante el llenado deberá ser menor que el nivel crítico. El valor de este nivel crítico depende del material que se este usando así como la aplicación de la pieza

5 - Tiempo de Enfriamiento Uniforme

El tiempo de enfriamiento deberá ser uniforme en toda la pieza para evitar alabeamiento.

6 - Localización de las Líneas de Unión y Fusión.

La mejor localización de las líneas de unión y fusión será en las áreas menos sensibles, donde los esfuerzos mecánicos sean menores o donde, desde el punto de vista estetico, no sean visibles

7 - Evitar el Efecto Duda.

El "efecto de duda" ocurre cuando el flujo disminuye su velocidad o se para a lo largo de una trayectoria particular. Si el plástico dentro de la cavidad tiene dos opciones entre una sección delgada y una sección gruesa, el plástico tiende a llenar la sección gruesa primero, por que esta ruta ofrece menos resistencia al flujo.

8.- Evitar el choque de flujos.

Este principio establece que se deben de colocar los puntos de inyección de tal manera que los flujos frontales se encuentren al final del llenado de la pieza

9.- Balancear con Flujos Líderes y Deflectores de Flujo.

Usar flujos líderes, incremento local en el espesor para un decremento en el flujo en una dirección particular, o un deflectores de flujo, reducción local en el espesor para desviar el flujo, para obtener un flujo balanceado.

10.-Contracciones Térmicas Controladas.

Se necesita diseñar adecuadamente los sistemas de distribución para controlar las contracciones térmicas, para lo cual se requiere incrementar la temperatura del material en la cavidad. Esto hace que la pieza tenga mas bajos niveles de esfuerzo, sin causar degradación en el material debido a los largos tiempos de exposición a temperaturas elevadas.

El uso de los principios anteriores permite obtener piezas de calidad, mejores moldes y establecer las condiciones de inyección preliminares para la inyectora.

EJEMPLO DE APLICACION

A continuación se presenta un ejemplo de Diseño Evolutivo para la carcasa de la pieza denominada Dispositivo de Arranque la cual es un componente eléctrico del compresor de un refrigerador domestico. Al entrar en funcionamiento el compresor, el dispositivo de arranque tiene la función de energizar la bobina de arranque. Este componente esta localizado sobre una pared del compresor, operando en un rango temperatura de 80 a 110 °C. El cuerpo del dispositivo de arranque esta formado por una base y una tapa de polisulfuro de fenileno (PPS) con 40% de fibra de vidrio. Este material cuenta con aprobación UL94-V0, gran resistencia térmica, alta fluidez y es un material de alto costo. Dado el alto volumen de piezas anuales requeridas, se cuenta con moldes para la base y la tapa con ochos cavidades, colada fría y punto de inyección del tipo submarino.

Se requiere reducir el costo de la pieza, en base a una sustitución de material empleando los mismos herramientas. Dado el diseño del ensamble, la tapa es la parte que presenta la geometría mas complicada desde el punto de vista reológico, la cual puede propiciar problemas en el proceso de inyección, ver figura 4. Por lo tanto, se busca un material de bajo costo que satisfaga los requerimientos anteriores. El proveedor de material propone el polibutilen tereftalato (PBT) con 30% de fibra de vidrio y aprobación UL94-V0 para cumplir los requerimientos

de resistencia térmica y de flamabilidad para esta aplicación, por otra parte la contracción es similar al del material actual y por lo tanto se puede utilizar el mismo molde. Finalmente, el precio del material es la mitad del actual.

Se realizó la simulación del proceso de inyección de la tapa con el material original y el propuesto por el proveedor, mediante el programa Part Adviser de Molflow. Se elaboró un modelo tridimensional de la pieza, para representar una cavidad del molde, ver figura 5, el cono representa el punto de inyección.

Las condiciones de procesamiento actuales para el PPS son:

Tiempo de llenado (s):	0.84
Temperatura del molde (°C):	157
Temperatura de la masa fundida (°C):	340

En tanto que para el PBT son:

Tiempo de llenado (s):	0.23
Temperatura del molde (°C):	70
Temperatura de la masa fundida (°C):	250

TIEMPO DE LLENADO. En las figuras 6 y 7, se muestra el tiempo de llenado del PPS y PBT respectivamente. Se observa en ambos casos que el material se mueve con el mismo patrón pero a diferentes velocidades. Se observa un mayor avance del material en la superficie superior y un retraso del material en las paredes laterales de la pieza. La última zona en llenarse es la opuesta al punto de inyección con un tiempo de 0.84 para el PPS y 0.23 segundos para el PBT.

DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS. La distribución de temperaturas se muestra en las figuras 8 y 9. En el punto de inyección se tiene la mayor temperatura y en la zona de refuerzos la menor. El gradiente de temperatura para el PPS es de 60°C, en tanto que para el PBT es de 35 °C. Estos gradientes no representan un riesgo potencial desde el punto de vista de la resistencia mecánica, debido a que no existen líneas de union en las zonas de menor temperatura.

CAIDA DE PRESION. La caída de presión máxima en ambos casos es aproximadamente igual y corresponde a la última zona en llenar, ver figura 10 y 11.

LINEAS DE UNION. Las líneas de union se forman en las ranuras de la pieza principalmente y siendo las mas criticas las que se ubican en el lado opuesto al punto de inyección, ver figuras 12 y 13.

INDICE DE CALIDAD. Este índice se obtiene de la evaluación conjunta de los resultados de temperatura, presión, esfuerzo cortante, velocidad de corte y tiempo de enfriamiento. Cuando una de estas variables esta fuera de los rangos permitidos se obtiene un índice de calidad medio y un índice bajo, cuando es mayor a dos. Para ambos casos el índice bajo se obtiene en los refuerzos laterales, debido al alto tiempo de enfriamiento y baja temperatura. El índice medio se genera por exceder el máximo esfuerzo cortante para este material, ver figuras 14 y 15.

CONCLUSIONES

Para el caso particular del ejemplo de aplicación, la sustitución de material es factible desde el punto de vista reológico. Se obtuvieron las condiciones de inyección preliminares del PBT para con estas, ajustar los parámetros en la maquina de inyección por parte del fabricante del componente. Por las características de procesamiento de este material, se reduce el tiempo de fabricación, los costos de energía de la inyectora y en consecuencia el costo total de producción del dispositivo de arranque.

En general, el diseño y rediseño de componentes de plástico involucra a todos los participantes dentro del concepto de trabajo de la ingeniería concurrente y permite el incremento de la calidad del diseño y la disminución del costo y tiempo de desarrollo. El sistema empleado en este trabajo para la simulación del flujo se recomienda como esencial para los diseñadores de componentes, no así para los fabricantes de moldes, los cuales requieren de los sistemas mas complejos. Finalmente, el area de la simulación de los procesos de manufactura de plásticos es un área de gran desarrollo y requiere de personal capacitado para mejorar los procesos de producción de componentes de plástico en México.

REFERENCIAS

[1] Carlos Serrano, Alcances de la Simulación Computarizada. Tecnología del Plástico. Junio pp 6-7, 1999.
 [2] Guillermo Fernandez, La Formación del Ingeniero y el Desarrollo Tecnológico. El futuro de la enseñanza de la ingeniería, Facultad de Ingeniería, UNAM, 1994
 [3] Eugenio Real, Ambicioso Plan de Expansión de Vitro, Unomasuno, 20 enero 2000
 [4] Aaron Bernstein, La Marcha de GE Hacia el Sur, El Norte, 6 diciembre 1999
 [5] El Financiero, Califican a Fital de Mabe, 5 enero 2000.

[6] Efraín Bárcenas, Cúpula Regia, El Economista, 20 enero 2000.
 [7] Salvador Capuz Rizo, Introducción al Proyecto de Producción, Alfaomega, 2000.
 [8] Appliance, Portrait of the Latin America Appliance Industry, enero 2000.
 [9] IMPI, Enciclopedia del Plástico, Tomo I, 2000.
 [10] <http://www.ufe.com>

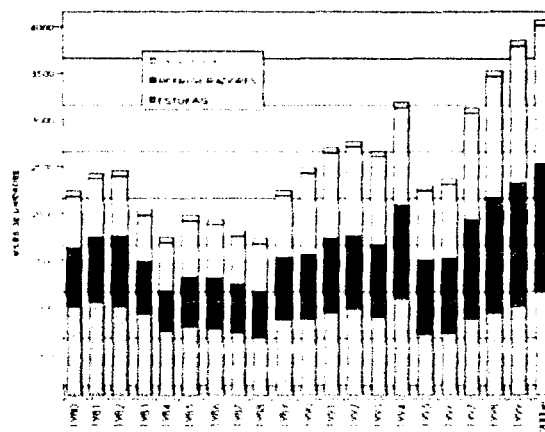


Figura 1. Ventas nacionales de enseres mayores. ANFAD

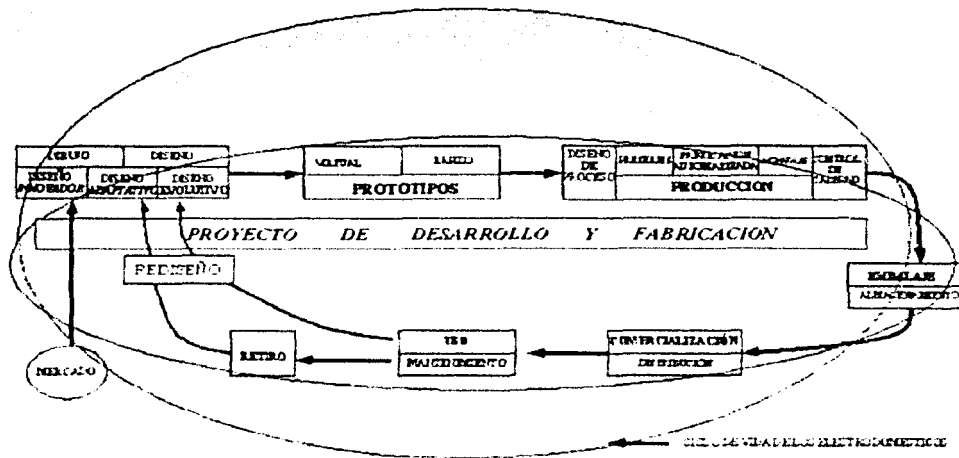


Figura 2. Ciclo de vida de los enses mayores

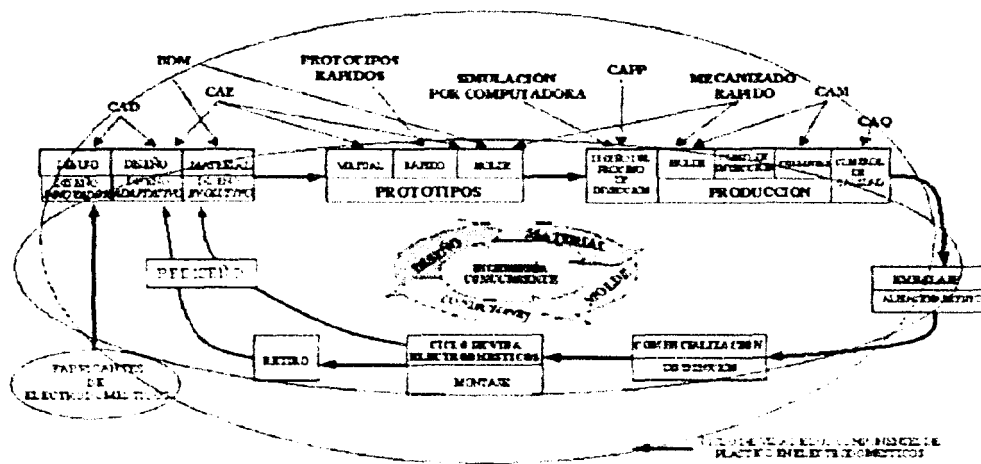


Figura 3. Ciclo de vida de un componente de plástico en los enses mayores



Figura 4. Dispositivo de arranque

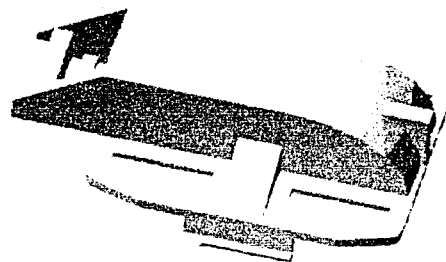


Figura 5. Modelo tridimensional de la tapa

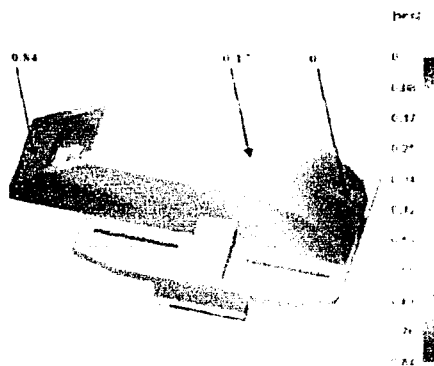


Figura 6. Tiempo de llenado PPS

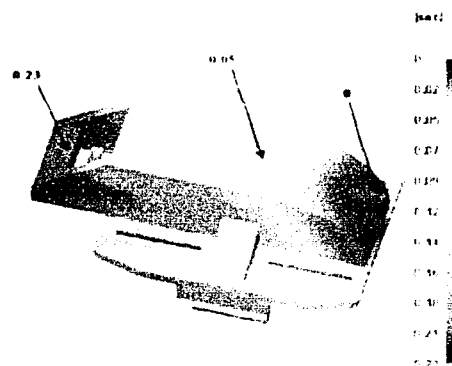


Figura 7. Tiempo de llenado PBT

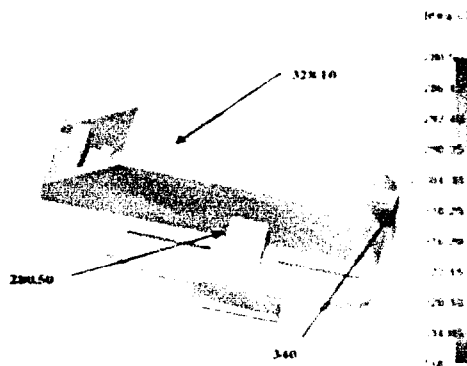


Figura 8. Distribución de temperatura PPS

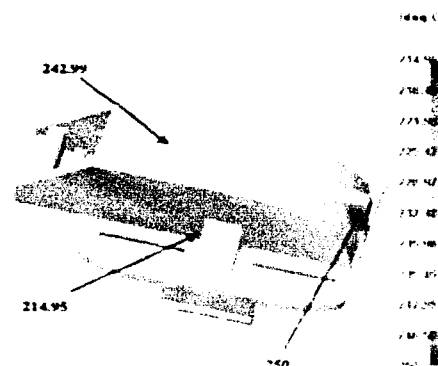


Figura 9. Distribución de temperatura PBT

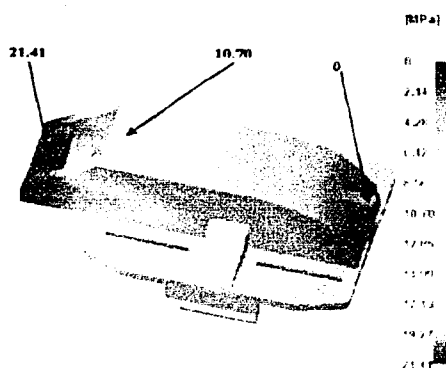


Figura 10. Distribución de presión PPS

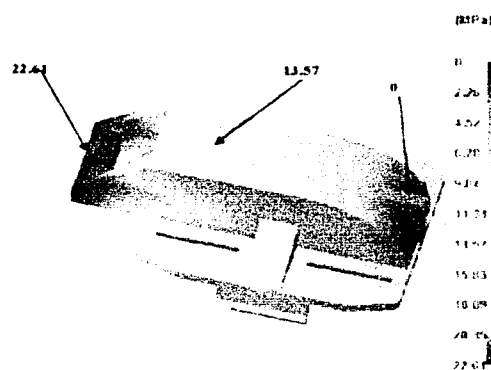


Figura 11. Distribución de presión PBT

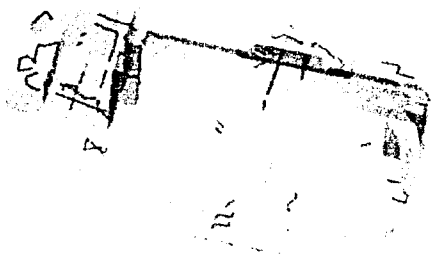


Figura 12. Líneas de unión PPS



Figura 13. Líneas de unión PBT

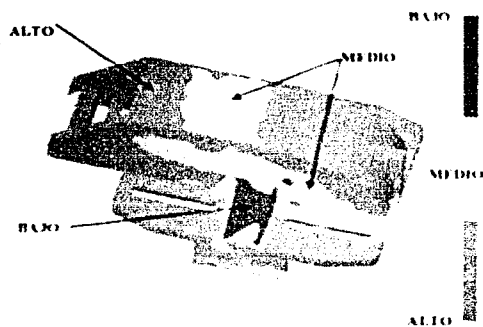


Figura 14. Índice de calidad PPS

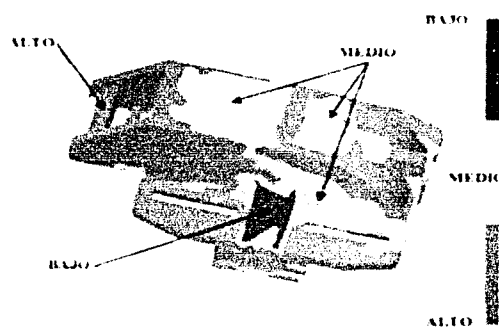


Figura 15. Índice de calidad PBT



CARTA DE ACEPTACIÓN

Primer Autor: Cruz Morales Miguel Angel

Título del Trabajo: Análisis de flujo en el diseño de componentes de plástico en electrodomesticos

Muy distinguido colega

Sirva la presente para informar a usted que, el H. Comité Evaluador del VII Congreso Anual de la Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica A.C., ha tenido a bien aceptar para su presentación el trabajo cuyo título se indicó con anterioridad.

Para que el trabajo sea incluido en las memorias del congreso, éste deberá ser recibido a más tardar el día 10 de septiembre próximo en esta coordinación de área, en la dirección que se indica a continuación, a la atención de un servidor.

UNAM Facultad de Ingeniería
Laboratorios de Ingeniería Mecánica
Circuito exterior, Ciudad Universitaria,
C.P. 04510, Coyoacán, D.F.
México

El trabajo deberá ser presentado de acuerdo al formato que se anexa, tomando en cuenta las correcciones que en su caso se hayan indicado en la hoja de evaluación.

Para cualquier duda que pudiera surgir me pongo a su disposición en los teléfonos (01) 56 22-80-57 ó 59, y por correo electrónico armando.ortiz@servidor.unam.mx

Atentamente
México D.F., a 22 de agosto del 2001


M. en I. Armando Ortiz Prado
Coordinador del Área de Diseño y Manufactura

SOMM
Sociedad Mexicana de Ingeniería Mecánica A.C.
Circuito Exterior, Ciudad Universitaria, Coyoacán, D.F. 04510

Artículo: Análisis de flujo en el diseño de componentes de plástico en electrodomésticos

Nota: Favor de regresar este manuscrito (junto con el artículo) inmediatamente si no puede efectuar la revisión del artículo antes de la fecha señalada.

RESULTADO DE LA EVALUACIÓN

Favor de señalar (X) lo que de acuerdo a su opinión corresponde al artículo revisado:

	Malo	Aceptable	Buena	Excelente
Originalidad del trabajo			X	
Interés en el campo de la Ing. Mec.			X	
Pertinencia en el tratamiento del tema.			X	
Organización del trabajo.		X		
Claridad en la escritura, tablas, gráficas, ecuaciones, ilustraciones, etc..		X		

	Sí	No
¿El artículo presenta errores técnicos?		X
¿El artículo incluye propaganda comercial?		X
¿Conoce publicaciones previas de este trabajo?		X

SU RECOMENDACIÓN ES:

1. Aceptar el artículo para presentarse en el congreso y publicarse en las memorias _____
2. Aceptar el artículo para presentarse en el congreso y publicarse en memorias haciendo del conocimiento del autor las recomendaciones de los revisores sobre cambios sugeridos para mejorar su presentación _____
3. Rechazar el trabajo (justificar su recomendación en los comentarios) _____

Comentarios (usar el reverso de la hoja en caso de ser necesario): _____

*La tabla 2 no identifica claramente los tipos de Aparente
 Las figuras no muestran los diferentes colores
 de los análisis (se recomienda identificarlos de
 otra forma).*

Artículo: Análisis de flujo en el diseño de componentes de plástico en electrodomésticos

Nota: Favor de regresar este manuscrito (junto con el artículo) inmediatamente si no puede efectuar la revisión del artículo antes de la fecha señalada.

RESULTADO DE LA EVALUACIÓN

Favor de señalar (X) lo que de acuerdo a su opinión corresponde al artículo revisado:

	Malo	Aceptable	Bueno	Excelente
Originalidad del trabajo			✓	
Interés en el campo de la Ing. Mec.				✓
Pertinencia en el tratamiento del tema.				✓
Organización del trabajo.			✓	
Claridad en la escritura, tablas, gráficas, ecuaciones, ilustraciones, etc..			✓	

	Sí	No
¿El artículo presenta errores técnicos?		✓
¿El artículo incluye propaganda comercial?	✓	
¿Conoce publicaciones previas de este trabajo?		✓

SU RECOMENDACIÓN ES:

1. Aceptar el artículo para presentarse en el congreso y publicarse en las memorias ✓
2. Aceptar el artículo para presentarse en el congreso y publicarse en memorias, haciendo del conocimiento del autor las recomendaciones de los revisores sobre cambios sugeridos para mejorar su presentación _____.
3. Rechazar el trabajo (justificar su recomendación en los comentarios) _____

Comentarios (usar el reverso de la hoja en caso de ser necesario): _____

Cambiar sistema de referencia
Ver citas en el texto

BIBLIOGRAFIA

- 1) Bernsteur Aaron, "La marcha de GE hacia al Sur", Business Week, International Edition, Diciembre 1999.
- 2) Capuz Rizo Salvador, "Introducción al proyecto de producción, ingeniería concurrente para el diseño de producto", Editorial Alfa-Omega, Universidad Politécnica de Valencia
- 3) Colin Austin, "Moldflow Design Principles", edit. Moldflow Pty Ltd, 1995
- 4) Dr. Gordillo Aubert Antonio, "Influencia de la Inyección sobre el comportamiento mecánico de compuestos de Polipropileno", Universitat Politècnica de Catalunya, Barcelona, Febrero 2000.
- 5) M.C. Yañez Isaura, Dr. Sánchez Saúl, "Moldeo por inyección de plásticos", edit. CIQA (Centro de Investigación en Química Aplicada), 1999.
- 6) Rosato V. Donald, "Injection Molding", Second Edition, Edit. Chapman & Hall, 1995.
- 7) Cracknell P.S. and Dyson R.W., "Handbook of Thermoplastics Injection Mould Design", edit. Blackie Academica & Professional, 1998
- 8) Rosato V. Donald and Rosato V. Dominick, "Designing with Plastics and Composites a Handbook, Edit. Van Nostrand Reinhold, New York, 1991

OTRAS FUENTES

- A) Latin America Statistics International, January 2000, pag. 91
- B) Revista conmemorativa de Mabe, edición especial 1998.
- C) www.vto.com
- D) www.lienz.com.mx
- E) www.lgc.com.mx
- F) Ayuda del programa MPA 4.0 (Moldflow Part Adviser)
- G) Disco Compacto "CD" Ticona, Technical Literature
- H) Disco Compacto "CD" Moldflow Plastics Advisers 3.10
- I) www.moldflow.com
- J) Artículo SOMIM 2001: "Análisis de Flujo en el Diseño de Componentes de Plástico en Electrodomésticos", Cruz Morales Miguel Angel, Victor Hugo García Pantoja, Gerardo Hernández Topete. Grupo Celanese, S.A., Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNAM