

23



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN

PROPUESTA DE MEJORA EN LA CALIDAD DE
AUTOPARTES HECHAS DE POLICARBONATO
FABRICADAS POR INYECCIÓN

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N:
COLEOTE PEREZ MIGUEL ANGEL
HERNANDEZ BAZAN FERNANDO

DIRECTORA:

ARQ. LILIA TURCOTT GONZALEZ

ASESOR:

M.cn ING. ALBERTO REYES SOLIS



MÉXICO

2002



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.

*A mis padres por haberme dado
la confianza y creer en mí.*

*A Bety, Gaby y Chayo por
acompañarme durante este
tiempo. Gracias.*

*A mis padres Sra. Dolores Bazán de Hernández
y al Sr. Raúl Hernández García con especial afecto
y cariño por estar a mi lado en momentos gratos y
dificiles de mi trayectoria profesional y que han
sido mis guías por el andar de la vida.*

*A mis hermanos Raúl, Ricardo, Rosario
Daniel, Dolores y Lourdes que han sido
parte de mi experiencia y formación
profesional.*

*Al Profesor Alberto Reyes Solís
por haber tenido confianza en este
proyecto y en dos personas en el
arranque de su carrera.*

*Agradezco el apoyo incondicional
al Profesor Alberto Reyes Solís
que con su ímpetu y excelente
dirección y asesoramiento fue
posible la culminación de este
importante proyecto.*

*También agradezco a todos los
profesores que fueron parte de
mi formación de los cuales tengo
un grato recuerdo. Gracias*

INDICE

INTRODUCCION	1
CAPITULO I QUIEN ES EOSA Y LOS PRODUCTOS QUE MANUFACTURA.	
1.1 ORIGEN DE EOSA	3
1.2 EOSA Y LOS MATERIALES PLÁSTICOS	3
1.3 PRODUCTOS ELABORADOS	3
1.4 POLÍTICAS DE CALIDAD	4
CAPITULO II LOS POLIMEROS, SU CLASIFICACION Y PROPIEDADES GENERALES.	
2.1 HISTORIA DE MATERIALES PLÁSTICOS	5
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS POLÍMEROS	6
2.2.1 Uniones	9
2.2.2 Cristalinidad	9
2.2.3 Aditivos	11
2.3 CLASIFICACIÓN DE LOS PLÁSTICOS POR CONSUMO	12
2.3.1 Comodities	12
2.3.2 Versátiles	12
2.3.3 Técnicos o de ingeniería	13
2.3.4 Especialidades	13
2.4 CLASIFICACIÓN GENERAL	13
2.4.1 Materias primas para la obtención de materiales plásticos	15
2.4.2 Termoplásticos	15
2.4.3 Importancia comercial de los termoplásticos	16
2.4.4 Propiedades mecánicas de los termoplásticos	18
2.4.5 Comportamiento térmico de los termoplásticos	19
2.4.6 Propiedades físicas de los termoplásticos	19
2.4.7 Termofijos	19
2.4.8 Propiedades y características de los polímeros termofijos	20
2.4.9 Polímeros termofijos importantes	21
2.4.10 Elastómeros	22
2.4.11 Elastómeros termoplásticos	23
2.5 FORMA DE PRESENTACIÓN DE LOS PLÁSTICOS	23
CAPITULO III EL POLICARBONATO; PROPIEDADES, CARACTERÍSTICAS Y APLICACIONES	
3.1 GENERALIDADES	24
3.2 CLASIFICACIÓN	24
3.2.1 Viscosidad	25
3.2.2 Grados modificados	25
3.3 PRODUCCIÓN DE POLICARBONATO	26
3.4 ANÁLISIS POR TIPO DE PLÁSTICO	27
3.4.1 Policarbonato de alta, media y baja viscosidad	27
3.4.2 Aplicaciones	29
3.4.3 Especialidades	30

3.5	PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN	32
3.5.1	Acondicionamiento previo	32
3.5.2	Secado	32
3.5.3	Regranulado	33
3.6	APLICACIONES DIVERSAS DEL POLICARBONATO	33
3.7	MAKROLON (POLICARBONATO)	35
3.8	MAKROLON AL-2405	36
3.8.1	Descripción	36
3.8.2	Propiedades	36
3.8.3	Procesamiento	37
3.8.4	Valores técnicos de makrolon AL-2405	38

**CAPITULO IV VARIABLES Y ELEMENTOS
QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE INYECCION.**

4.1	GENERALIDADES	39
4.2	EL PROCESO DE INYECCIÓN DE PLÁSTICOS	40
4.2.1	Descripción del proceso de inyección	40
4.2.2	Parámetros que intervienen en la fase de llenado de la pieza	42
4.2.3	Fase de plastificación	49
4.2.4	Fase de enfriamiento	50
4.3	LA MAQUINA DE INYECCIÓN DEMAG ERGOTECH250	53
4.3.1	Descripción general de la maquinaria industrial	53
4.4	UNIDAD DE INYECCIÓN	55
4.4.1	Tolva	55
4.4.2	Cañón	56
4.4.3	Husillo	56
4.4.4	Boquilla	58
4.4.5	Punta husillo y válvula antiretorno	59
4.4.6	Sistemas de cierre	60
4.5	ELEMENTOS DE UN MOLDE DE INYECCIÓN	63
4.5.1	Partes de molde y sus funciones	64
4.5.2	Bebedero directo	65
4.5.3	Sistemas de ventilación	66
4.5.4	Sistema de expulsión de pieza	66
4.5.5	Sistema de enfriamiento	67

**CAPITULO V LA NORMATIVIDAD QS-9000
PARA EL ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA DE UNA AUTOPARTE**

5.1	CONSIDERACIONES GENERALES	69
5.2	¿QUÉ ES UN AMEF?	72
5.3	OBJETIVO DEL AMEF	73
5.4	TIPOS DE AMEF	73
5.5	PASOS BÁSICOS PARA EL ANÁLISIS DE PROCESOS, COMPONENTES O PARTES DE ENSAMBLE.	74
5.6	AMEF DE PROCESO	74
5.6.1	Pasos que deben seguirse para realizar un AMEF exitoso	76
5.7	PROCEDIMIENTO PARA LA REALIZACIÓN DEL AMEF	82
5.8	DIAGRAMA DE PARETO	84
5.8.1	Introducción	84
5.8.2	Definición y generalidades	84
5.8.3	Pasos para la construcción de un diagrama de Pareto	85

5.8.4	Usos del diagrama de Pareto	87
5.8.5	Beneficios del diagrama de Pareto	87
CAPITULO VI PROPUESTA DE MEJORA BASADA EN LA NORMATIVIDAD APLICABLE		
6.1	PROCESO DE INYECCIÓN DE COMPONENTE DE CALAVERA	88
6.2	EL DIAGRAMA DE PARETO COMO HERRAMIENTA PARA DETECTAR LAS CAUSAS QUE ORIGINAN PROBLEMAS EN UNA AUTOPARTE INYECTADA	90
6.2.1	Aplicación del diagrama de Pareto a un problema de calidad.....	90
6.3	APLICACIÓN DEL ANÁLISIS DE MODO Y EFECTO DE FALLA COMO MÉTODO DE SOLUCIÓN.....	94
6.4	PROPUESTA DE AMEF PARA CALAVERA COMBINADA UNIVERSAL INYECTADA CON MAKROLON AL-2405	95
6.4.1	Descripción de la función del proceso	95
6.4.2	Descripción del modo de la falla	95
6.4.3	Descripción del efecto de la falla	95
6.4.4	Estimación de la frecuencia de la ocurrencia de la falla	96
6.4.5	Estimación de la severidad de la falla	96
6.4.6	Estimación del grado de detección	96
6.4.7	Calculo del numero de prioridad de riesgo (NPR)	97
6.4.8	Acciones correctivas recomendadas	97
6.4.9	Acciones tomadas	99
6.5	ANALISIS DE RESULTADOS DESPUES DE LAS ACCIONES CORRECTIVAS TOMADAS	104
CONCLUSIONES		107
BIBLIOGRAFIA		108

INTRODUCCIÓN

Hoy en día, la posición del mercado del plástico es muy importante en México, ya que la mayoría de productos con los que interactuamos diariamente están hechos de plástico, esta industria es uno de los tantos vínculos del ingeniero mecánico con la industria y se da a partir de las necesidades de las empresas de tener productos competitivos en el mercado y que tengan una utilidad alta; El presente trabajo tiene como punto de partida esta necesidad en la aplicación de un método analítico para la mejora de un proceso y se da a partir de la siguiente situación:

Suponiendo que la carrera por la ventaja competitiva obliga a reducir las mermas y mejorar la calidad, y que una empresa ahorra \$100 000 al año en mano de obra y materiales cada vez que reduce las mermas en 1%. Si el nivel de mermas era del 5% y la compañía pudiera duplicar el nivel de calidad reduciendo las mermas al 2% aproximadamente, el ahorro representaría \$300 000 al año. Supongamos que la inversión requerida en equipo, herramental o capacitación para lograr esta mejora fuera de \$200 000 la recuperación de esta inversión se lograría en menos de un año y el juicio de costos nos diría que lo hiciéramos.

Veamos como el uso de este puente de costos incide sobre los cada vez mayores pasos para mejorar la calidad en la carrera por lograr el mínimo de defectos. Duplicar la calidad de nuevo, para reducir las mermas del 2% al 1% producirá un ahorro de solo \$100 000. La inversión que ahora se requiera será indudablemente superior a los \$200 000, puesto que el primer paso probablemente requirió de una solución de tan solo uno o dos problemas importantes, en cambio que este paso puede implicar varias inversiones para resolver problemas más pequeños. No obstante, supongamos que la inversión sigue siendo solo de \$200 000. La decisión es ahora menos claro puesto que se necesitan dos años para recuperar la inversión.

El ahorro de una tercera duplicación de la calidad, reduciendo las mermas del 1% a %0.5 será de sólo \$50 000, nuestra inversión será con toda seguridad superior a los \$200 000, pero seamos conservadores y utilicemos de nuevo esta cantidad. Ahora el juicio de costos nos dirá claramente que no lo hagamos puesto que la recuperación en 4 años no justifica la inversión.

Sustentados en este concepto de COSTO-MEJORA DE CALIDAD nos dimos a la tarea de implementar dentro de EOSA un método analítico de reducción de costos basado en la aplicación de herramientas de calidad.

Nuestra idea es que, al iniciar una concientización del personal que interviene en un proceso de inyección acerca de cómo influyen los parámetros de inyección en una pieza y como afecta el mal manejo de estos parámetros.

El inicio de esta metodología se da con conocer de primera mano cual es la materia prima con la que estamos trabajando, cuales son sus componentes y cual es su comportamiento en un proceso.

A continuación tenemos que conocer la máquina en la que se esta procesando esta materia prima y también tener el conocimiento que las características de calidad de un producto final son variables para cada tipo de producto y que debido al manejo de los parámetros de la máquina dentro del proceso estos también son variables.

De vital importancia es tener identificados estos parámetros variables dentro del proceso, y basados en observaciones técnicas y análisis realizados por especialistas en la materia de inyección de plásticos podemos establecer las bases para implementar un AMEF (análisis del modo y efecto de la falla), esta es una herramienta de calidad que nos da la pauta y el inicio de nuestra carrera en la reducción de costos y mejora de calidad.

Nuestro principal objetivo es dar las bases para la implementación de un AMEF de proceso analizando un producto en específico y que, si es bien implementado arroje resultados a corto plazo para que pueda ser aplicado a todos los productos que se manufacturan en EOSA.

CAPITULO I QUIEN ES EOSA Y LOS PRODUCTOS QUE MANUFACTURA.

1.1 Origen de EOSA

Electro Optica es una sociedad anónima perteneciente al GRUPO HEMEX y que está clasificada dentro del ramo automotriz que trabaja bajo la patente alemana "HELLA" y tuvo sus orígenes en Privada Cumbres de Acutzingo No. 202 Fraccionamiento los Pirules Tlalnepantla Edo. de México C.P.: 54040 en el mes de Agosto de 1969.

Desde esa fecha la compañía ha contribuido al desarrollo de la industria Automotriz Nacional e Internacional creando y desarrollando básicamente equipo automotriz original, que finalmente reditúa en seguridad y confort de los usuarios de automóviles.

Electro Optica ha conformado su organización de tal manera que las diferentes áreas que la componen realizan sus funciones en forma coordinada y armónica; desde la recepción de la materia prima, hasta la salida para su venta del producto terminado.

1.2 EOSA y los materiales plásticos

En México como en muchas partes del mundo, los plásticos toman día a día más auge en la producción de diferentes artículos; las nuevas tecnologías van enfocadas a la utilización de este material, que por su facilidad de manejo y bajo costo, ofrece soluciones en términos de facilidad y economía a la industria y la vida cotidiana. Las plantas que utilizan este material en forma inyectada deben contar con todos los elementos para llevar a cabo y con buenos resultados el trabajo a realizar. Aquí en EOSA, se tiene el material humano y técnico que nos permite mantener todo el difícil proceso del plástico inyectado. Se cuenta con máquinas de inyección de 10 gr. hasta 6 kg. con una fuerza de cierre hasta de 1400 toneladas, obteniéndose así un magnífico resultado en el proceso del plástico dentro de la empresa, contribuyendo al desarrollo técnico de nuestro país.

1.3 Productos elaborados

Electro Optica es una empresa de apoyo a la Industria Automotriz, en los aspectos referentes a la seguridad visual, auditiva, etc. La fabricación de faros, señales luminosas, espejos, luces, bocinas, claxon, interruptores y accesorios, viene siendo la línea de fabricación más completa que hay en México. Cuenta con la innovación de las luces de halógeno, de gran capacidad luminica y claridad, con las que un conductor puede guiarse seguro sobre cualquier tipo de camino, estos faros se fabrican en varias modalidades, bien sea como equipo original, de ensamble o deportivos.

La calidad de sus productos la han puesto en la preferencia de los fabricantes de automotores más importantes del mundo: V.W., Ford Motor Company, General Motors de México, Chrysler de México, Nissan Mexicana.

1.4 Políticas de calidad.

HEMEX es un grupo importante de empresas de la industria automotriz en México que en todas sus decisiones y acciones tiene como principio la satisfacción de sus clientes internos y externos y con ello garantizar su permanencia en el mercado.

Para la realización de esta filosofía HEMEX es una empresa certificada bajo la norma ISO-9000, orientándose en el Plan de Calidad Estratégica de HELLA INTERNACIONAL del cual se adopta especialmente los siguientes cinco principios:

- Prever la satisfacción de las especificaciones, necesidades y expectativas de clientes internos y externos.
- Establecer un ambiente de trabajo motivador para todo el personal.
- Todo trabajo en el grupo HEMEX debe generar utilidades.
- Realizar con excelencia todas las funciones administrativas y operativas de la empresa.
- Todos los niveles de la organización deben participar permanentemente en la discusión y realización de una mejora continua.

El sistema de Aseguramiento de la calidad dependerá de la debilidad de estos pilares, por lo que resulta prioritario reforzarlos a través de consideraciones económicas y metas claramente definidas y mensurables. A su vez, se lleva a cabo, en toda la planta, una correcta aplicación de la norma ISO 9000 de acuerdo a los criterios internacionales.

CAPITULO II LOS POLIMEROS, SU CLASIFICACION Y PROPIEDADES GENERALES.

2.1 Historia de materiales plásticos¹⁹

La historia de los plásticos se remonta a mas de 100 años de antigüedad, aunque comparando este tiempo con otros materiales, los plásticos son relativamente modernos. Sin embargo, aun cuando los plásticos se consideran como una invención moderna, siempre han existido polímeros naturales tales como el ámbar, conchas y cuernos de animal. Estos materiales se comportaban como los productos de plástico manufacturados actualmente. Por ejemplo durante el siglo XVIII los cuernos de animales los cuales se hacían transparentes o pálidos con el calor llegaron a ser usados como sustitutos del vidrio.

PLASTICOS es una palabra que deriva del griego "Plastikos" que significa capaz de ser moldeado, sin embargo, esta definición no es suficiente para describir de forma clara a la gran variedad de materiales que aquí se denominan.

Los plásticos forman parte de la gran familia de los polímeros, palabra de origen latín que significa poli (muchas) y meros (partes), de los cuales se derivan otros productos como los adhesivos, recubrimientos, pinturas, etc., por mencionar algunas aplicaciones.

En la actualidad plásticos es el nombre general que recibe todo un grupo de materiales, cuya característica principal es la de estar formado por grandes moléculas, las que a su vez, se componen de pequeñas unidades que se repiten entre 200 y 10,000 veces, por esto, los plásticos son llamados polímeros

El primer plástico elaborado por el hombre fue descubierto por Alexander Parkes en 1862 el cual fue nombrado como Parkesine; Este era un material orgánico extraído de la celulosa y que una vez calentado podría ser moldeado y retener la forma cuando se enfriase. Parkes afirmaba que este nuevo material podría hacer lo mismo que el caucho fuera capaz de hacer, a un bajo precio.

En 1907, el químico Leo Hendrik Baekland, mientras se esforzaba por producir barniz sintético se encontró con la fórmula de un polímero sintético nuevo originado del alquitrán de hulla.

Baekland subsecuentemente nombró a la nueva sustancia como "bakelita". Debido a sus propiedades como un aislante eléctrico, la bakelita fue usada en la producción de productos de alta tecnología tales como cuerpos de cámara y teléfonos.

Después de la segunda guerra mundial, plásticos nuevos tales como el Poliuretano, Poliesteres, silicones y polipropileno, policarbonatos y Polimetil metacrilato unido con poliestireno y PVC fueron utilizados para aplicaciones generales debido a su bajo costo, y entonces fueron considerados productos de consumo común.

¹⁹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

2.2 Descripción de los polímeros⁵

Los altos polímeros son un grupo muy importante de materiales no sólo debido a su creciente importancia para la ingeniería, sino también debido a que las estructuras pueden alterarse y hacerse a medida para dar un amplio espectro de color, transparencia y facilidad de transformación en comparación con los materiales metálicos.

La estructura central de cada material orgánico es la cadena de átomos de carbono, por ello es importante analizar primero el carbono solo. En la figura 2.1a se ve que hay cuatro electrones en la capa exterior generando una valencia de cuatro. Con cada electrón se puede formar un enlace covalente a otro átomo de carbono o a un átomo extraño figura. 2.1b. Los elementos que se encuentran con mayor frecuencia y su valencia son:

Valencia 1 : H,F,Cl,Br,I
 Valencia 2 : O,S
 Valencia 3 : N
 Valencia 4 : C,Si

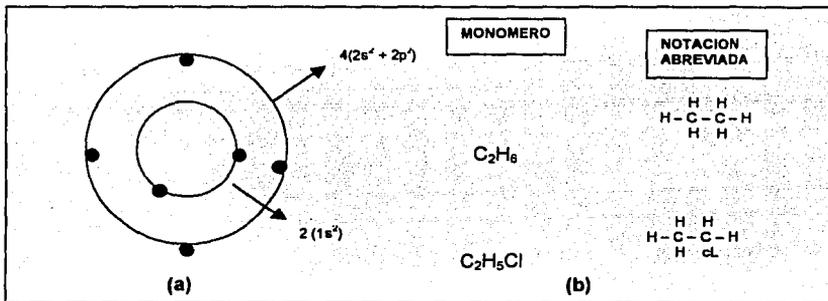


Figura 2.1 (a) Croquis simplificado de los electrones del carbono. Nótese que hay disponibles cuatro electrones de valencia para las uniones covalentes (b) Enlaces de carbono en los monómeros sencillos compartiendo pares de electrones.⁵

En el corazón de cada estructura polimérica está el hecho de que dos átomos de carbono pueden tener uno, dos o tres enlaces comunes, (es decir, compartir uno, dos o tres pares de electrones); así como unirse con otros átomos. Generalmente esto se muestra en dos dimensiones, figura 2.2, pero es importante tener presente que hay una estructura tridimensional semejante al silicio (figura 2.4) en el centro de un tetraedro tridimensional.

Sin embargo, se pueden mostrar características importantes empleando una figura bidimensional.

⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

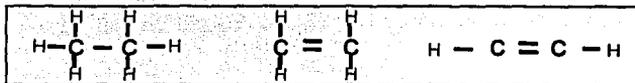


Figura. 2.2 Enlaces sencillos dobles y triples del carbono etano, eteno y acetileno⁵

Es importante mencionar que como consecuencia de enlazar átomos de carbono formando cadenas de longitud creciente existirán cambios en la materia por lo siguiente. Si comenzamos con el etano, C_2H_6 , que tiene dos átomos de carbono por molécula, tenemos un gas. Luego a medida que aumentamos el número de átomos de carbono en la cadena de cientos de ellos, pasamos por los líquidos de punto de ebullición creciente hasta grasas y sólidos. Finalmente, cuando llegamos a más de 1 000 átomos de carbono, obtenemos los materiales con las características de los plásticos, los que combinan propiedades tales como resistencia, flexibilidad y tenacidad. Estos fenómenos se deben al punto básico de que a medida de que la longitud de las moléculas aumenta, la fuerza total de adhesión entre las moléculas aumenta. Hay fuerzas de Van der Waals entre las moléculas y entrelazamientos mecánicos entre las cadenas.

En vista de estas propiedades de las moléculas grandes, la estructura central de los polímeros, se encuentra formada por un arreglo bidimensional en línea recta como se muestra en la figura 2.3.

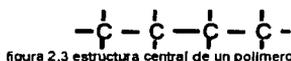


figura 2.3 estructura central de un polímero

Esta no es la situación real porque cada enlace está a 109° con respecto al siguiente. Así la estructura central de carbonos se extiende por todo el espacio como si fuera una cuerda torcida con enchufes de hueco cilíndrico a 109° uno del otro, figura. 2.5⁵. Por lo tanto, cuando se aplican esfuerzos, estas moléculas intercaladas se deforman para dar un alargamiento que podría ser miles de veces mayor que el cristal típico de un metal o cerámico.

⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

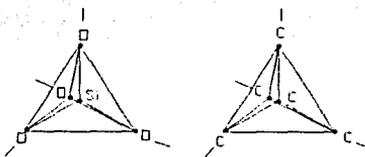
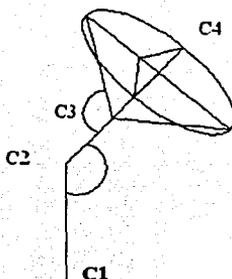


figura 2.4 Comparación del tetraedro en silicato y estructuras de carbono



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura. 2.5 Formación de la estructura central del carbono. Los átomos C_1 , C_2 , C_3 definen un plano; el átomo C_4 puede yacer en cualquiera de las posiciones preferidas del círculo indicado.⁵

Un punto clave para producir las cadenas largas de carbono es que se tomen dos moléculas de un material como el etileno, en el que hay dos enlaces carbono a carbono, abrir uno de los enlaces en cada una y unir las moléculas, figura 2.6⁵.

⁵ El superÍndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

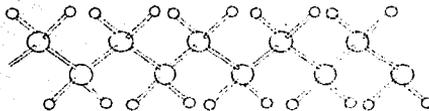


Figura. 2.6 Geometría de una cadena de polietileno

2.2.1 Uniones¹.

Los polímeros generalmente se encuentran formados por moléculas con uniones covalentes, mientras que las moléculas separadas, son atraídas cada una por fuerzas intermoleculares, secundarias o fuerzas de "Van der Waals".

Las uniones covalentes son caracterizadas por altas energías (35 a 105 Kcal/mol), cortas distancias interatómicas, y ángulos relativamente constantes.

En general, los enlaces covalentes gobiernan la estabilidad térmica y fotoquímica de los polímeros. La fuerza de unión puede ser un indicativo para los mecanismos de degradación. Por ejemplo, el caucho de sulfuro-vulcanizado -S-S- es más probable que se degrade que la unión -C-C- debido a la energía de unión como se muestra en tabla 2.1.

El arreglo de la estructura covalente en el espacio es una guía para explicar las propiedades de los polímeros. Básicamente existen dos tipos de arreglos. El polímero puede presentarse como una molécula individual o como una red infinita. La distinción es importante porque sólo las moléculas separadas pueden exhibir fluidez plástica y solubilidad, es decir, el arreglo de las moléculas determina el comportamiento del material.

2.2.2 Cristalinidad¹

Los polímeros pueden tener dos estructuras, la amorfa y la cristalina, aunque la tendencia a cristalizar es mucho menor que para los metales o los cerámicos no vítreos. No todos los polímeros pueden formar cristales. Para aquellos que sí pueden, el grado de cristalinidad (la porción de material cristalizado en la masa) es siempre menor que 100%. Conforme aumenta la cristalinidad en un polímero se incrementa: 1) la densidad, 2) la rigidez, la resistencia y la tenacidad, 3) La resistencia al calor y 4) si el polímero es transparente en estado amorfo se convierte en opaco cuando cristaliza parcialmente. Numerosos polímeros son transparentes pero para poseer esta característica deben estar en su estado amorfo (vítreo).

¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

El modelo mas antiguo de una estructura cristalina se denomina micela orlada, en la cual cadenas alineadas forman pequeñas regiones cristalinas llamadas "micelas" conectadas por regiones amorfas. A pesar de que este modelo es bastante primitivo, explica la resistencia que presenta una fibra, como el nylon, cuando se estira; las moleculas en las regiones amorfas se estiran y se alinean en la dirección del esfuerzo aplicado, elevando así la resistencia a la fluencia. Figura 2.7.

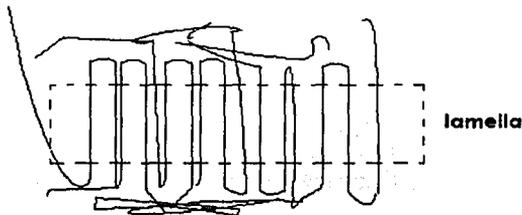


Figura. 2.7 Esquema de una cadena doblada dentro de una lamella
<http://The Nature of Polymer Crystallinity>

Algunos de estos efectos pueden ilustrarse por la diferencia entre el polietileno de baja y alta densidad presentada en la tabla 2.2.

Los llamados polímeros lineales consisten en largas cadenas de moléculas de meros repetidos. La estructura cristalina de estos polímeros involucra el plegado de estas moléculas sobre si mismas hacia atrás y hacia delante para lograr un arreglo muy regular de los meros.

Numerosos factores determinan la capacidad o tendencia de un polímero a formar regiones cristalinas dentro de un material. Estos factores se pueden resumir como sigue; 1) sólo los polímeros lineales pueden formar cristales; 2) la estereoregularidad de la molécula es crítica, los polímeros isotácticos (arreglo químico del mismo lado de la cadena) siempre forman cristales, los sindiotácticos (arreglo químico del lado opuesto de la cadena) algunas veces forman cristales y los atácticos (arreglo químico al azar) nunca forman cristales; 3) las deformaciones mecánicas, como el estirado de termoplásticos calentados, tienden a alinear la estructura e incrementar la cristalización, y 4) los plastificantes reducen el grado de cristalinidad.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

ENLACES COVALENTES			
Dimensiones y energías			
Bond		Longitud de unión	Energía de unión K
C	C	1.54	83
C	C	1.34	147
C	C	1.2	194
C	H	1.09	99
C	O	1.43	84
C	O	1.23	171
C	N	1.47	70
C	N	1.27	147
C	N	1.16	213
C	Si	1.87	69
Si	O	1.64	88
C	S	1.81	62
C	S	1.71	114
C	Cl	1.77	79
S	S	2.04	51

Tabla 2.1 Tipos de enlaces².

2.2.3 Aditivos

Frecuentemente se pueden mejorar propiedades de un polímero mediante su combinación con aditivos. Los aditivos alteran la estructura molecular del polímero o le añaden una segunda fase al plástico, transformando a un polímero en un material compuesto. Los aditivos se pueden clasificar por su función como sigue:

Rellenadores : Los rellenos son materiales sólidos que se añaden a un polímero, generalmente, en forma fibrosa o de fragmentos para alterar sus propiedades mecánicas, o simplemente reducir el costo del material. Los rellenos también se usan para mejorar la estabilidad dimensional y térmica de los polímeros. Los rellenos que mejoran las propiedades mecánicas se llaman agentes reforzadores.

Plastificantes : Los plastificantes son productos químicos que se añaden a un polímero para hacerlo más suave y flexible, mejorando sus características de fluidez durante su conformación. Los plastificantes reducen la temperatura de transición vítrea (Temperatura a la cual un polímero se vuelve rígido. Característica que se explicará con más detalle posteriormente) por debajo de la temperatura ambiente. Si bien el polímero es duro y quebradizo por debajo de su temperatura de transición vítrea, por encima de esta temperatura es suave y tenaz.

Colorantes : Una ventaja de muchos polímeros sobre los metales o los cerámicos es que el material en sí puede obtenerse en casi cualquier color. Esto elimina la necesidad de operaciones secundarias de recubrimiento. Los colorantes para polímeros son de dos tipos: 1) pigmentos y 2) tintes. Los pigmentos añaden opacidad y color al plástico y son además materiales insolubles finamente pulverizados que se distribuyen uniformemente en la masa del polímero en bajas concentraciones, en general menos

² El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

del 1%. Los tintes son sustancias químicas surtidas en forma líquida y generalmente son solubles en el polímero.

Otros aditivos: Los lubricantes se añaden algunas veces a los polímeros para reducir la fricción y promover la fluidez en las interfaces del molde. También, son convenientes en el moldeo por inyección para desprender del molde la parte conformada. Los agentes antiadherentes se rocían en la superficie del molde y frecuentemente se usan para el mismo propósito.

Casi todos los polímeros arden si se les suministra suficiente calor y oxígeno. Algunos polímeros son mas combustibles que otros. Los retardadores de flama son sustancias químicas que se añaden a los polimeros para reducir su capacidad de producir flama mediante cualquiera de los siguientes mecanismos: 1) por interferencia con la propagación de la flama, 2) para producir grandes cantidades de gases no combustibles, 3) incrementar la temperatura de combustión del material; 4) los productos químicos también pueden funcionar porque reducen le emisión de gases tóxicos generados durante la combustión.

Muchos polímeros son susceptibles a la degradación por luz ultravioleta, por ejemplo, la luz del sol y la oxidación. La degradación se manifiesta como una ruptura de las cadenas en las moléculas de cadena larga. El polietileno por ejemplo, es vulnerable a ambos tipos de degradación la cual conduce a la perdida de su resistencia mecánica.

2.3 Clasificación de los plásticos por consumo²²

Aunque resulta un poco subjetiva, la clasificación por consumo agrupa a los plásticos de acuerdo a su importancia comercial y sus aplicaciones en el mercado de la siguiente manera:

2.3.1 Comodities

Los plásticos más utilizados que tienen propiedades buenas aunque no sobresalientes , y su precio es de un nivel moderado se conocen como "Comodities", donde se incluyen el Polietileno, PVC, Polipropileno, Poliestireno, etc..

2.3.2 Versátiles

Existe también un grupo intermedio de plásticos que se caracteriza por requerir alta creatividad para el diseño de productos, principalmente en aspectos de apariencia, color, forma al cual se le ha denominado como "Versátiles". Incluye plásticos como el Acrílico, Poliuretano y el grupo de Plásticos termofijos como el Silicón, Resinas Poliéster y Epóxicas.

²² El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

2.3.3 Técnicos o de Ingeniería

El término "Técnicos" o de "Ingeniería", se usa para aquellos plásticos que presentan un alto desempeño funcional con un excelente conjunto de propiedades tales como resistencia mecánica y límites de temperatura elevados. Estos son además significativamente más caros y en este grupo se incluyen a las Poliamidas, Poliacetales, Policarbonato y Poliéster Termoplástico.

2.3.4 Especialidades

Los polímeros denominados como "Especialidades" normalmente son asociados con una o más propiedades sobresalientes, por ejemplo, bajo índice de fricción, elevada resistencia dieléctrica, y sobre todo un elevado precio por lo que ocupan el menor porcentaje en el consumo global de plásticos.

2.4 Clasificación general⁵

El estudio de cualquier grupo de materiales tan bastos y complejos como los polímeros se simplifica por la unificación de muchos miles de ejemplos que son clasificados en algunas categorías, de las cuales se puede hacer una generalización de estados. Al hablar acerca de los polímeros como un tema especial, se ha categorizado materiales con bajo peso molecular o alto peso molecular. Aunque algunas de las más usuales clasificaciones son hechas de la siguiente manera:

1. *Estructura.* Se puede conocer si un polímero existe como una masa separable, en moléculas individuales o como una red macroscópica. Además podemos conocer si es una estructura lineal o en forma enramada ó es una estructura de unidades orientadas fortuitamente o tiene una orientación espacial.
2. *Reacción al ambiente.* Dentro de la industria, la reacción al ambiente del polímero puede ser una importante diferencia dentro del proceso o el comportamiento de éste en el uso final. En cualquier aplicación uno puede diferenciar entre un bajo costo y un alto costo, especialmente en los materiales. Para los ingenieros ésta es una categorización muy importante como el primer paso para la especificación de un material.
3. *Química.* La composición elemental de un polímero, los grupos químicos que presentan (ether, ester, hydroxil, etc.), o la manera de síntesis (propagación en cadena, anillo abierto, etc.) pueden ser usados para clasificar los polímeros

La mayoría de los polímeros se basan en el carbono y, por consiguiente, son considerados sustancias químicas orgánicas. Sin embargo, el grupo también incluye un número de polímeros inorgánicos.

Los polímeros se dividen en plásticos y hules y son materiales de ingeniería relativamente nuevos comparados con los metales y los cerámicos. Por tal motivo consideramos apropiado dividirlos en las siguientes categorías:

⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

- 1) POLIMEROS TERMOPLASTICOS (TP)
- 2) POLIMEROS TERMOFIJOS (TS)
- 3) ELASTOMEROS

En comparación con los materiales metálicos, el uso de plásticos está limitado a presiones y temperaturas relativamente moderadas (450 °C se considera una temperatura demasiado alta para los plásticos). Estos materiales son también menos resistentes al desgaste en sistemas mecánicos y tienen elevados índices de dilatación, bajas resistencias. Sin embargo, son de peso ligero, resultan buenos aislantes térmicos y eléctricos, además de que son fáciles de fabricar e instalar y de que tienen bajos factores de fricción.

En general, los plásticos poseen una resistencia excelente a los ácidos minerales débiles y no son afectados por las soluciones de sales orgánicas, ambientes en que los metales no son totalmente seguros. Puesto que los plásticos no se corroen en el sentido electroquímico, ofrecen una ventaja sobre los metales. La mayoría de los metales se ven afectados por los cambios ligeros de pH o las impurezas menores, o bien el contenido de oxígeno mientras que los plásticos permanecen resistentes a esos mismos cambios.

El crecimiento de las aplicaciones de los polímeros sintéticos es realmente impresionante, el uso anual de los polímeros excede al de los metales, en términos de volumen. Las razones de la importancia comercial y tecnológica de los polímeros son las siguientes:

- Se pueden modelar para formar partes de intrincada geometría sin necesidad de procesamientos posteriores.
- Poseen una atractiva lista de propiedades para muchas aplicaciones de ingeniería donde la resistencia no es un factor importante: 1) baja densidad con respecto a los metales y cerámicos, 2) buena relación de resistencia al peso para ciertos polímeros, 3) resistencia a la corrosión 4) baja conductividad eléctrica y térmica.
- Volumétricamente, los polímeros son competitivos en costo con los metales.
- Los polímeros generalmente requieren menos energía que los metales para su producción. Esto se debe a que las temperaturas de trabajo de dichos materiales son mucho más bajas que para los metales.
- Ciertos plásticos son traslúcidos y transparentes lo cual los hace competitivos en algunas aplicaciones con el vidrio
- Los polímeros se usan ampliamente en materiales compuestos.

2.4.1 Materias primas para la obtención de materiales plásticos

La materia prima más importante para la fabricación de plásticos es el petróleo, ya que de él se derivan los productos que originan diferentes tipos de plásticos. Es importante mencionar también que otras materias primas para la fabricación de plásticos son algunas sustancias naturales como la madera y el algodón de donde se obtiene la celulosa, así mismo otros plásticos se obtienen del carbón y el gas natural. Todas las materias primas tienen en común el hecho de contener Carbono (C) e Hidrogeno (H). También pueden estar presentes el Oxígeno (O), Nitrógeno (N), Azufre (S) o el Cloro (Cl).

En general, se considera al etileno, polipropileno y butadieno como materias primas básicas para la fabricación de una extensa variedad de monómeros, que son la base de todos los plásticos.

2.4.2 Termoplásticos

Los termoplásticos son comercialmente los más importantes de los tres tipos, pues constituyen alrededor del 70% del tonelaje total de los polímeros sintéticos producidos. Los termofijos y elastómeros comparten el 30% restante, en partes aproximadamente iguales. Los polímeros T_p incluyen al polietileno, el cloruro de polivinilo, el poliestireno y el nylon.

Los termoplásticos son materiales cuyas moléculas están unidas entre sí formando largas cadenas las cuales se unen entre sí por medio de enlaces secundarios, su ordenación se puede comparar con una madeja de hilos largos y cortos. Los termoplásticos amorfos (figura 2.7.a, 2.7.b) se caracterizan porque sus moléculas filamentosas y ramificadas están en completo desorden, este arreglo permite el paso de la luz por la cual los plásticos amorfos generalmente son transparentes o translúcidos.

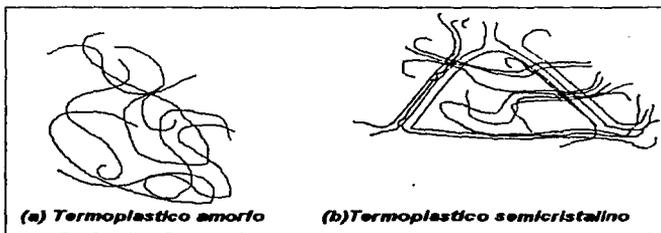


Figura 2.7 termoplásticos amorfos y semicristalinos¹⁵

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

El orden molecular de los plásticos semicristalinos es relativamente bueno. En el se aprecia cierto paralelismo dentro de los filamentos moleculares y sus ramificaciones más cortas.

El ordenamiento en los tramos de macromoléculas paralelas equivale al ordenamiento de átomo o moléculas en forma de cristales, los cuales se oponen al paso de la luz provocando una apariencia lechosa o translúcida.

La característica principal que define a los termoplásticos es que pueden ser llevados a un estado viscoso por medio de calentamiento una y otra vez, esto es, pueden ser procesados varias veces; además de que los termoplásticos pueden diluirse, fundirse o soldarse

2.4.3 Importancia comercial de los termoplásticos¹⁵

Los productos termoplásticos incluyen artículos moldeados y extruidos, fibras, películas y láminas, materiales de empaque, pinturas, barnices, etc. Se surten normalmente al fabricante en forma de polvos o pellets (grano grueso) en bolsas de 50 libras, en tambores de libras o en cargas mayores por camión o carro de ferrocarril. Los polímeros TP más importantes se mencionan a continuación:

ACETALES. Acetal es el nombre popular dado al polioximetileno, un polímero de ingeniería derivado del formaldehído (CH_2O) con alta rigidez, resistencia, tenacidad y resistencia al desgaste. Además, tienen un alto punto de fusión, baja absorción de la humedad y son insolubles en los solventes comunes a temperatura ambiente. Semicristalino.

ACRÍLICOS. Los acrílicos son los polímeros derivados del ácido acrílico y de sus compuestos. El termoplástico más importante en el grupo acrílico es el plexiglass. Amorfo.

ACRILONITRILLO-BUTADIENO-ESTIRENO ABS es el nombre abreviado de un plástico de ingeniería que reúne una excelente combinación de propiedades mecánicas. El ABS es un polímero de dos fases, una fase es el Copolímero duro estireno-acrilonitrilo, mientras que la otra fase es el Copolímero estireno-butadieno, de consistencia ahulada. Amorfo.

POLIAMIDAS Una familia importante de polímeros que forman ligas características de amida durante su polimerización se llaman poliamidas. El miembro más importante de la familia PA es el nylon, de los cuales los grados más importantes son el nylon-6 y el nylon-6,6 (los números son códigos que indican el número de átomos de carbono en el monómero.) El nylon es resistente, altamente elástico, tenaz, resistente a la abrasión y autolubricante. Semicristalino.

POLICARBONATO. El PC es notable por sus excelentes propiedades mecánicas que incluyen alta tenacidad y buena resistencia a la termofluencia. Es uno de los mejores termoplásticos por su resistencia al calor, puede usarse a temperaturas cercanas a los 125°C además puede ser transparente y resistente al fuego. Sus aplicaciones incluyen

¹⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

partes moldeadas de maquinaria, receptáculos para máquinas de negocios, impulsores de bombas y cascos de seguridad. Amorfo.

POLIESTERES. Los poliésteres forman una familia de polímeros caracterizados por sus enlaces de éster. Pueden ser termoplásticos o termofijos, dependiendo si ocurre el encadenamiento transversal. Un ejemplo representativo de los poliésteres termoplásticos es el tereftalato de polietileno TPE. Sus aplicaciones significativas incluyen envases moldeados por soplado para bebidas, películas fotográficas y cintas para grabadora magnética, además el PET posee una amplia gama de utilidades como fibra para muebles. Semicristalinos.

POLIETILENO El polietileno PE se sintetizó por primera vez en la década de los treinta y actualmente representa el volumen de consumo más grande de todos los plásticos. Las características que hacen tan atractivo al polietileno como material de ingeniería son: bajo costo, pasividad química y fácil procesado. Semi-cristalino.

POLIPROPILENO. El PP se compara frecuentemente con el polietileno debido a su costo y a que muchas de sus propiedades son similares. Una aplicación especial muy importante que se le da especialmente al polipropileno son las bisagras de una sola pieza que pueden sujetarse a un gran número de ciclos de flexión sin que ocurran fallas o fracturas. Semicristalino.

CLORURO DE POLIVINILO. El PVC es un plástico de uso muy difundido, cuyas propiedades pueden variar por combinación de aditivos con el polímero. Se usan en particular los plastificantes para lograr termoplásticos que van desde el PVC rígido (sin plastificante) hasta el PVC flexible (alta proporción de plastificante). El PVC es un polímero muy versátil, porque sus aplicaciones incluyen tubos rígidos, accesorios, aislamiento de cables y alambres, empaque de alimentos, pisos, juguetes, etc. Se debe tener cuidado en el manejo y producción del monómero de cloruro de vinilo que se usa para polimerizar el PVC debido a su naturaleza cancerígena. Amorfo.

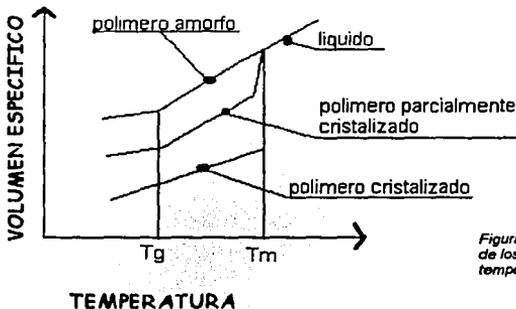


Figura 2.8 comportamiento mecánico de los termoplásticos en función de la temperatura

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

2.4.4 Propiedades mecánicas de los termoplásticos¹⁴

Los termoplásticos típicos a temperatura ambiente poseen las siguientes características; 1) menor rigidez, el módulo de elasticidad es dos veces más bajo que los metales y los cerámicos; 2) la resistencia a la tensión es más baja, 10% con respecto a la de los metales; 3) dureza muy baja; y 4) ductilidad más alta en promedio, con un tremendo rango de valores, desde una elongación del 1% para el poliestireno, hasta el 500% o más para el polipileno.

Las propiedades mecánicas de los termoplásticos dependen de su estructura así como también de la temperatura. Su comportamiento por tal motivo se debe analizar en el contexto de las estructuras cristalina y amorfa: Los termoplásticos amorfos son rígidos y vítreos por debajo de la temperatura de transición vítrea T_g , y flexibles o de consistencia ahulada justamente arriba de dicha temperatura: la transición ocurre realmente a una escala de temperaturas de 10 a 20 grados aunque en la siguiente figura se sugiere un valor para T_g . Conforme se incrementa la temperatura por encima de T_g , el polímero empieza a hacerse cada vez más suave, hasta que finalmente se convierte en un fluido viscoso (nunca se convierte en un líquido delgado debido a su alto peso molecular). El efecto sobre su temperatura puede visualizarse en la figura 2.8, donde se define como la resistencia a la deformación. Esto es análogo al módulo de elasticidad, y nos permite observar el efecto de la temperatura sobre un polímero amorfo en su transición de sólido a líquido. Por debajo de T_g el material es fuerte y elástico, a la temperatura T_g se observa una caída repentina de la resistencia a la deformación, a medida que el material se transforma en fase ahulada, su comportamiento en esta región es viscoelástico. Conforme aumenta su temperatura se transforma gradualmente en un polímero más fluido.

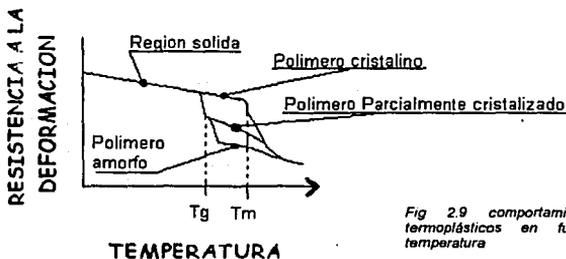


Fig 2.9 comportamiento de los termoplásticos en función de la temperatura

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹⁴ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

2.4.5 Comportamiento térmico de los termoplásticos¹⁴

El comportamiento térmico de los polímeros con estructuras cristalinas es diferente al de los polímeros amorfos. El efecto de la estructura puede observarse en una gráfica de volumen específico (densidad recíproca), figura 2.8, como una función de la temperatura, obsérvese en la figura 2.11. Un polímero altamente cristalino tiene un punto de fusión T_m donde su volumen sufre un cambio abrupto. También a temperaturas arriba de T_m la expansión térmica del material fundido es más grande que para el material sólido por debajo de T_m . Un polímero amorfo no sufre el mismo cambio abrupto a la T_m . A medida que se enfría a partir del estado líquido, su coeficiente de expansión térmica disminuye y sigue la misma trayectoria que cuando estaba fundido, la viscosidad disminuye conforme desciende la temperatura. Durante el enfriamiento por debajo de T_m , la consistencia del polímero cambia de líquida a ahulada. Conforme desciende la temperatura se alcanza un punto final donde el polímero amorfo se vuelve repentinamente menor. Esta es la temperatura de transición vítrea T_g , que se puede apreciar como un cambio en la pendiente. Debajo de T_g , el material es duro y frágil.

2.4.6 Propiedades físicas de los termoplásticos¹⁴

En general los polímeros termoplásticos poseen; 1) densidades más bajas que los metales y los materiales cerámicos, las densidades para los polímeros son alrededor de 1.2, para los cerámicos alrededor de 2.5, y para los metales alrededor de 7.0; 2) coeficientes de expansión térmica mucho más altos, aproximadamente 5 veces el valor de los metales y 10 veces el de los cerámicos; 3) temperatura de fusión muy bajas; 4) calores específicos que son de 2 a 4 veces los de los metales y de los cerámicos; 5) conductividades térmicas que son alrededor de tres ordenes de magnitud más bajas que las de los metales, y 6) propiedades de aislamiento eléctrico. *(1)

2.4.7 Termofijos

Los polímeros Termofijos están formados prácticamente por una gran molécula en forma de red. La obtención de estos materiales se realiza durante el moldeo, pues no pueden ser reblandecidos para reprocesarse.

Las unidades repetitivas que forman a los Termofijos se entrelazan por medio de uniones químicas, debido a esto son estables ante los cambios de temperatura, no se pueden fundir, soldar ni disolver. ver figura 2.9.

¹⁴ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

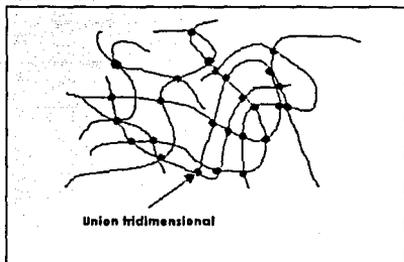


Fig. 2.9 Estructura típica de los termofijos

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

2.4.8 Propiedades y características de los polímeros termofijos¹

Las diferencias en la composición química y estructura molecular, hace que las propiedades de los plásticos termofijos sean diferentes de los termoplásticos. En general, los termofijos son:

- 1) Más rígidos, con módulos de elasticidad dos o tres veces más grandes
- 2) Frágiles, prácticamente no poseen ductilidad.
- 3) Menos solubles en los solventes comunes
- 4) Capaces de funcionar a temperaturas más altas
- 5) No pueden ser refundidos, en lugar de ésto se degradan o se queman.

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

1) Sistemas Activados Por Temperatura

En los sistemas comunes, los cambios son causados por fuentes de calor durante las operaciones de conformado de la pieza (por ejemplo moldeado). La materia prima es un polímero lineal en forma granular suministrado por la planta química. El material se somete a calentamiento para ablandarlo y moldearlo, una mayor exposición al calor causa el encadenamiento transversal del polímero. El término termofraguado se aplica apropiadamente a estos polímeros.

2) Sistemas Activados Catalíticamente

El encadenamiento transversal en estos sistemas ocurre cuando se añaden en forma líquida pequeñas cantidades de un catalizador al polímero. Sin el catalizador el polímero permanece estable, pero una vez combinado con el catalizador cambia a la forma sólida.

¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

3) Sistemas Activados Por Mezcla.

La mayoría de las resinas epoxicas son ejemplos de estos sistemas. El mezclado de dos sustancias químicas genera una reacción que forma un polímero sólido con cadenas transversales. Las temperaturas elevadas se usan algunas veces para acelerar las reacciones.

Las reacciones químicas asociadas con el encadenamiento transversal se conoce como curado o fraguado. El curado se ejecuta en la planta de fabricación donde se hacen las partes, y no en la planta química que surte la materia prima al fabricante.

2.4.9 Polímeros termofijos importantes¹⁷

Los plásticos termofijos no se usan tan ampliamente como los termoplásticos, quizá por las complicaciones adicionales relacionadas con el proceso de curación de ellos. Los termofijos con mayor volumen de uso son las resinas fenólicas, cuyo volumen anual es cerca del 6% del total de plásticos en el mercado, cantidad significativamente menor al de los principales termoplásticos como el polietileno, que tiene alrededor del 35% del mercado. A continuación se mencionan los más importantes.

AMINORESINAS Los aminoplásticos se caracterizan por el grupo amino; consisten en dos polímeros termofijos, urea formaldehído y melamina formaldehído que se producen mediante reacción del formaldehído ya sea con urea o con melamina, respectivamente. La importancia comercial de las aminoresinas está en segundo lugar con respecto a otra resina de formaldehído, el fenol formaldehído. La resina urea formaldehído compite con los fenoles, particularmente en ciertas aplicaciones como maderas enchapadas y adhesivos para aglomerados.

EPOXICOS Las resinas epoxicas se basan en un grupo químico llamado epóxidos. Sus aplicaciones incluyen recubrimientos superficiales, pisos industriales, compuestos reforzados con fibra de vidrio y adhesivos. Las propiedades aislantes de los epoxicos los hacen útiles para aplicaciones electrónicas como el encapsulado de transistores y en la laminación de tarjetas para circuitos impresos.

FENOLICOS Los polímeros fenólicos son compuestos ácidos que pueden reaccionar con aldehídos, siendo el formaldehído el más reactivo. Se registro comercialmente a principios del siglo XX, bajo la marca registrada baquelita. Cuando se utiliza como material de moldeado se combina con rellenos como el aserrín, fibras de celulosa y minerales. Es frágil y posee buena estabilidad térmica, química y dimensional.

POLIESTERES Los poliesteres que contienen los enlaces característicos de los ésteres pueden ser termofijos o termoplásticos. Los poliesteres termofijos se usan mucho en plásticos reforzados para fabricar artículos grandes como tubos, tanques, cascos de botes, carrocerías automotrices y paneles de construcción.

POLIURETANOS Estos incluyen una gran familia de polímeros caracterizados por el grupo uretano en su estructura. La estructura de los poliuretanos es compleja y hay muchas variaciones químicas en esta familia. El rasgo característico de esta reacción

¹⁷ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

es un poliol cuyas moléculas contienen grupos hidróxidos, tales como el glicol éter butilénico y un isocianato, como el disocianato difenilmetano. A causa de las variaciones en la composición química los poliuretanos pueden ser termoplásticos, termofijos o elastómeros, siendo los dos últimos los más importantes comercialmente.

SILICONES Los silicones son polímeros inorgánicos y semiorgánicos que se distinguen por la presencia de enlaces siloxanos repetidos en su estructura molecular. Con variaciones en su composición y procesamiento, los polisiloxanos se pueden producir en tres formas: 1) fluidos, 2) elastómeros y 3) resinas termofijas. Los fluidos son polímeros de peso molecular ligero que se usan como lubricantes, ceras y otros líquidos.

2.4.10 Elastómeros¹

Estos polímeros, en forma similar a los Termofijos, están formados por una gran molécula en forma de red como se muestra en la figura 2.10, a través de enlaces químicos muy separados entre sí, lo que les proporciona una gran movilidad (elasticidad).

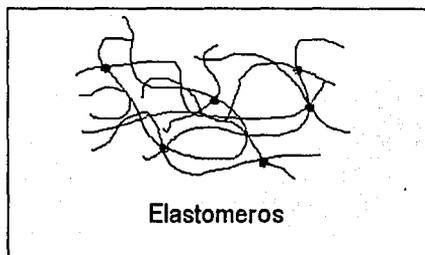


Fig 2.10 Estructura física de los elastomeros

Son materiales plásticos que recuperan casi totalmente su forma original después de liberar una fuerza sobre ellos. Son insolubles y no pueden fundir mediante la aplicación de calor, es decir pueden descomponerse químicamente cuando se calientan más allá de su temperatura máxima de servicio.

El comportamiento de estos materiales se debe a que las macromoléculas de elastómeros, en contraste con los termoplásticos, están entrecruzados por enlaces químicos.

¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

2.4.11 Elastómeros termoplásticos

Este grupo de materiales combina propiedades especiales de los elastómeros con las posibilidades de transformación de los termoplásticos. Son copolímeros en bloque que poseen propiedades elásticas dentro de cierto rango de temperatura.

Cuando se calientan arriba de ciertos rangos de temperatura los enlaces intermoleculares desaparecen y se restituye inmediatamente después de que se enfrían, para desarrollar sus propiedades elastoméricas.

Los Elastómeros Termoplásticos, llenan el hueco entre los Polímeros Termoplásticos y los Elastómeros Reticulables. Pueden ser procesados e incluso reciclados de manera similar a los materiales termoplásticos.

2.5 Forma de presentación de los plásticos²¹

Existe una gran variedad de procedimientos de transformación de plásticos, cada uno de los cuales es resultado de la adaptación a las necesidades concretas de cada material y de las piezas que se desean obtener. Los polímeros termoplásticos se presentan en diversas formas:

1. Polvos (1 – 100 μm)
2. Pastas
3. Pellets : 3mm aproximadamente en forma de cubo, lenteja o cilindro
4. Aglomerados
5. Granulados

Ciertos procesos requieren formas específicas de la materia prima y en algunos casos, el manejo, almacenamiento y sistemas de alimentación y dosificación son las que determinan la elección.

Generalmente los polímeros utilizados como materia prima se envasan en sacos de 25 Kg o en tambores de 100 Kg, a veces se encuentran presentaciones en cajas de cartón y en contenedores de hasta 500 kg. Son transportados a granel en carros tanque con cargas de 15 toneladas.

Las **resinas termofijas** en forma de polvos se abastecen comúnmente en sacos, pastas y resinas líquidas en tambores y carros tanque.

Los **elastómeros** se venden en forma de bloques para formular compuestos. Algunos son pastas y otros se presentan en forma de escamas.

²¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

CAPITULO III EL POLICARBONATO, PROPIEDADES, CARACTERISTICAS Y APLICACIONES

3.1 Generalidades²³

El Policarbonato es un termoplástico amorfo perteneciente a las resinas de ingeniería, reúne excelentes propiedades mecánicas, térmicas y ópticas. Sus principales cualidades son:

- Baja densidad
- Elevada transparencia y brillo
- Se puede colorear en todas formas ya sea transparente, translucido u opaco.
- Excelente resistencia a la intemperie

El policarbonato sin aditivos ni cargas, cumple con la aprobación de Underwriter Laboratories, en la prueba VO (UL-VO), protección contra el fuego y las disposiciones del la Foods and Drugs Administration (FDA).

Forma parte de la familia de los poliésteres termoplásticos, que se caracterizan por tener dentro de su estructura el grupo éster como se muestra a continuación.



En esta familia de poliésteres se encuentran el policarbonato, el PET y el PC, todos ellos con propiedades mecánicas excepcionales.

3.2 Clasificación

Existe una gran variedad de grados o tipos de policarbonato, adaptados a las exigencias especiales que requieren los diferentes sectores. El policarbonato se clasifica de acuerdo a:

- Su viscosidad
 - Alta viscosidad
 - Media viscosidad
 - Baja viscosidad
- Grados modificados
 - Con cargas
 - Grados especiales

²³ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

3.2.1 Viscosidad

La viscosidad es directamente proporcional al peso molecular y a la resistencia al impacto e inversamente proporcional al índice de fluidez del material e indica el método de transformación por el que se va a procesar.

En la tabla 3.1 se menciona la relación que existe entre el peso molecular, el índice de fluidez y el proceso en el que se emplea.

INDICE DE FLUIDEZ ASTM D-1238 (300°C) g/10min	PESO MOLECULAR Gmol	RESISTENCIA AL IMPACTO IZOD ASTM D-256 KJ/cm ²	PROCESO RECOMENDADO
23.9-12.0	23,100-27,700	60-70	INYECCION
11.9-6.0	27,700-32,200	65-87	INYECCION
5.9-3.0	32,200-35,700	82-92	EXTRUSION Y SOPLADO
2.9-1.5	35,700-39,100	87-98	EXTRUSION Y SOPLADO

Tabla 3.1 Grados de Policarbonato según el Índice de fluidez.¹⁸

El tipo de policarbonato que tiene un peso molecular arriba de 50,000 gmol, se utiliza para procesar lamina.

3.2.2 Grados modificados

En esta clasificación (ver tabla 3.2) se encuentra el policarbonato que contiene en su formulación diferentes aditivos, los que se agregan de acuerdo a los productos finales para cubrir las necesidades del consumidor.

GRADOS REFORZADOS	CONTENIDO DE ADITIVO	METODO DE MOLDEO
FIBRA DE VIDRIO	10% F.V 20% F.V 30% F.V	INYECCION
FIBRA DE CARBON	CON 20% FIBRA DE CARBON ESPECIALES	INYECCION
RETARDANTE A LA FLAMA	COPOLIMERO RESISTENTE A LA FLAMA CON AGENTE DE ESCAPE	INYECCION
RESISTENTE A LA DEGRADACION	ABSORBEDORES DE LUZ ULTRAVIOLETA	EXTRUSION EXTRUSION-SOPLO INYECCION
FDA		EXTRUSION EXTRUSION-SOPLO INYECCION
ALTO FLUJO	CON AGENTE DE ESCAPE	INYECCION
ESPUMA ESTRUCTURAL	COMPOSICION PARA ESPUMA ESTRUCTURAL Y CON 30% F.V	MOLDEO POR ESPUMA ESTRUCTURAL

Tabla 3.2 grados de policarbonato.¹⁸

¹⁸ El numero indicado entre paréntesis hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información.

3.3 Producción de policarbonato¹⁹

Conocido también como plástico de ingeniería se obtiene por condensación del bisfenol-A en piridina reaccionando con fosgeno a 30°C. Este método se conoce como proceso de interfase.

En el proceso de interfase, el bisfenol-A se disuelve en sosa cáustica acuosa y el fosgeno se alimenta en presencia de un solvente inerte. Esta solución reacciona agitando continuamente y manteniéndolo a temperatura ambiente. Después de cierto tiempo, se obtiene una solución ligeramente viscosa que caracteriza a un policarbonato de bajo peso molecular y con grupos hidroxilo terminales. Posteriormente, se somete a policondensación para obtener como resultado un policarbonato de peso molecular elevado que es controlado con el uso de un inhibidor de tipo fenólico.

La reacción se efectúa instantáneamente a temperatura ambiente, de tal manera que la velocidad de reacción no se puede controlar, provocando la formación de ácido clorhídrico (HCL).

Es conveniente durante la reacción hacer vacío en el recipiente para extraer el oxígeno, adicionando un compuesto de sodio para evitar la formación de productos de oxidación clorados de los compuestos hidroxílicos aromáticos.

El valor del pH debe elevarse rápidamente hasta valores de 10 o más, para neutralizar el HCl formado. La sosa es el álcali más apropiado para dar el pH deseado, produciendo sales alcalinas solubles.

La cantidad de sosa requerida se puede adicionar al inicio de la reacción o agregarse poco a poco a fin de mantener un pH alto. Cuando se tienen valores bajos de pH o se utiliza con un álcali muy débil como carbonato de sodio, la policondensación es muy lenta y el policarbonato resultante es de peso molecular bajo.

Los solventes deben ser estables a las condiciones de la reacción, como ejemplo están los hidrocarburos aromáticos o alifáticos clorados:

- Cloruro de metileno
- Clorobenceno
- Fenol

Como la reacción es exotérmica, es decir, desprende calor, es necesario que el recipiente de reacción este provisto con algún tipo de enfriamiento, ya sea agua o aceite.

Para separar el Policarbonato de la solución, se puede hacer uso de operaciones de destilación, extracción o filtración.

Aprovechando las características de gelificación o cristalización del policarbonato derivado del bisfenol-A, éste se puede separar agregando sustancias no

¹⁹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

solventes como el metanol, alcohol isopropílico o algunos hidrocarburos. Se añade un agente precipitador a la solución de policarbonato, agitándose vigorosamente y la adición se interrumpe cuando el líquido comienza a ponerse nebuloso. Al continuar con la agitación la nebulosidad aumenta y el policarbonato se precipita. Si se adiciona un poco más de solvente, se obtiene la precipitación total del Policarbonato.

El resultado son partículas en forma de polvo fino. Si se añade policarbonato pulverizado cuando la solución está nebulosa, el tiempo de precipitación se reduce.

3.4 Análisis por tipo de plástico¹⁵

3.4.1 Policarbonato de alta, media y baja viscosidad

Las propiedades de estos tres tipos de policarbonatos son las mismas, ya que la viscosidad sólo interviene en el índice de fluidez, tipo de proceso y consecuentemente en la aplicación, pero no modifica las propiedades del material.

El siguiente análisis de características del polímero se realiza para al PC de alta, media y baja viscosidad.

Debido a la manufactura y tratamiento del policarbonato, se puede observar que presenta una serie de propiedades que juegan un papel importante dentro de sus aplicaciones.

Propiedades físicas

El policarbonato tiene una densidad alta que se encuentra entre 1.20 a 1.24 g/cm³.

Los artículos moldeados con policarbonato no tienen olor, ni sabor y presentan una ligereza considerable, en comparación a otros materiales, como el vidrio en cuanto a envases se refiere.

Por otro lado la absorción de agua es relativamente baja por el carácter no polar de los polímeros, su magnitud real depende de la constitución del policarbonato y su cristalinidad. El nivel máximo de absorción de líquido es de 0.36% en agua y 0.20% en aire, con una humedad relativa del 60%.

Propiedades ópticas

El índice de refracción del policarbonato se encuentra en un rango de 1.56 a 1.65, siendo este alto para plásticos transparentes. Tiene una transmisión de luz en la región visible de 85 a 90%. Debido a sus propiedades es utilizado ampliamente en el campo de la óptica. También se emplea en la construcción de paneles y domos.

Los absorbentes de luz ultravioleta, inhiben el amarillamiento que se presenta con el paso del tiempo.

¹⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Propiedades mecánicas

El policarbonato cuenta con excelente resistencia al impacto, tenacidad, rigidez y dureza. Conserva sus características en un amplio rango de temperatura.

La excepcional tenacidad que ofrece en estado vítreo se debe a su estructura molecular, que se puede deformar fácilmente para absorber la energía de cualquier impacto que llegue a recibir, en comparación con otros polímeros amorfos que en estado vítreo no es posible lograrlo.

Sus excelentes propiedades mecánicas le han asegurado un lugar en la industria automotriz, en la fabricación de piezas de protección como defensas y parabrisas. Tiene un comportamiento reversible en su estructura lineal, que implica una excelente estabilidad dimensional.

El policarbonato de fibra de vidrio y sobre todo con fibra de carbono, aumenta su resistencia mecánica y su rigidez, pero reduce su tenacidad. Se puede incrementar la resistencia al rayado mediante recubrimientos superficiales.

Propiedades térmicas

Su coeficiente de expansión lineal es muy bajo en comparación con otros plásticos, pero es mayor en varios órdenes de magnitud al de los metales.

El polímero industrial es amorfo, tiene una cristalinidad del orden de 10-30% con temperatura de transición vítrea $T_g = 150^\circ\text{C}$ y de fusión T_m alrededor de los 260°C . Los altos valores de T_g y de T_m se deben principalmente a la rigidez de la cadena molecular y no a las fuerzas de atracción originadas por los grupos éster.

El policarbonato se degrada a temperaturas arriba de 320°C , originando la liberación de CO_2 y la decoloración, se vuelve frágil a temperaturas desde -100°C a -150°C .

Propiedades eléctricas

Las propiedades aislantes del policarbonato son independientes del contenido de humedad y de la temperatura ambiental. Si se utiliza en el campo de alta frecuencia, hay que tener en cuenta que arriba de los 103 Hz, el factor de pérdidas aumenta multiplicándose por 10. Las cargas electrostáticas se eliminan durante cierto tiempo mediante aditivos antiestáticos. Los grados reforzados con fibra de carbono son antiestáticos.

Sin embargo, las propiedades eléctricas del Policarbonato, no son buenas cuando se comparan con el polietileno.

Las propiedades como temperatura de deflexión, transparencia, tenacidad, retardante a la flama, pertenecen a un material de alta funcionalidad, lo que ha extendido el uso del policarbonato a la ingeniería eléctrica.

Propiedades químicas

La principal limitación del policarbonato es su resistencia química.

No resiste al benceno, tolueno, sileno, hidrocarburos clorados, metanol, gran número de solventes, ácidos y soluciones alcalinas.

Soporta agua a temperatura ambiente, algunos alcoholes, grasas, aceites, gasolina, jugo de frutas, ácidos diluidos y soluciones alcalinas.

Después de formado y enfriado en un molde de inyección, los esfuerzos internos de la pieza pueden ser muy grandes, expuesto a solventes y otras sustancias provoca hinchamientos y deformaciones físicas. En contacto con determinados productos químicos como el tetracloruro de carbono, aparecen fisuras en las piezas inyectadas que tengan tensiones.

3.4.2 Aplicaciones²³

A medida que incrementa la viscosidad, disminuye el índice de fluidez y como éste hecho determina el proceso de transformación a utilizar, así como su aplicación, a continuación se analizarán los usos del policarbonato de acuerdo al tipo de viscosidad.

Policarbonato de alta viscosidad

El índice de fluidez oscila entre 2.5 a 7 g/10min. El grado de 2.5 g/10 min. se utiliza en soplado para biberones, botellas y garrafrones para agua, así como en envases de leche retornable. Los tipos de 3 a 7 g/10min se utilizan para algunos productos de extrusión como son las láminas para anuncios luminosos, domos y techos.

Policarbonato de media viscosidad

Este grado posee un rango de índice de fluidez de 10 a 15 g/10min y se utiliza para fabricar piezas por inyección como carcasas para teléfonos, núcleos de bobinas, gafas protectoras, cascos para motociclismo, bolígrafos, equipos de geometría y dibujo, calculadoras y faros.

Policarbonato de baja viscosidad

Presenta mayor índice de fluidez por lo que se aplica en productos de inyección de partes complicadas y artículos de extrusión.

Existen grados especiales como los de ultra baja viscosidad que se utilizan en la fabricación de los discos compactos.

²³ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Policarbonato reforzado

Este policarbonato ocupa el tercer lugar dentro de las Poliamidas y el polipropileno. Se formula con 10,20,30 y 40% en peso de fibra de vidrio. El policarbonato reforzado al 40% presenta elevado módulo de tensión, la resistencia a la tensión y flexión es el doble del grado de uso general, su resistencia a la compresión y el coeficiente de expansión térmica incrementa considerablemente. Existen grados reforzados de baja y media viscosidad.

Los grados con 10% de fibra de vidrio se utilizan en carcazas de productos electrodomesticos, así como en pantallas de los semáforos, con 30% de fibra corta se aplica en conectores y transmisores eléctricos.

3.4.3 Especialidades

Estos grados se han desarrollado para satisfacer las necesidades de mercados como el automotriz, eléctrico electrónico, medico y de alimentos.

Policarbonato con retardante a la flama

El grado uso general de policarbonato está catalogado por la Underwriter Laboratory, UL en la categoría V-2 y algunos alcanzan V-0; estas pruebas determinan la velocidad de ignición de los plásticos. Las características que cubren estas pruebas son:

- V-2 El espécimen no debe arder más de 30 seg. después de aplicar dos veces la flama.
El tiempo total de combustión no debe exceder 250 seg. después de 10 aplicaciones en cinco probetas.
La probeta puede gotear e inflamar en algodón colocado debajo de la probeta.
- V-0 La probeta no debe arder más de 10 seg. después de dos aplicaciones de la flama.
El tiempo total de combustión no debe exceder de 50 seg. en 10 aplicaciones de flama en 5 probetas
No debe gotear

Además de que cubre estas cualidades, se desarrollan grados con retardasteis a la flama especializados para el sector eléctrico- electrónico. Presentan menor emisión de gases, elevada estabilidad dimensional, alta resistencia al impacto y tenacidad.

Se utiliza en productos que exigen buenas propiedades aislantes para que sean seguras durante su funcionamiento y que protejan al contacto como carcazas de computadoras, faros, algunas calaveras de autos, partes de cafetera y asadores.

Policarbonato con absorbedores de luz ultravioleta

Su principal característica es que soportan la radiación ultravioleta y la intemperie incrementando el tiempo de uso del producto. Además, presenta excelente estabilidad dimensional.

Los grados estabilizados a la radiación, debido a las características que presentan, se utilizan en luminarias, anuncios luminosos, domos y techos, productos que estarán expuestos a la intemperie.

Policarbonato grado FDA

Se desarrollaron para productos que están en contacto con alimentos o medicina, presentan alta viscosidad y son fabricados especialmente por soplado y extrusión. Existen grados especiales como los de inyección que se aplican a artículos de medicina. Presentan elevada resistencia al impacto, brillo y elevada temperatura de deflexión.

La combinación de cualidades lo hace el material ideal para fabricar biberones, botellas y garrafones para agua. En medicina se utiliza en caretas de respiración, recipientes para anestesia, cajas petri y elementos para marcapasos.

Policarbonato de alto flujo

Posee elevado flujo comparado con todos los grados de policarbonato, excelente resistencia al impacto y estabilidad dimensional, se utiliza principalmente en productos desechables.

Combinaciones

A raíz de que el policarbonato estaba sobre-especificado para algunas aplicaciones, además de su alto costo, surgió la idea de combinarlo con algunos otros materiales que disminuyeran su precio, bajaran un poco sus propiedades en algunos casos, pero que las mantuvieran en otros.

Así aparece la combinación de Acrilonitrilo Butadieno Estireno y Policarbonato (ABS/PC) en las que se aprovechan todas las cualidades mecánicas del PC y las propiedades de resistencia química y cromabilidad del ABS.

El ABS/PC sustituye al policarbonato en muchas piezas de electrodomésticos y de la industria automotriz que no tienen como requisito ser transparentes debido a que se pierde esta cualidad. Sustituye también a todo el campo de aplicaciones del ABS donde se requiere mejorar las propiedades mecánicas de las piezas moldeadas.

Otro caso es el Policarbonato con Polibutilen Tereftalato (PC/PBT), donde el PBT es el material que se desea reducir en costo y propiedades debido a que se excede en cualidades para algunas aplicaciones. Al igual que en el caso anterior, logra la combinación de resistencia al impacto, mejora la resistencia eléctrica del policarbonato y disminuye el costo de la materia prima, manteniendo las aplicaciones en el sector electrodoméstico, industrial y eléctrico-electrónico.

Se observó que el policarbonato se podía combinar con otros materiales, se trato de mejorar su transparencia y modificarlo en algunos casos para hacerlo más suave y por ello se realizo la combinación de policarbonato con Acrilnitrilo Estireno Acrílico Ester (PC/ASA) y policarbonato con Estireno Anhídrido Maleico (PC/SMA).

3.5 Procesos de transformación²

El policarbonato se puede transformar por diferentes tipos de procesos que son los siguientes

- Inyección
- Extrusión
- Termoformado
- Soplado

Como producto, se pueden realizar los siguientes procesos secundarios

- Soldado
- Pegado
- Mecanizado

3.5.1 Acondicionamiento previo

Antes de proceder a su transformación, El Policarbonato se debe secar, ya que si los gránulos contienen un nivel de humedad más alto del 0.02% permitido, se pueden producir deterioros en el material por degradación molecular formando pequeñas burbujas, rayado y otros defectos.

3.5.2 Secado

El requisito más importante para obtener una buena resistencia al impacto y buena calidad de las partes moldeadas, es tener el menor contenido de humedad en los pellets.

La humedad máxima en el granulado en condiciones normales de transformación debe ser de 0.02% en peso. Las condiciones de secado se anotan en la tabla 3.3.

METODO	TIEMPO h
SECADOR DE AIRE FORZADO (50% DE AIRE)	4-12
SECADOR DE AIRE FRESCO (SECADOR RAPIDO)	2-4
SECADOR DE AIRE SECO	2-3

Tabla 3.3 Secado de policarbonato a 120°C. ⁽²³⁾

² El superÍndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

3.5.3 Regranulado

Los desechos generados durante la inyección de Policarbonato se pueden regranular y mezclar con material virgen, sin problemas si se toman ciertas precauciones.

Los tiempos largos de residencia en el barril en combinación con altas temperaturas, pueden ocasionar un incremento de velocidad de flujo originando cambios en las propiedades físicas.

La sensibilidad de estas propiedades en el procesamiento depende del tipo de grado del polímero.

Comparando el cambio de velocidad de flujo, para uno de grado general, es menos sensitivo que el cambio de uno de grado retardante a la flama o de tipo especial.

La recomendación general es utilizar un 20% de regranulado, ya que es la cantidad mas apropiada en muchos casos.

3.6 Aplicaciones diversas del policarbonato²¹

- Bajo peso, estabilidad dimensional y colorabilidad hacen del policarbonato una buena elección para diversos tipos de protecciones eléctricas y gabinetes.
- Resistencia al impacto junto con transparencia y una amplia gama de colores hacen del policarbonato una excelente elección para partes de automóvil.

La industria de las telecomunicaciones y la electrónica fue uno de los principales mercados que aprovecho la ventaja de la deflexión del calor y estabilidad dimensional de makrolon.

Así como las mencionadas, existen muchas más aplicaciones, por ejemplo en elementos estructurales de las computadoras, equipo de telecomunicaciones, máquinas de audio y video, etc.

Transporte: Panel de control, cubiertas para aviones, ventanas de avión, cubiertas de alumbrado.

Electrodomésticos: Licuadoras, contenedores de agua para cafeteras, carcasas de aspiradoras, secadoras de cabello, carcasas para herramientas de alta potencia, puertas para estufa

Seguridad: Goggles, cascos.

Medicina: Contenedores, tubería, componentes para prueba de diálisis

Optica: Lentes para gafas, discos ópticos, reflectores para alumbrado.

²¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Eléctrica/Electrónica: Cubiertas para batería, carcazas, conectores, componentes para computadora.

Telecomunicaciones: Discos Compactos, fibra óptica.

Seguridad: Cubiertas para camiones, Casetas de teléfono

Los principales fabricantes de Europa son Bayer, Enimont, DSM y GE Plastics. Otros importantes fabricantes son Taijin Chemical Co., Mitsubishi Edogawa y Edemitsu Kasei (Japan), Dow (United States of America), y policarbonatos de Brasil.

El PC no reforzado presenta alta resistencia, rigidez, dureza y tenacidad en un rango de -150 hasta 135°C. Debido a esta excelente resistencia mecánica y a la transparencia del PC, es el mejor sustituto del vidrio, pues además al romperse no tiende a formar astillas. La resistencia química, al contrario, es sólo regularmente buena, ya que el PC es atacado por benceno, toluol, hidrocarburos clorados, ácidos, etc.

El polímero industrial es amorfo, tiene una cristalinidad del orden de 10 - 30% con temperaturas de transición vítrea $T_g = 150^\circ\text{C}$ y de fusión T_m alrededor de los 260°C. Los altos valores de T_g y T_m se deben principalmente a la rigidez de la cadena molecular y no a las fuerzas de atracción originadas por los grupos éster.

El PC presenta una buena resistencia al ataque de los agentes del medio ambiente en productos cuyo espesor de pared es mayor de 1mm.

Sus desventajas son una moderada resistencia a la flexión, baja resistencia a los solventes (especialmente a los solventes de pintura), alta viscosidad durante el proceso (creando problemas al diseño así como al proceso), y una resistencia disminuida al impacto repetitivo. Un componente podría sobrevivir a un gran impacto pero podría destruirse si se somete aun segundo impacto mucho menor al primero. Su mayor desventaja es su alto costo.

El PC no es altamente higroscópico, pero un bajo contenido de humedad durante el procesamiento, provoca la aparición de burbujas en el producto.

Las propiedades eléctricas y dieléctricas del PC no son muy buenas, pero aunadas a las excelentes propiedades mecánicas, ópticas, a la estabilidad ante la temperatura y a su inflamabilidad, este material es de gran utilidad en aplicaciones técnicas, sin embargo debe ser moldeado con extremo cuidado, para evitar daños en la maquinaria y desperdicios costosos debido a condiciones inadecuadas de trabajo

El mercado global para el PC se estimó en 570,000 toneladas en 1990. Producción y consumo de más del doble entre 1980 y 1990 con un rango de crecimiento del 11% por año. Los países de mayor consumo son Estados Unidos (37%), Europa Occidental (33%), y Japón (26%).

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

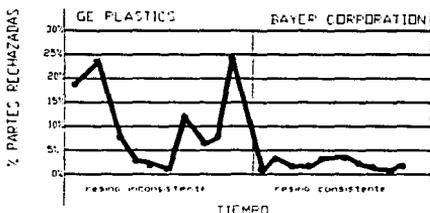
3.7 Makrolon (policarbonato)²³

Por todo lo antes mencionado y siendo el mercado de Hella el de los faros y calaveras que cumplan con las expectativas de los clientes más exigentes, tales como excelente calidad, durabilidad, apariencia y costo, el departamento de ingeniería de Hella ha buscado el material que cumpla con todos estos requerimientos y que, además, desde el punto de vista del proceso el material que sea más fácil de trabajar y que provoque el menor número de piezas a retrabajo y de una baja calidad.

Los dos factores que afectan directamente la consistencia del proceso, al momento de inyectar policarbonato son: las condiciones de moldeo y la uniformidad de la resina con la que estemos trabajando. Reduciendo las variaciones en ambos parámetros podremos incrementar la confiabilidad y productividad de nuestro proceso.

Un proceso consistente minimiza pruebas, partes rechazadas y retrabajos. En adición una vez encontradas las condiciones ideales de moldeo e inyección para una pieza, estas condiciones nunca deben cambiar al menos que pueda existir una mejora sustancial en la pieza.

En un análisis comparativo de piezas rechazadas utilizando dos tipos de policarbonato GE PLASTICS y BAYER CORPORATION se obtuvo el siguiente comparativo evaluando la consistencia de la resina 8 horas después de haber sido inyectada y se obtuvo lo siguiente:



Gráfica 3.1 Tabla experimental comparativa de rechazo de dos resinas de policarbonato de diferentes proveedores

Como se observa en la gráfica la materia prima suministrada por GE PLASTICS se obtuvo como resultado un proceso muy inestable en cuanto a consistencia del material, trayendo como consecuencia hasta un 35% de rechazo en un lote de piezas; se cambió entonces a material suministrado por BAYER CORPORATION, lográndose entonces un proceso más estable y con rechazos de un 20% como máximo.

A partir de estas premisas Hella a decidido procesar sus productos con resinas de la más alta calidad y confiabilidad, es por eso que Hella trabaja todos sus productos con materia prima de Bayer Corporación. El caso que nos ocupa es el de la resina de policarbonato denominada **MAKROLON** de la que a continuación se dará una breve explicación.

²³ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Makrolon es la denominación de producto comercial del policarbonato de Bayer AG (Europa) y de Bayer Corp. (USA) y es la resultante de bisfenol A y ácido carbónico, se define en ISO 7391 como masa de moldeo termoplástica amorfa. El Makrolon se caracteriza por su alta transmisión luminosa, alta temperatura de deformación por calor: 135 °C, alta tenacidad y resistencia, gran exactitud de medidas y buen aislamiento eléctrico. El Makrolon reforzado con fibra de vidrio posee una rigidez particularmente alta y muy buena estabilidad dimensional. El Makrolon es, según el tipo, transparente y se suministra en casi todos los colores.

3.8 Makrolon AL-2405

El surtido de tipos de makrolon esta adaptado a las múltiples exigencias especiales de campos de aplicación muy variados. El Makrolon puede presentarse como.

- Policarbonato estándar sin reforzar.
- Policarbonato ignifugado sin reforzar,
- Policarbonato reforzado con fibra de vidrio, con o sin ignifugación
- Tipos especiales para campos de aplicación específicos.
- Productos en desarrollo.

3.8.1 Descripción

Los grados AL de Makrolon de resinas de policarbonato han sido especialmente desarrolladas para cumplir los requerimientos en aplicaciones de lentes automotivos. Estas resinas combinan una excelente resistencia al impacto y al calor con la pureza y claridad óptica de calidad. Las resinas AL de Makrolon cumplen el riguroso estándar para lentes automotivos de la Sociedad Automotiva de Ingenieros (SAE). Es por esta situación que Hella utiliza Makrolon AL-2405 en el proceso de inyección de plásticos.

3.8.2 Propiedades

Las resinas de policarbonato Makrolon AL proveen las siguientes combinaciones de propiedades únicas para el uso de aplicaciones de luces automotivas.

- Excelente pureza y limpieza
- Alta claridad y transmitancia de luz en espesores gruesos
- Deflexión al calor alto y estabilidad dimensional
- Alta resistencia al impacto
- Alta estabilidad térmica
- Excelentes características de procesamiento
- Excelente liberación del molde

3.8.3 Procesamiento

Makrolon AL-2405 puede ser fácilmente procesado en inyectoras comerciales y moldeado normal para todo tipo de equipamiento, así como todas las resinas de policarbonato, makrolon puede ser trabajado en cualquier proceso. Su punto de deshumificación en aire es de $121 \pm 3^{\circ}\text{C}$ durante un tiempo mínimo de 4 horas.

Para Makrolon AL-2405, son recomendadas las siguientes condiciones de moldeo:

- Temperatura del material debe estar en el rango de $294-310^{\circ}\text{C}$
- Las presiones de inyección deben estar en el rango de 69-138 Mpa.
- La velocidad del husillo debe estar entre 30-60 rpm.

3.8.4 Valores técnicos de makrolon AL-2405¹⁸

Los valores técnicos del makrolon AL-2405 son una referencia de todas sus propiedades y se mencionan en la siguiente tabla :

PROPIEDADES	NORMAS	UNIDADES	AL-2405
PROPIEDADES REOLOGICAS			
Indice De Fluidez	ISO 1133	g/(10 min.)	18
PROPIEDADES MECANICAS			
Modulo De Elasticidad	ISO 527	Mpa	2300
Tensión De Estiraje	ISO 527	Mpa	63
Resistencia Al Impacto	ISO 179	KJ/m ²	Nb
Modulo Plastodeformación	ISO 899	Mpa	2200
PROPIEDADES TERMICAS			
Temperatura de transición vítrea	IEC 1006	°C	148
Temperatura de deformación por calor	IEC 1006	°C	127
Temperatura de reblandecimiento	ISO 3006	°C	144
Coefficiente dilatación térmica lineal	ASTM E 831	10 ⁻⁴ /K	0.7
PROPIEDADES ELECTRICAS			
Indice de permitividad	IEC 250		3
Factor de pérdida dieléctrica	IEC 250	10 ⁻⁴	10
Rigidez dieléctrica	IEC 243-1	Kv/Mm	30
PROPIEDADES DIVERSAS			
Absorción de agua por inmersión	ISO 62	%	0.35
Absorción de humedad	ISO 62	%	0.15
Densidad	ISO 1183	.g/cm ³	1.2

Tabla 3.4. Características técnicas del Makrolon AL-2405.

¹⁸ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

CAPITULO IV VARIABLES Y ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE INYECCION.

4.1 Generalidades¹¹

Aun cuando el moldeo de materiales plásticos puede parecer a primera vista una operación muy simple, se podrá apreciar enseguida, cuáles y cuantos son los problemas que se deben resolver para producir piezas moldeadas que respondan a la exigencia de precisión y de la calidad que cada producto industrial requiere. En realidad, tanto para los materiales plásticos como para los hules, está difundida la diferencia entre materiales termoplásticos que deben ser calentados (a la temperatura de fusión) para ser después inyectados en moldes fríos para que se solidifiquen, y materiales termofijos que al contrario, deben ser comprimidos, plastificados e inyectados a baja temperaturas en moldes calientes.

Los parámetros ajustables de la inyectora afectarán a la pieza moldeada, dependiendo de la fase de trabajo en la que actúen por ejemplo:

- Durante la fase de inyección se pueden ajustar velocidad de inyección, temperatura de la masa (a través de la temperatura del cilindro y de la velocidad de giro del husillo), presión de inyección y temperatura de moldeo para influir sobre propiedades tales como: dureza, resistencia a la tensión, resistencia al choque, calidad de la superficie y marcas de flujo.
- Durante la fase de sostenimiento se pueden variar presión y tiempo de sostenimiento y temperatura del molde, con lo que se puede influir sobre las dimensiones, peso, contracción, formación de flash (marcas), cristalización, orientación y formación de tensiones internas dentro de la pieza.

Pero, el proceso de inyección presenta una gran versatilidad en cuanto a equipos disponibles y aplicaciones. Las máquinas de inyección se identifican con dos parámetros principales, fuerza de cierre y capacidad de disparo, en toneladas y gramos respectivamente.

Para piezas de precisión dirigidas a mercados como el electrónico y eléctrico pueden emplearse máquinas muy pequeñas.

Por otro lado, encontramos aplicaciones de inyección que requieren de equipos de mayor tamaño. Puede tratarse de una maquina con capacidad máxima de fuerza de cierre de 3000 a 4000 toneladas y tamaño de disparo en varios kilogramos. Aplicaciones dirigidas al sector automotriz, industrial de consumo, frecuentemente son producidos con cierre hasta de 8000 toneladas.

A continuación se da una descripción de las variables y elementos que intervienen en un proceso de inyección donde se hace referencia a la maquina de inyección demag ergotech 250, mencionando todos los parámetros a controlar.

¹¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

4.2 El proceso de inyección de plásticos

4.2.1 Descripción del proceso de inyección.

Es un proceso intermitente que se emplea para producir artículos de plástico y consiste básicamente en los siguientes pasos:

- a) El material se coloca en la tolva listo para ser moldeado, es decir seco, pigmentado, mezclado, etc, según sea el caso.
- b) El cierre del molde, el cual se efectúa en varias etapas:
 - A alta velocidad y baja presión hasta antes de que se toquen las platinas del molde
 - A baja velocidad y baja presión hasta que las platinas hacen contacto total
 - A alta presión para generar la fuerza necesaria y para evitar que el molde se abra durante la inyección.
- c) El material es plastificado (fundido) por la acción de bandas calefactoras y por el calor debido a la fricción que genera la rotación del husillo (de las moléculas entre sí y de las moléculas contra las paredes del husillo del cilindro)
- d) El husillo sigue girando hasta accionar un microswitch, que determina la cantidad del material que debe de ser alimentado a la punta del cilindro. Para evitar que el material plastificado que se encuentra en la punta del cilindro, empuje el husillo hacia atrás, se le aplica a éste alguna presión en sentido contrario (contrapresión).
- e) Una vez que el husillo llega a un punto predeterminado en la etapa de plastificación, empujado por el plástico acumulado en la cámara de inyección, detiene el giro y puede desplazarse hacia atrás cuando se dirige aceite hidráulico por el frente del pistón de inyección. Con esto se logra evitar que el material plastificado se encuentre sometido a una presión suficiente que provoque una fuga, cuando se abre el molde o cuando se emplea la función de retirar la unidad de inyección del contacto con el bebedero del molde
- f) Por medio de un sistema hidráulico se empuja al husillo para que actúe como pistón, inyectando al material dentro de las cavidades del molde a determinada velocidad y presión de inyección.
- g) Terminada la inyección se ejerce una presión sobre el material por medio del husillo (sostenimiento), que generalmente es menor a la de inyección y sirve para contrarrestar las contracciones del material debidas a la solidificación. Probablemente se trata de la fase del proceso más crítica, en cuanto a repetibilidad ya que durante ella, el producto adquiere las propiedades y estabilidad requeridos.
- h) Poco a poco el material solidifica y por lo tanto la presión de sostenimiento ya no tiene ningún efecto por lo que se elimina.
- i) El calor que desprende la pieza se trasmite al molde y éste a su vez, es disipado por un refrigerante (generalmente agua) que corre a través de los canales de

enfriamiento del molde. Una vez que ha transcurrido el tiempo de enfriamiento ajustado en la máquina, el molde se abre.

j) Un mecanismo de expulsión saca el producto del molde y la máquina puede iniciar el siguiente ciclo.

Es importante mencionar que la realización del gráfico 4.1 que se muestra a continuación, fue manera experimental y que es solo un bosquejo debido a que no existe una cuantificación de los parámetros que se muestran.

Para el estudio de las variables de operación en inyección que se muestran en la tabla 4.1, es necesario conocer el comportamiento de los materiales en su aspecto plástico, y también conocer si el material en proceso es amorfo o semicristalino, ya que los parámetros pueden presentar influencias distintas en cada uno de ellos.

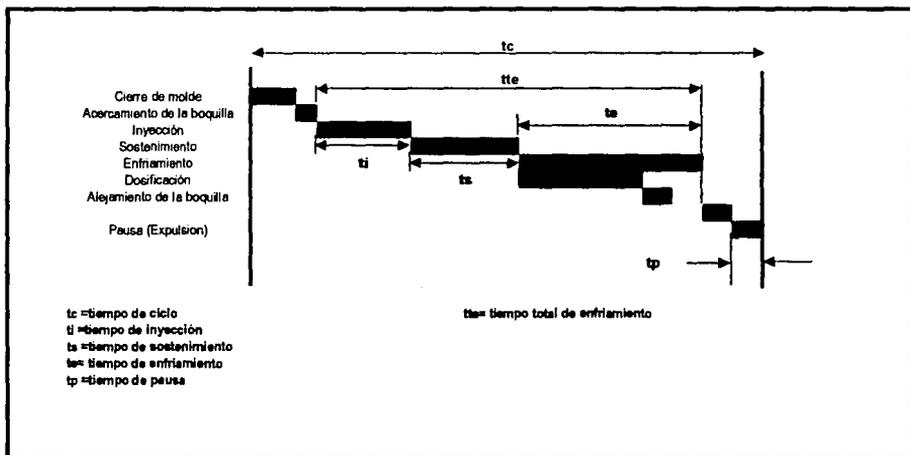


Gráfico 4.1 representación gráfica (experimental) del proceso de inyección en función del tiempo, en las diferentes fases del ciclo.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.2.2 Parámetros que intervienen en la fase de llenado de la pieza.¹

Velocidad de inyección

Durante la fase de inyección el material plastificado es forzado a entrar en la cavidad del molde. Esta etapa influye de manera muy importante en la calidad del producto así como en características mecánicas y apariencia.

A propósito del flujo de un fluido en un ducto, es oportuno recordar que la velocidad de este no es constante en cada punto de la sección del mismo. Cuando un fluido se mueve, se desarrolla en él una tensión de corte. La tensión de corte, denotada con la letra griega τ (tao), puede definirse como la fuerza requerida para deslizar una capa de área unitaria de una sustancia sobre otra capa de la misma sustancia. Así pues, τ es una fuerza dividida entre un área y puede medirse en unidades de newtons por metro cuadrado o en lb/pies².

En la figura 4.1 se ilustra el concepto de cambio de velocidad en un fluido mediante la exhibición de una capa delgada del fluido situada entre dos superficies, una de las cuales esta estacionaria, mientras que la otra esta en movimiento

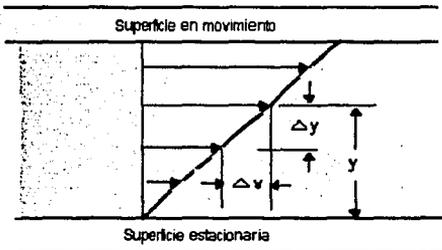


Fig. 4.1 Gradiente de velocidad en un fluido en movimiento

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

El fluido que esta en contacto con la superficie inferior tiene velocidad cero y el que esta en contacto con la superficie superior tiene velocidad v . Si la distancia entre las dos superficies es pequeña, entonces la rapidez de cambio de velocidad con respecto de la posición y es lineal. El gradiente de velocidad es una medida de cambio de velocidad y se define como v/y .

El hecho de que la tensión de corte del fluido es directamente proporcional al gradiente de velocidad puede establecerse matemáticamente como:

$$\tau = \mu (v/y) \dots\dots 4.1^{24}$$

En la que la constante de proporcionalidad μ se conoce como viscosidad dinámica del fluido. Cualquier fluido que se comporte de acuerdo con la ecuación 4.1

¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

se conoce como newtoniano en caso contrario, como lo es en el caso de los plásticos será un fluido no Newtoniano de acuerdo a como se muestra en las siguientes figuras:

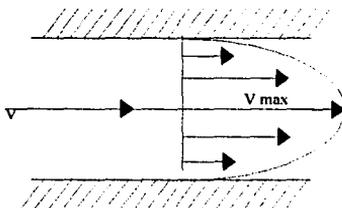


Figura 4.3. Perfil de la velocidad del flujo de un polímero termoplástico fundido, dentro de un molde frío. Mientras el polímero fundido avanza, forzado por la presión de inyección, una capa delgada de material se solidifica al contacto con la masa fundida. La "vena fluida" al centro de la sección fluye prácticamente dentro de una camisa o cubierta de material solidificado.

En general, las velocidades de inyección elevadas facilitan el llenado de moldes con recorrido de flujo largo, sobre todo cuando se moldean piezas de paredes delgadas. Cuando la inyección se realiza en un tiempo breve, se alcanza a llenar el molde antes de que empiece a solidificar el puerto de entrada y por lo tanto se interrumpe el flujo.

Las altas velocidades de inyección disminuyen también las caídas de presión (o pérdidas de carga) que se presentan cerca de los puertos de entrada a la cavidad del molde. Un límite para la velocidad de inyección puede ser la sensibilidad de algunos plásticos al calor que, inyectadas velozmente a través de secciones restringidas de la boquilla o del puerto de entrada, pueden presentarse quemaduras debido al sobrecalentamiento.

Esta variable puede ser expresada en **milímetros por segundo** o **centímetros por segundo**.⁴

Es importante manipular la velocidad de inyección por lo siguiente:

El material al ir llenando la cavidad, el área disponible para el flujo de plástico, va disminuyendo por lo que, al mantener constante su velocidad es necesario modificar la velocidad de inyección a través del empleo de perfiles programables.

La longitud del flujo, los cambios de dirección y el espesor de la pieza, así como el enfriamiento del molde, pueden resultar desfavorables para la calidad del producto inyectado, ya que dan lugar a variaciones de la velocidad de avance frente al llenado de la cavidad, cuando se programa una velocidad de inyección uniforme.

La velocidad de inyección debe ser la mayor posible, tomando en cuenta las limitaciones del molde y del material plástico en cuestión. Este parámetro presenta un

⁴ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

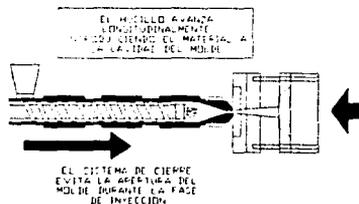
efecto importante en la temperatura del material y determina el grado de expansión del mismo en el interior del molde.

Presión de inyección¹³

Definición: La presión de inyección es la requerida para vencer la resistencia que se opone al flujo del material, desde el cilindro de plastificación hasta el molde.

Durante la fase de llenado, la magnitud de la presión de inyección es el resultado de la viscosidad del material, de la oposición al flujo plástico en el interior de la cavidad, y del perfil de velocidad programada por el operador de la máquina inyectora ver figura 4.3.

La intensidad y duración de cada presión influyen en diferente medida sobre las características físico-mecánicas y la contracción de las piezas moldeada



TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Fig. 4.4 Representación esquemática del avance del husillo longitudinalmente introduciendo el material a la cavidad del molde



Fig. 4.5 Representación esquemática donde se muestra el husillo adelantado (presión de sostenimiento) mientras transcurre el tiempo de solidificación de la pieza.

¹³ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

La resistencia que se opone al flujo del material depende:

- De la brusca reducción de sección correspondiente a la boquilla, los canales de alimentación y de las entradas al molde.
- De la longitud de la trayectoria y la geometría más o menos complicada de la cavidad que debe de producir la pieza moldeada.

Al relacionar estas variables algunos factores pueden parecer contradictorios. En general, a menor tiempo de llenado, es más alto el flujo volumétrico de plástico hacia la cavidad del molde y el requerimiento de presión. Sin embargo, una alta velocidad de inyección genera un calentamiento por fricción del plástico, con lo que su viscosidad decrece y el requerimiento de presión es también menor.

Por otro lado, el llenado determina el efecto de enfriamiento de la masa plastificada en las paredes del molde. Cuando el tiempo de llenado aumenta, la capa de material solidificado es más gruesa y el canal donde puede ser ingresado el plástico, se vuelve mas estrecho, con lo que la necesidad de presión se incrementa.

Generalmente piezas delgadas requieren velocidades de inyección elevadas. Los productos con paredes gruesas presentan un rango amplio en cuanto al tiempo óptimo de llenado, siendo la presión de inyección relativamente insensible a la velocidad de inyección.

Presión de sostenimiento¹⁷

Definición:

También llamada presión posterior es aquella cuya magnitud es de menor magnitud que la presión de inyección y que tiene como función mantener al material dentro del molde hasta el momento de su solidificación (ver figura 4.4).

La etapa de sostenimiento es esencial para la determinación del encogimiento, tamaño, peso, estabilidad, grado de cristalización, tensiones internas y distorsión de la pieza inyectada, así como la aparición de huecos, rechupes o rebabas.

Con la presión de sostenimiento garantizamos el llenado total de la pieza, se compensan las contracciones de masa originadas por el enfriamiento.

Durante esta fase el material plastificado inyectado en las cavidades relativamente frías, comienza a disminuir su temperatura. Después que el llenado ha sido completado, el plástico alojado en el centro del espesor del producto, posee cierta temperatura que puede darle fluidez para salir de las cavidades y regresar al barril de inyección.

Por lo tanto, mientras los puntos de inyección de los productos no haya solidificado, deberá seguirse aplicando presión sobre el material, considerando principalmente el tipo de plástico en cuestión y el espesor del producto inyectado, así como la sección transversal de los productos de inyección.

¹⁷ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

En ciertas ocasiones, es posible compensar las contracciones que sufre la masa plástica en el interior de la cavidad, mediante el empleo de presiones de sostenimiento que permitan introducir una pequeña cantidad final de plástico, sin influir negativamente en las propiedades del producto.

Tiempo de sostenimiento

A una presión determinada de sostenimiento corresponde un tiempo efectivo hasta la solidificación del punto de inyección. El tiempo de sostenimiento depende entre otras cosas de:

- Espesor de pared
- Sección transversal del punto de inyección

Punto de cambio inyección - sostenimiento

La fase de llenado debe concluir cuando el plástico ha llegado a los puntos mas alejados de cada cavidad, momento en que se registra el valor máximo de la presión. A partir de ese instante, la presión debe ser solo lo suficiente para evitar el retorno de la masa plastificada y compensar las contracciones.

Existen diversos métodos para definir el momento idóneo para realizar la conmutación de regulación por velocidad en la inyección a regulación por presión durante el sostenimiento. Una de las técnicas mas precisas, consiste en medir la presión que actúa sobre el material en el interior de la cavidad del molde.

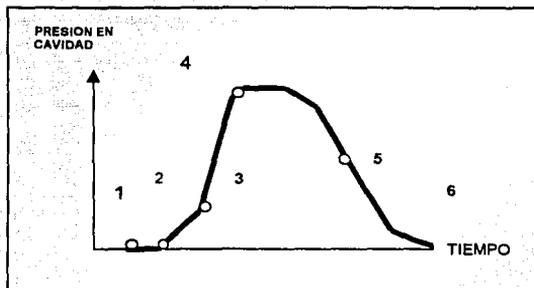
EL CAMBIO A PRESION DE SOSTENIMIENTO SE PUEDE HACER EN FUNCION DE:

- **LA CARRERA**

1. A partir de un punto del recorrido del husillo
2. Equivale a un cambio en función del volumen inyectado
3. No debe variar el volumen dosificado

- **EL TIEMPO**

1. Este valor se obtiene inyectando previamente en función de la carrera
2. Muy importante la viscosidad uniforme del fundido



Gráfica 4.2 características de curva de presión en la cavidad

La gráfica 4.2 ilustra las características de la curva de presión en la cavidad aplicable a la inyección de cualquier termoplástico.¹⁷

1. La masa inyectada aún no alcanza la posición del sensor de presión.
2. Al alcanzar dicho punto, la presión se incrementa dependiendo de la resistencia al flujo correspondiente a la sección transversal de la cavidad.
3. Después del llenado volumétrico, idealmente se lleva a cabo el cambio de inyección a sostenimiento.
4. Ante la conmutación, la presión interna de la cavidad aumenta debido a la compresión que sufre el plástico en ella.
5. Con el fin de compensar contracciones, se fuerza a una pequeña cantidad de material plástico a ingresar a la cavidad mientras el punto de inyección no solidifica, debido al enfriamiento del molde.
6. La presión de la cavidad se reduce hasta ser igual a la atmosférica y la pieza comienza a contraerse, siendo llevada a la temperatura de desmolde.

Determinación de la fuerza de cierre

Antes de que un molde sea asignado a alguna máquina debe hacerse una determinación previa de la fuerza de cierre (figura. 4.5) necesaria para evitar que el molde se abra durante la inyección.

Para determinar la fuerza de cierre se necesita:

- a. Calcular el área proyectada (superficie frontal) de la pieza y los canales de distribución, que es el área en donde actúa la fuerza que tiende a abrir el molde.

¹⁷ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

b. Considerar la presión que se genera dentro del molde, en el ámbito industrial este valor experimental es conocido como factor de presión interna y va a depender del material que se vaya a emplear, de acuerdo a la tabla 4.2 tenemos los siguientes valores.¹⁷

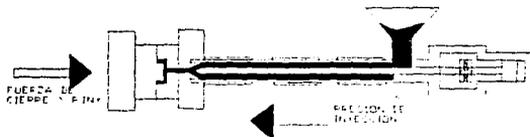


Figura. 4.6 Sentido de aplicación de la fuerza de cierre

FACTOR DE PRESION INTERNA

PS	0.50
ABS	0.62
SAN	0.46
SAN(alto flujo)	0.62
LDPE	0.31
HDPE	0.39
HDPE(alto flujo)	0.54
PP	0.39
PP(alto flujo)	0.54
PVC-F	0.39
PVC-R	0.47
PA 6, 66	0.77
PMMA	0.62
PC	0.77
POM	0.77
A-PET	0.39
C-PET	0.93
PBT	0.62
CA	0.31
PFS	0.46

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

Tabla 4.2 Factores de presión interna

c. Aplicar la fórmula

$$F = P \times A$$

F = FUERZA DE CIERRE

P= FACTOR DE PRESION INTERNA

A= AREA PROYECTADA

¹⁷ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Es importante no perder de vista que la fuerza de cierre debe ser mayor a la presión de inyección. *(17)

4.2.3 Fase de plastificación

Contrapresión

Definición:

La contrapresión es la presión que se opone al libre retroceso del husillo, y por lo tanto, al avance del material durante la fase de plastificación o alimentación (ver figura 4.6).

El calor generado mecánicamente, y suministrado al plástico, es dependiente del desarrollo de esta etapa de parámetros como la contrapresión, la velocidad de giro del husillo y el perfil que presenta el mismo.

El material acumulado en la punta debido al giro del husillo lo obliga a retroceder. Oponiéndose la contrapresión a este movimiento.

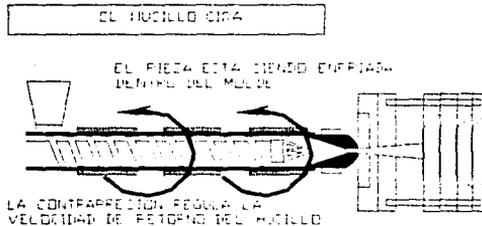


Fig. 4.6 El material acumulado en la punta del husillo obliga al husillo, la contrapresión a sentido indicado

Al retroceder el husillo, la cantidad de calor generada sobre el plástico va decreciendo mientras se acerca a su posición final, según sea el volumen de carga predeterminado.

Explicación simplificada de la actuación de la contrapresión:

- El husillo rota
- Transporta material hacia la punta
- El husillo es empujado por el material hacia atrás
- Se controla la presión ejercida sobre el pistón hidráulico
- Evita el libre retorno del husillo

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Temperatura de la masa

La cámara de plastificación está provista de bandas calefactoras que aportan cierto porcentaje de la energía que el plástico requiere para adquirir las propiedades del flujo que le permitan ser inyectado.

El control de la temperatura en las diferentes zonas del cilindro de plastificación se realiza mediante termopares insertados en diversos puntos a lo largo de la trayectoria del material, desde la tolva hasta la boquilla. Los termopares están conectados a instrumentos de control automático, que mantienen la temperatura de cada zona en un nivel prefijado. Sin embargo, la temperatura real de la masa fundida que está por ser inyectada, puede ser diferente a la registrada de los termopares ya sea del cilindro o en la boquilla. Por tal motivo es aconsejable medir directamente la temperatura del material haciendo salir un poco de material de la boquilla sobre una placa aislante y ahí mismo hacer la medición con la sonda de un pirómetro o de un termómetro de respuesta instantánea.

Velocidad de giro del husillo

Este parámetro, junto con la compresión, define el tiempo de plastificación que en algunos casos, puede representar un seguimiento problemático del tiempo total del ciclo productivo.

La velocidad de rotación del husillo se puede expresar en RPM's o en mm/s (Velocidad periférica)

4.2.4 Fase de enfriamiento

El comportamiento del plástico durante el procesamiento es influenciado de manera muy importante por la temperatura de la superficie del molde. Sin embargo, los malos resultados son atribuidos en ocasiones a otros factores.

La temperatura del molde adquiere una importancia relevante en las propiedades de flujo del material en el interior de las cavidades y el sistema de distribución.

El desmoldeo de las piezas inyectadas no sólo depende del tiempo de solidificación sino de la rigidez necesaria que evite el riesgo de deformación durante dicha etapa. La relación entre la rigidez de desmoldeo y la temperatura del molde esta influenciada por las fluctuaciones de temperatura del medio enfriador. En ocasiones al no ser alcanzada la temperatura óptima de extracción, el producto puede llegar a ser perforado por los pemos expulsores o marcado en forma antiestética por el dispositivo expulsor.

La calidad superficial de los productos también es resultado del control existente en la temperatura del molde. Propiedades como brillo pueden ser mejoradas a través de temperaturas mayores de la superficie del molde. Defectos como líneas de unión o marcas de flujo son eliminados al emplear apropiadamente este parámetro del proceso.

Durante el diseño del molde, deben ser contemplados los aspectos dimensionales del material que será empleado. Si las dimensiones de una pieza inyectada no son logradas durante el proceso, un cambio en la temperatura superficial del molde ofrecerá la posibilidad de hacerlo.

La distorsión de los productos ocurre cuando existen secciones en la pieza con diferentes grados de encogimiento. Este problema se presenta frecuentemente en el moldeo de materiales semicristalinos y puede ser resuelto mediante un diseño apropiado del sistema de refrigeración, posiblemente seccionado.

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 haya sido tratado de la manera más favorable durante las otras fases de proceso.

Tiempo de enfriamiento

Las variaciones de las temperaturas en el molde pueden producir piezas con calidad variable y dimensiones diferentes.

Si la temperatura del molde es baja, la pieza moldeada se enfría más rápidamente y esto puede crear una marcada orientación en la estructura, elevadas tensiones internas, propiedades mecánicas y aspecto superficial de mala calidad.

El enfriamiento lento produce en las piezas moldeadas una cristalización uniforme en casi toda la sección (tanto en lo interno como en la superficie). De esta manera, se mejoran las características mecánicas y estabilidad dimensional de las piezas producidas. Esto ocasiona inevitablemente, ciclos de moldeo más largos y mayores costos de producción.

La tabla que se muestra a continuación es una compilación de causas y efectos en los parámetros de inyección obtenidos en base a experiencia y en forma práctica de las fuentes consultadas.^{11,17,23}

^{11,17,23} El superÍndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Tabla comparativa de causas y efectos en los parámetros de inyección

PARAMETRO	EXCESIVA	INSUFICIENTE
Presión de inyección	-Se sobre inyectarán las piezas(piezas de mayor volumen), fuerza de cierre elevada, mayor consumo de energía	-Piezas con falta de llenado, no se alcanza el punto de cambio (Cambio de presión de inyección a presión de sostenimiento)
Velocidad de inyección	INCREMENTO -Mayor facilidad para llenar la pieza (Llenado en paredes delgadas), disminución de la orientación total de las moléculas de la pieza, disminución del peso total de la pieza, mejor unión de los frentes de llenado	DECREMENTO -Dificultad para llenar la pieza, aumento del peso total de la pieza, piezas incompletas
Presión de sostenimiento	EXCESIVA -Rebabas, mayores tensiones en la pieza moldeada, eventuales roturas de la pieza al desmoldeo, marcas de expulsión, mayores dimensiones de las piezas.	INSUFICIENTE -Rechupes, mayor contracción, menor peso, menores dimensiones, mayores variaciones de peso entre ciclos
Tiempo de sostenimiento	LARGO -Aumento en la presión interna del molde, empaquetamiento de la colada, tiempo insuficiente para la plastificación, mayor consumo de energía	CORTO -Refujo de la masa, poca compresión de las piezas, piezas demasiado pequeñas, mayores variaciones en peso y dimensiones de las piezas
Punto de cambio Inyección-Sostenimiento	PREMATURO -Un volumen de masa relativamente grande será llenado a presión posterior y baja velocidad (sobre empaquetamiento de la pieza), marcas de conmutación, no se tendrá un buen llenado en la cavidad, se inyectarán piezas ligeras	TARDIO -Se sobre-inyectarán las piezas, mayor fuerza de cierre requerida, las piezas presentaran mas tensiones, se inyectaran piezas muy pesadas, dificultad al desmoldeo, dificultad para que entre la presión de sostenimiento
Contrapresión	INCREMENTO -Mayor uniformidad en la alimentación y el avance del material en el cilindro, mayor homogeneidad del material plastificado, eliminación del aire capalado en la carga, peso constante de la pieza ciclo a ciclo, aumento en el tiempo de plastificación	DECREMENTO -Variación en la uniformidad del material en el cilindro, material plastificado no homogéneo, burbujas de aire en la carga, peso variable de la pieza ciclo a ciclo
Temperatura de la masa	INCREMENTO -Mejor fluidez, aumento en la relación flujo máximo, mejor transmisión de la presión, aumento en el tiempo de enfriamiento, disminución de la densidad, degradación del material	DECREMENTO -Menor fluidez (Dificultad para llenar para llenar la pieza), disminución en el arelación flujo máximo, dificultad en la plastificación, se requiere de mayor presión de inyección
Temperatura del molde	INCREMENTO -Mayor contracción de la pieza en el molde, aumento de rechupes, compensación interna de tensiones, mejor fluidez de la masa, mayor brillo superficial de la pieza, menor tendencia a la formación de líneas de unión, mejor unión de los frentes de llenado, mejor transmisión de la presión en la cavidad, aumento en el tiempo de enfriamiento	DECREMENTO -Mayor tendencia a la formación de líneas de unión, menor transmisión de la presión en la cavidad.
Tiempo de enfriamiento	LARGO -Ciclo largo, temperatura de desmoldeo baja (pieza fría, menor deformación de la pieza, disminución de rechupes.	CORTO -Temperatura de desmoldeo elevada, mayor contracción posterior de la pieza, tiempo de dosificación corto y como consecuencia ciclo

* Es imprescindible ajustar la presión de inyección a su valor más bajo, ya que un aumento en este parámetro, influye directamente en la vida útil de la máquina. Es decir a mayor presión, mayor desgaste de la máquina.

**En todo molde se debe tratar de inyectar a la máxima velocidad en una sola etapa, y si no es posible, entonces se utilizarán perfiles de velocidad.

TEMA CON FALLA DE ORIGEN

4.3 Generalidades de la maquina de inyección Demag ergotech-250.¹¹

4.3.1 Descripción general de la maquinaria industrial

Cada fabricante ofrece una serie de inyectoras que presentan una gran similitud tanto de ensamble como de manejo, aumentan paulatinamente de tamaño para cubrir un amplio rango de producción de artículos.

Para explicar cómo se lleva a cabo la operación de las inyectoras, se tomará como ejemplo la serie Ergotech 250 de Demag (figura. 4.7), indicando en forma general sus funciones.

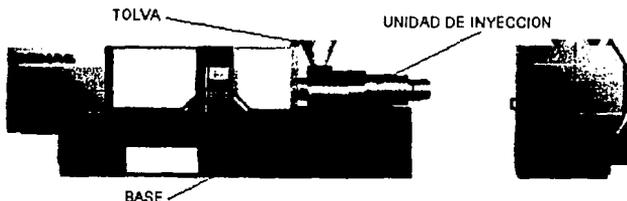


Fig. 4.7. Máquina de inyección de plásticos horizontal

Esta máquina de inyección consta básicamente de tres partes:

1. BASE

La bancada tiene como única función la de sostener a las unidades de inyección y cierre, así como a los tanques de aceite y al sistema hidráulico

2. UNIDAD DE CIERRE

Las funciones de la unidad de cierre son:

- a. Abrir y cerrar las secciones del molde, de tal forma que lo proteja, haciendo que antes de que se toquen al cierre y antes de abrirse actúe el sistema de baja presión y baja velocidad.
- b. Ejercer la fuerza de cierre necesaria durante la inyección y el sostenimiento, para evitar que el molde se abra.
- c. Expulsar mecánicamente a la pieza una vez que se haya solidificado

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹¹ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

3. UNIDAD DE INYECCIÓN

Las funciones de la unidad de inyección son:

- a. Plastificar y homogeneizar el material, es decir, fundirlo hasta que se tenga la fluidez (viscosidad) necesaria para poder inyectarlo en el molde y hacerlo de manera que la temperatura en todo el material sea la misma.
- b. Inyectar al material fundido dentro del molde a alta velocidad y presión, por medio de un movimiento axial del husillo y sostener la presión sobre el material para compactarlo.
- c. Dosificar la cantidad necesaria de material para un ciclo de inyección, por medio de la rotación del husillo.

Cualquiera que sea la marca o el tipo de inyectora que se tenga; ésta deberá tener una serie de dispositivos que permitan la regulación y control de las diferentes variables del proceso, entre estos dispositivos se tienen:

Mando de control general: En el se encuentran los diferentes selectores que se requieren para realizar el ciclo de trabajo, como:

- Arranque del motor principal
- Paro del motor principal
- Selector del tipo de ciclo (manual, semiautomático, automático)
- Selector para el movimiento del molde (apertura, cierre)
- Selector de movimiento de la unidad de inyección (acercamiento, alejamiento)
- Selector del movimiento del husillo (inyección, plastificación)
- Selector de movimiento del expulsor (expulsión, retorno).

Características básicas.

Las características básicas que deben conocerse de una máquina inyectora se basan en los componentes de las mismas. Para información oportuna y precisa acerca del equipo, es común emplear un lenguaje técnico que involucre las siguientes características.

• ESPECIFICACIONES DE INYECCIÓN:

- Capacidad de inyección (cc)
- Velocidad de inyección (mm/seg.)
- Presión de inyección (bar)
- Diámetro del husillo (pulg ó mm)
- Relación Longitud/Diámetro (Husillo)
- Velocidad del husillo máxima (R.P.M.)
- Potencia del motor del husillo (HP)

• ESPECIFICACIONES DE CIERRE

Fuerza de cierre (ton)
Carrera de cierre max(pulg)
Abertura total max (plg)
Espesores del molde (plg)
Velocidad de cierre (plg)
Velocidad de abertura (plg)

4.4 Unidad de inyección

Especificación de la unidad de inyección

Es la parte del equipo que acondiciona el material plástico de tal manera que pueda ser introducido al molde. En la unidad de inyección se encuentra instalado el sistema motriz del grupo de plastificación y, en muchas ocasiones, las partes principales del sistema hidráulico de la máquina.

El sistema de arrastre tiene la función de proveer movimiento axial al grupo de plastificación de tal manera que sean posibles ciertas acciones, como:

- Aproximar y retirar el grupo de plastificación al bebedero del molde
- Cambios de boquilla con longitudes diferentes
- Mantenimiento del husillo y otros componentes

El sistema de arrastre consiste en cilindros hidráulicos y elementos estructurales que dan apoyo al grupo de plastificación.

El grupo de plastificación es la parte de la unidad de inyección donde el plástico estará alojado antes de ser inyectado.

La forma más común para identificar el tamaño de la unidad de inyección es a través de la capacidad máxima de disparo o el peso máximo del producto.

Generalmente la especificación del tamaño de disparo se expresa en gramos de Poliestireno ya que este material tiene una densidad muy cercana a 1g/cm^3 , y sirve como referencia cuando se va a procesar otro plástico de mayor o menor densidad.

Por lo tanto, es muy importante comprender el sentido del valor máximo del tamaño de disparo, ya que cuando se trabaja con materiales como Polietileno o Polipropileno, el tamaño real del disparo será menor, pues éstos ocupan más volumen con un peso determinado. Del mismo modo, al procesar materiales más densos que el Poliestireno como las Poliamidas o el Policarbonato, el tamaño real del disparo será mayor.

4.4.1 Tolva

El diseño de la tolva de alimentación es muy importante para favorecer el flujo uniforme del plástico hacia el interior del cañón. En todos los equipos de inyección la tolva presenta una unidad deslizante o de distintas formas, la cual permite o impide el ingreso del material a la zona de alimentación del husillo.

Para evitar la contaminación del material contenido en las tolvas de máquinas próximas, sobre todo en caso de emplear polvos para la pigmentación o material granulado, es necesario mantener tapada la tolva. En ocasiones puede haber problemas estéticos de las piezas obtenidas en una máquina que se encuentra a varios metros de otra máquina sin la tolva debidamente tapada.

4.4.2 Cañón

Una vez alimentado el plástico en forma de pellets o polvo, se encuentra en el interior de un sistema formado por el cañón y el husillo. El cañón también es llamado barril o cilindro, el cual en conjunto con el husillo aporta el mayor porcentaje de la energía que se requiere para reblandecer el material o fundir el material ya que, durante la etapa de carga, el husillo gira y fuerza al plástico a tener contacto con el cañón, friccionando y generando calor. El resto de la energía de plastificación es provista por el calor que generan las bandas calefactoras que abrazan externamente al cañón.

Generalmente, las bandas de calefacción consisten de elementos cerámicos cubiertos con una pantalla metálica que refleja y concentra el calor generado en la dirección que se requiere. A través de ellas y en contacto con el cañón, se ubican los termopares, elementos de medición y control de temperatura. La figura 4.8 muestra la plastificación del material entre el husillo y el barril.

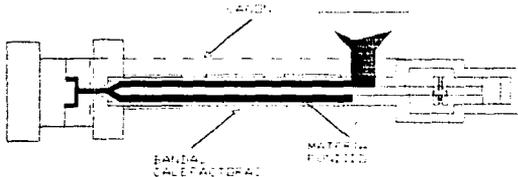


Figura 4.8 El calentamiento de las bandas calefactoras y la fricción que existe entre el cilindro y el husillo originan que el material se funda

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

4.4.3 Husillo

El husillo puede considerarse el corazón de la máquina de inyección, su funcionamiento tiene gran influencia en la calidad de los productos. Un husillo convencional presenta filetes o álabes que sirven para transportar material plástico hacia la cámara de inyección. La profundidad de los álabes en la zona de alimentación de plástico proveniente de la tolva, es mayor que la que se presenta en la zona anterior a la punta, por lo que el material sufrirá una compresión paulatina que lo obligará a reblandecer o fundir y alcanzar la consistencia requerida para ser introducido al molde.

De esta forma, el husillo convencional presenta 3 zonas principales (ver figura 4.9):

1. Alimentación
2. Compresión o Transición
3. Medición o Dosificación

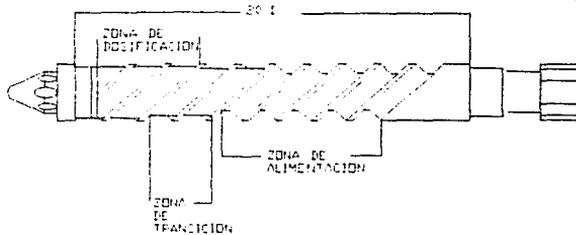


Figura. 4.9 Representación de las tres zonas de un husillo para inyección de plásticos.

La función del husillo es transformar la energía mecánica en calor y transmitirlo al material, por lo que sus características geométricas deben diferir para cada familia de plásticos. Generalmente los materiales semicristalinos deben procesarse con husillo de relaciones mayores de compresión que los amorfos.

Para cada plástico existe un diseño idóneo de husillo que explota sus propiedades e incrementa la productividad del equipo; sin embargo, las máquinas se ofrecen con husillo convencionales y sólo bajo petición expresa, el husillo puede presentar un perfil determinado.

La **relación de compresión** del husillo es uno de los parámetros más importantes cuando se requiere procesar materiales plásticos de diferentes características, por ejemplo las relaciones de compresión para el procesamiento del Policarbonato es de 2.0:1 / 3.1:1.

Esta característica, junto con la **relación L/D** del husillo marcarán en buena medida el perfil recomendado de temperaturas así como otros parámetros según sea el plástico en cuestión.

La clasificación de la relación L/D es como sigue:

- ALTA (22:1)

- Mejor mezclado
- Calentamiento más uniforme
- Piezas con altos requerimientos

MEDIA (20:1)

- Aplicaciones generales

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

BAJA (18:1)

- Piezas con bajos requerimientos
- Baja presión de inyección

4.4.4 Boquilla

La boquilla es un elemento que conecta la salida del plástico hacia el bebedero del molde y el cañón del grupo plastificador (ver figura 4.10). El ensamble se realiza a través de un adaptador roscado o bridado. La boquilla es generalmente roscada ya sea interna o externamente.



Figura 4 10 Ubicación de la boquilla en unidad de inyección

Cuando se lleva a cabo el mantenimiento o algún cambio de husillo, deben engrasarse las roscas del adaptador y la boquilla con sustancias que no se carbonicen al estar expuestas a elevadas temperaturas.

La boquilla debe presentar una banda de calefacción, ya que algunos materiales plásticos pueden solidificarse en esa zona del equipo antes de ser inyectados creando una obstrucción.

Las boquillas de inyección de plástico (fig. 4.11), presentan una punta esférica con un radio de curvatura que debe coincidir con el de la cavidad receptora del bebedero del molde. Cuando esta última tiene un radio menor se presentan problemas de desmoldeo y la posibilidad de fugas de plástico en la etapa de inyección.



Figura 4 11 Boquilla para inyección de plástico

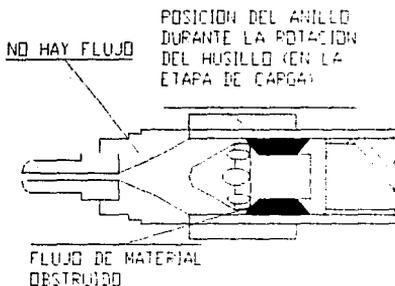
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Una superficie de apoyo muy pequeña puede traer como consecuencia que la boquilla sea impulsada hacia atrás por la fuerza generada durante la introducción del material al molde.

El diámetro del orificio de la boquilla es igualmente importante ya que debe ser menor, pero muy semejante al orificio del bebedero. Si ocurre lo contrario, el plástico encontrará restricción, para fluir hacia el interior del molde y, por lo tanto, sobrecalentamiento y posibilidad de degradación (fig. 4.12).

Las boquillas pueden presentar longitudes muy diversas, lo cual debe considerarse al realizar los ajuste preliminares en el equipo. Existen boquilla con mecanismos que impiden que el material plástico escurra por el orificio, después de que el grupo de plastificación se retira del contacto con el molde en una etapa del ciclo, la cual es opcional. Estos mecanismo pueden ser actuados neumática o hidráulicamente, así como por efecto del mismo plástico acumulado en la cámara de inyección en la etapa de carga.

El tamaño de boquilla para la inyección de Policarbonato debe ser lo más corta posible. Para boquillas arriba de 6 in (150 mm) de longitud se requiere un diámetro interno de 0.375 in (9 mm). Boquillas con una longitud no mayor de 6 in (150 mm) usualmente se requiere un diámetro interno de 0.375-0.500 in (9 - 13 mm). El diámetro interior de la boquilla debe tener un ahusamiento en la zona final para disminuir la pérdida de presión.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.12 asentamiento del anillo sobre el husillo durante la fase de carga. Permitiendo así un mayor control sobre la masa plastificada.

4.4.5 Punta husillo y válvula antirretorno

La punta es un elemento atomillable al husillo que presenta una forma que facilita el flujo de plástico hacia la cámara de inyección (figura 4.13). Entre la punta y el husillo se encuentra un anillo deslizante y un asiento anular para dicha válvula. El último se ubica fijo sobre el husillo, mientras la válvula puede desplazarse axialmente sobre la raíz de la punta.

La válvula anti-retorno es un componente muy especial para el proceso de inyección, ya que regula la cantidad de plástico que será introducido en cada disparo en la cavidad del molde.

Durante la etapa de carga, el anillo se recarga sobre el asiento construido en la punta del husillo, permitiendo el paso del material plastificado hacia la cámara delantera de inyección, primero entre su superficie interna y la externa de la raíz de la punta y después a través de las ranuras de esta última.

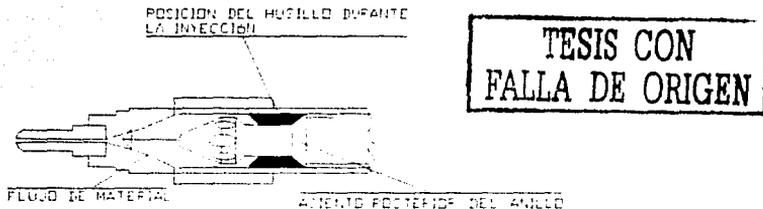


Fig. 4.13. Asentamiento posterior del anillo, evitando así que el material plastificado retroceda a la zona de álabes.

En la fase de inyección, la inercia provoca que la válvula se desplace hasta ubicarse sobre el asiento posterior unido al husillo, lo cual cierra la posibilidad de que el plástico regrese a la zona de álabes.

4.4.6 Sistemas de cierre

Los diferentes sistemas de cierre existentes se encargan de mover la platina que transporta una de las secciones del molde, así como de asegurar que, una vez cerrado, la presión del material plástico inyectado no logre separarlas produciendo defectos en el producto.

Sistema mecánico o de rodillera

El diseño de las articulaciones de la rodillera de cierre varía según el tamaño de la máquina y el fabricante de la misma. Este sistema de cierre es accionado por un pistón hidráulico dispuesto vertical y horizontalmente según sea el número de articulaciones, uno o dos respectivamente. Dicho pistón cumple solamente con desplazar el elemento central de la rodillera que, a su vez, transmite el movimiento al resto de la articulación. El efecto resultante es una multiplicación de la distancia recorrida por la platina móvil por cada unidad que recorre el pistón.

Los sistemas mecánico generan elevadas velocidades de desplazamiento durante la apertura y el cierre del molde.

Para facilitar el ajuste, debe monitorearse la elongación generada en las barras guía por medio de tensores de tensión, ubicados sobre dos de las barras separadas diagonalmente.

Platinas fijas y móvil

Las platinas deben ser lo suficientemente robustas para realizar las operaciones de apertura y cierre sin el riesgo de provocar daños al molde (ver figura 4.14). Platinas muy delgadas pueden sufrir deflexiones según el tamaño del molde y los puntos de acción del sistema de cierre.

ERGOtech 150

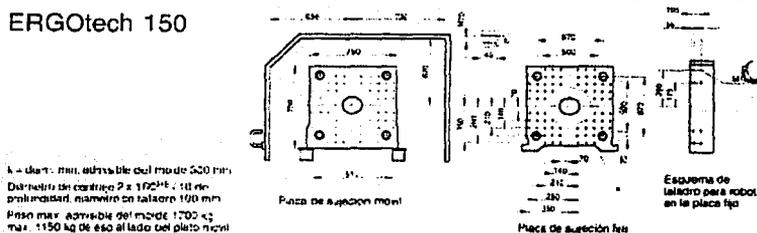


Figura 4.14 platina fijas v móviles

Por el contrario, las platinas con espesores muy grandes serán difíciles de mover y por lo tanto la velocidad de apertura y cierre será limitada. Durante la operación de cierre es recomendable que el inicio del movimiento se realice a baja velocidad con el fin de romper la inercia; una segunda etapa, la de mayor longitud, puede desarrollarse a velocidades superiores hasta llegar a encontrarse los pernos guía frente a la entrada de los bujes guía del molde. En ese momento debe disminuirse nuevamente la velocidad con el fin de proteger la herramienta y evitar encuentros violentos entre las dos caras.

El cierre total del molde debe ser amortiguado y posteriormente puede efectuarse la presión máxima de cierre que evitará que éste se abra cuando se efectúa la inyección.

Durante la apertura, el primer movimiento a baja velocidad deberá llevarse a cabo a lo largo de la distancia que garantice la integridad del producto moldeado. Una vez desalojada la pieza del lado del molde, la parte móvil puede desplazarse a grandes velocidades, asegurando finalmente su llegada amortiguada al punto máximo programando la apertura.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Sistema hidráulico o de pistón

Las funciones de translación de la platina móvil, así como la fuerza efectiva de cierre, se llevan a cabo por medio de pistones hidráulicos. Generalmente, la demanda de aceite se incrementa y los movimientos pueden llegar a ser veloces aunque, en ocasiones inferiores a los de un sistema mecánico equivalente.

Los movimientos de apertura y cierre de un sistema hidráulico pueden ser controlados de manera precisa. Cuando se requiere, es posible emplear una fracción de la capacidad máxima de fuerza de cierre de la máquina, por ejemplo, de 30 a 40 toneladas en un equipo de 50.

Los componentes básicos de este sistema son:

1. Depósitos: son tanques que almacenan y proveen de aceite al sistema para proporcionar energía, movimiento y presión a los elementos de la máquina. La succión debe estar localizada al piso del tanque para garantizar el suministro al sistema.
2. Bomba hidráulica: recibe el aceite del tanque y empujan el fluido hidráulico a través de las líneas del sistema. Deben proporcionar un trabajo uniforme que se mide por presión y caudal. Los tipos de bombas diseñadas para este fin son: bombas de engranes, bombas de paletas y bombas de pistones radiales.
3. Válvulas hidráulicas: se utilizan para la regulación de presión y determinación de la dirección del flujo y del caudal en circuitos hidráulicos- Existen válvulas reguladoras de presión, válvulas reductoras de presión, válvula de secuencia, válvulas reguladoras de flujo y válvulas antiretorno o check.
4. Motor hidráulico: Es el medio más común de transmisión al husillo de plastificación. Su operación es inversa al de una bomba. Cuando el aceite entra por una válvula y es descargado por otra, el motor gira en una dirección; si el flujo se invierte, la dirección del flujo se invierte también.
5. Cilindros hidráulicos: sirven para convertir energía hidráulica en energía mecánica. Estos se usan para abrir o cerrar la platina móvil, para accionar el expulsor y para ejercer la presión de inyección y sostenimiento. Existen cilindros de efecto simple y doble.

6. Distribuidores: Modifican las trayectorias de flujo de aceite. Según la cantidad de vías, son las trayectorias hacia las que se puede dirigir la corriente de aceite, generalmente, estos distribuidores son deslizantes y rara vez giratorios. Encontramos distribuidores de 2 vías, de 3 vías y de 4 vías.

7. Accesorios hidráulicos: Se consideran aquí a los filtros de aceite, intercambiadores de calor, indicadores de presión, indicadores de nivel y los termómetros para medir la temperatura del fluido hidráulico.

4.5 Elementos de un molde de inyección.¹⁷

El molde de inyección es la herramienta compuesta de varias secciones de acero y otros componentes que al estar ensamblados en forma adecuada e instalados en la máquina inyectora, pueden producir la pieza deseada a partir de un material plástico (ver figura 4.15).

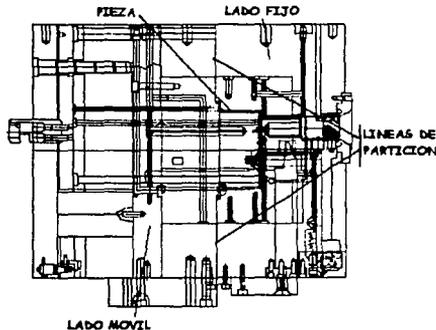


Fig. 4.15 Molde para inyección de plásticos

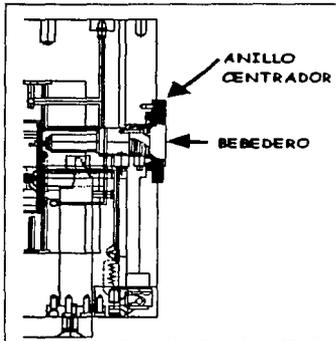
TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

¹⁷ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

4.5.1 Partes de molde y sus funciones

Anillo centrador y bebedero:

La función del bebedero es permitir el flujo del material fundido hacia el interior del molde. El anillo centrador rodea al bebedero y se emplea para ajustar el molde en la placa fija de la unidad de cierre, concéntricamente con la boquilla de la máquina (ver figura 4.16). Cualquier desalineamiento entre estos elementos provocará problemas de desmoldeo de la pieza inyectada.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4.16 El anillo centrador rodea al bebedero

Cuando la boquilla se apoya sobre el bebedero se ejercen cargas que exigen propiedades de resistencia en el material seleccionado para su construcción. Las superficies de contacto entre estos elementos pueden ser planas o cóncavas.

El diámetro del canal del bebedero debe incrementarse basado en la conicidad aproximada de 1 a 4 desde la boquilla hacia el interior del molde. Debe presentarse un acabado interno que evite que la colada o mazarota se atore. Una imperfección mayor, como una rebaba puede provocar la degradación por sobrecalentamiento del material plástico en el momento de ser inyectado.

El dimensionamiento de las superficies en contacto tiene una relevante importancia ya que deben cumplirse dos condiciones básicas:

1. El radio de curvatura de la punta de la boquilla debe ser menor que el radio de concavidad del bebedero.
2. El diámetro del orificio de la boquilla debe ser menor al diámetro del orificio del bebedero.

De no ser satisfechas ambas consideraciones, se presentará un deterioro de los elementos y problemas de desmoldeo que afectarán la continuidad de los ciclos de moldeo y la consistencia de las piezas producidas.

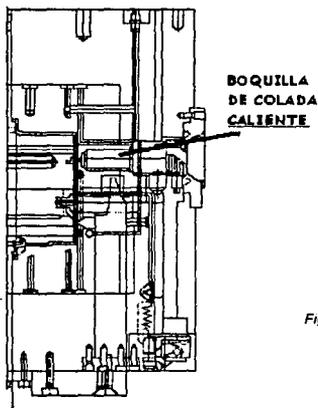
4.5.2 Bebedero directo

Utilizado en moldes de una sola cavidad para piezas con paredes gruesas debido a que existe una baja resistencia al flujo de masa fundida y se facilita la transmisión de presión. Resulta apropiado para la inyección de materiales con alta viscosidad o sensibles a la temperatura y piezas con moderadas tolerancias dimensionales.

La entrada del material hacia la cavidad debe estar provista de un radio de curvatura que permita que el plástico se extienda durante la inyección sin el riesgo de degradarse por la elevada fricción con un canto agudo.

Existen alternativas que hacen posible prescindir de la mazarota a través del empleo de boquilla extendidas o sistemas de bebedero caliente (ver figura 4.17). Las primeras presentan resistencias externas que evitan la pérdida de calor de la masa plastificada y forman parte del grupo de plastificación.

El bebedero caliente, en cambio, es parte del molde y por medio de dispositivos internos de calentamiento, mantiene el estado apropiado al material que será inyectado en el siguiente ciclo.



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Figura 4 17 Ubicación de la boquilla de colada caliente dentro del molde.

4.5.3 Sistemas de ventilación

Las ranuras de venteo de un molde de inyección son las vías de escape del aire contenido en las cavidades y los gases generados por el calentamiento del material. La ubicación de las ranuras y los canales de ventilación está determinada por un cuidadoso análisis del comportamiento de los frentes de llenado, a lo largo de todo el sistema de distribución y las cavidades del molde.

El aire atrapado durante el cierre del molde debe abandonar la cavidad debido a:

- Enfriamiento del frente de llenado
- Presión contraria al flujo del plástico
- Explosión por compresión del aire y marcas en la pieza

Generalmente el sistema de ventilación se localiza sobre el plano de partición del molde, a lo largo del sistema de distribución, en las últimas zonas de llenado de la pieza con un solo punto de inyección y donde se unen los flujos de parte alimentadas por varios puntos. En ocasiones es necesario ubicar zonas de ventilación en los dispositivos expulsores de la pieza, reduciendo el diámetro del perno en 0.001 plg a 0.003 para el PC.

4.5.4 Sistema de expulsión de pieza

El sistema de expulsión siempre opera en el lado móvil del molde y consiste en una serie de dispositivos localizados en puntos clave detrás de la pieza y el sistema de distribución, accionado de manera hidráulica.

Pernos expulsores.

Son los dispositivos más empleados, y existen muchas variantes con dimensiones estandarizadas. Los pernos expulsores se encuentran distribuidos y soportados sobre una placa de extracción accionada al abrir el molde por medio de un sistema hidráulico (ver figura 4.18).

Los pernos expulsores presentan un área limitada de contacto con el producto. La cantidad de pernos empleados debe ser la mínima posible de tal forma que su ubicación no interfiera con las líneas de enfriamiento del molde. La expulsión del producto debe ser uniforme para evitar distorsiones y cada elemento debe poseer el mayor diámetro permitido por el diseño de la pieza.

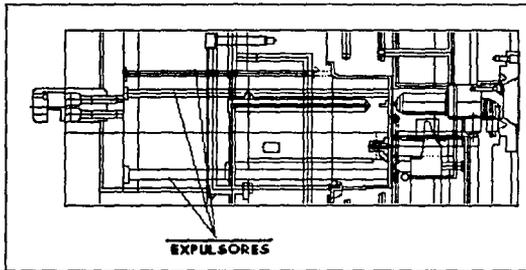


Figura. 4.18 El movimiento de los pernos expulsores es axialmente.

4.5.5 Sistema de enfriamiento

Cuando se procesan materiales amorfos, la refrigeración del molde representa la posibilidad de mantener ciclos muy cortos de moldeo y, por lo tanto, altos índices de productividad. Sin embargo con los materiales semicristalinos, el enfriamiento del molde influye en el control dimensional y de desempeño mecánico de los productos. En todos los casos la temperatura del molde tiene influencia en la apariencia superficial de las piezas.

La calidad del producto es muy dependiente de la consistencia de la temperatura en cada ciclo. En moldes multicavidades, cada pieza debe ser enfriada de la misma forma ya que sólo así podrían mostrar uniformidad y ser representativas de lo que ocurre en el proceso.

La distribución del sistema de enfriamiento depende de la geometría de la pieza, el número de cavidades, la posición de los elementos de expulsión, y la resina empleada. El dimensionamiento de los canales de circulación del medio enfriador, agua, aceite, depende del índice de enfriamiento y el control de temperatura requeridos (ver figura 4.19)

El Policarbonato es enfriado con agua caliente, por medio de unidades de calentamiento portátiles conocidas como termostatores. La diferencia de temperaturas del medio refrigerante entre la entrada y salida del circuito de enfriamiento, debe ser de 5° como máximo.

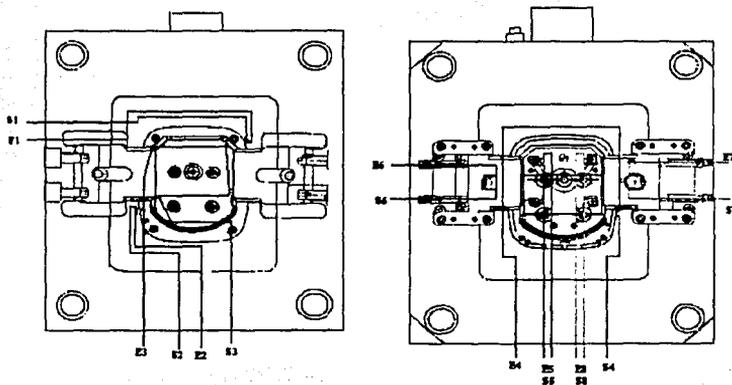


Fig. 4.19 Esquema de refrigeración de parte móvil y fija respectivamente.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

**CAPITULO V
LA NORMATIVIDAD
QS-9000
PARA EL ANALISIS DEL MODO Y EFECTO DE LA FALLA DE UNA
AUTOPARTE**

5.1 Consideraciones generales

El objetivo primordial de cualquier empresa es el de vender al mercado más amplio posible su producto o servicio, a raíz de la Globalización y estandarización del mercado (en especial el automotriz), la mayoría de empresas tiene que decidir entre vender o estancarse. A partir de estas premisas se da la necesidad de vender y comprar productos confiables, que cumplan los requerimientos mínimos de seguridad, calidad y conveniencia.

La mayoría de las empresas en el ámbito mundial han desarrollado técnicas y procedimientos para estar seguras de que los productos que se adquieren son de la mejor calidad, en especial el sector automotriz ha enfatizado sus requerimientos de calidad en un documento llamado QSR (Requerimientos de un Sistema de Calidad) en donde se establecen los lineamientos a seguir, para cualquier empresa que desee ser proveedor de autopartes en el ámbito mundial para firmas tan importantes como son: GM, FORD y CHRYSLER. En este documento se enuncian los pasos a seguir dentro de una compañía y los requisitos que deben ser cumplidos desde el Director General hasta el operador general común.

El objetivo principal del manual Requerimientos de un Sistema de Calidad, es el de desarrollar un sistema de calidad fundamental que este en desarrollo constante, enfatizando la prevención de los defectos en lugar de la corrección y la reducción de la variación de los parámetros en un proceso.

QS-9000 (manual de calidad) define las expectativas fundamentales de los sistemas de calidad de Chrysler, Ford, General Motors, y otros fabricantes de partes automotrices, vendedores de materiales y partes. Estas compañías trabajaron en conjunto con los compradores para asegurar la satisfacción total del cliente en concordancia con los requerimientos de calidad, y continuando con la reducción de las variaciones en los procesos, trayendo como consecuencia beneficios tanto para el comprador final como para ellos mismos.

QS-9000 es una mejora del Manual de Seguridad y Calidad Total de Chrysler (Supplier Assurance Manual), el Q-101 Sistema de Calidad Estandar de Ford (Quality System Estándar), y el Desarrollo para la Excelencia de GM (Targets for Excellence), y es obligatorio el seguimiento de este manual para todas aquellas compañías que deseen vender su producto en el ámbito mundial.

En México se están implantando en la mayoría de las empresas sistemas de calidad con la finalidad de obtener un proceso confiable y con el mínimo de desperdicios.

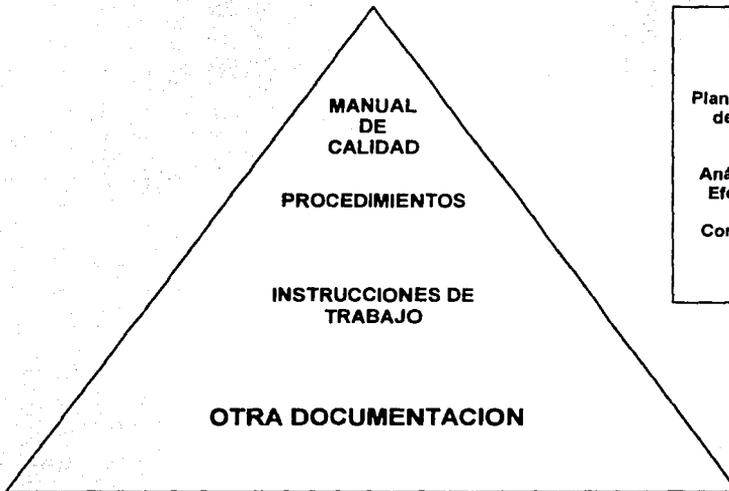
A continuación se enunciarán los 20 puntos llamados requerimientos básicos, que debe cubrir cualquier empresa para implantar un sistema de calidad QS 9000. *(7)

- 4.1 Responsabilidad de la Dirección
- 4.2 Sistema de Calidad
- 4.3 Revisión de Contrato
- 4.4 Control del Diseño
- 4.5 Control de Documentos y Datos
- 4.6 Compras
- 4.7 Control de los Productos Suministrados por el Cliente
- 4.8 Identificación y Rastreabilidad del Producto
- 4.9 Control del Proceso
- 4.10 Inspección y Pruebas
- 4.11 Control, Inspección y Manejo del Equipo de Inspección y Pruebas
- 4.12 Estado de Inspección y Pruebas
- 4.13 Control del Producto no Conforme
- 4.14 Acciones Preventivas y Correctivas
- 4.15 Manejo, Empaque, Almacenamiento y Entrega del Producto
- 4.16 Registros del Control de Calidad
- 4.17 Auditorías Internas
- 4.18 Entrenamiento
- 4.19 Servicio
- 4.20 Técnicas Estadísticas.

Un sistema de Calidad involucra diferentes documentos para definir las tareas principales para cada persona. Dentro de una compañía la documentación principal se puede definir de la siguiente manera:⁷

**ESTANDARES INTERNACIONALES
ISO 9000**

**REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE
QS-9000**
Proceso de Producción y Aprobación de Partes
Requerimientos Específicos de la Compañía



Manuales de Referencia Del Cliente

Planeación Avanzada de la Calidad del Producto

Análisis del Modo y Efecto de la Falla.

Control Estadístico del Proceso

⁷ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información.

De los puntos que se mencionan en el sistema de calidad, hay algunos que involucran una técnica preventiva para el proceso y es la que nos interesa abordar; esta técnica se conoce como AMEF (Análisis del Modo y Efecto de la Falla). a continuación mencionamos los puntos específicos del manual de calidad en donde se menciona la utilización del AMEF:

ELEMENTO 4.2 DEL SISTEMA DE CALIDAD ^{7,10}

ELEMENTO 4.2.3.5 AMEF's de Procesos: Deben implementarse esfuerzos por mejorar los Procesos, a fin de lograr la prevención de defectos, más que su detección.

ELEMENTO 4.4 CONTROL DE LOS DISEÑOS * (7),(10)

ELEMENTO 4.4.2 Planeación de diseños y desarrollos

ELEMENTO 4.4.2.1 Habilidades requeridas: Conforme sea apropiado, las actividades o funciones de diseño del proveedor deberán ser calificadas en el uso y aplicación de AMEF's.

ELEMENTO 4.4.5 Resultados de los diseños.

ELEMENTO 4.4.5.1 Suplemento : Los resultados de los diseños de un proveedor deben ser el resultado de un proceso que incluya AMEF's de proceso o diseño.

ELEMENTO 4.9 Control de los procesos. Los AMEF's de procesos deben considerar todas las características especiales del proceso.

5.2 ¿Qué es un AMEF?

El análisis del modo y efecto de falla es una técnica que se efectúa antes del inicio de la producción el cual involucra todos los modos de falla potenciales y sus posibles causas.

El AMEF es una técnica analítica que identifica los modos de las fallas potenciales del proceso e identifica sus causas potenciales en los procesos de manufactura o ensamble, permitiendo al ingeniero evaluar la probabilidad de ocurrencia de una falla, así como los defectos de la misma.

Este análisis es una disciplina mental que debe adquirir el ingeniero para diseñar cualquier proceso, tratando de anticipar los problemas potenciales durante la planeación del producto o proceso.

El AMEF no sólo es una ayuda para el ingeniero, si no que representa una técnica disciplinaria, que le permite realizar su trabajo más eficientemente.

El empleo de esta disciplina esta siendo ampliado, para incluir el uso de técnicas de Herramientas de Calidad tales como diagramas de Pareto y control

^{7,10} El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

estadístico del proceso, y revisado para enfatizar la prevención en lugar de la detección de defectos.

Aquí se establece el AMEF de procesos como un requerimiento para las partes vitales, sin embargo, su aplicación a procesos nuevos o cambios de partes no clasificadas como vitales, será de gran utilidad para la prevención de problemas. Por lo anterior, las actividades de Manufactura, Diseño o Inspección, pueden requerir AMEF's para aquellas operaciones del proceso identificadas por experiencias pasadas con procesos de campo, baja fiabilidad, complejidad de manufactura y/o ensamble o probabilidad de no cumplir las especificaciones.

La necesidad de efectuar el mejor AMEF posible, ésta respaldada por estudios sobre calidad. Estos estudios han revelado que en un cierto número de casos, un programa AMEF completamente implantado y con adecuado seguimiento de problemas críticos, podría haber prevenido la necesidad de efectuar retrabajos y acciones correctivas.

Un AMEF efectivo es un documento que deberá siempre reflejar las últimas acciones en el proceso y los últimos niveles de diseño.

Resumiendo un buen AMEF incluye:

1. Identificación de los modos de falla potenciales
2. Identificación de las causas y efectos del modo de la falla
3. Señalamiento de prioridades al identificar los modos de falla, de acuerdo a la frecuencia de ocurrencias, severidad y detección.
4. Verificación de la aplicación de las acciones correctivas.

5.3 Objetivo del AMEF

El objetivo del AMEF es enfatizar el concepto de prevención en lugar de la detección para reducir costos por retrabajos, desechos y reclamos.

5.4 Tipos de AMEF

Existen dos tipos de AMEF que se aplica a distintas situaciones

1. AMEF DE DISEÑO

Es una técnica analítica que debe ser aplicada por un ingeniero de desarrollo y diseño para asegurar que se toman en consideración todos los defectos o fallas posibles del producto.

2. AMEF DE PROCESO

El objetivo del AMEF del proceso es analizar si la planeación o ensamble cumple con todas las especificaciones y exigencias para el aseguramiento de la calidad del producto.

El AMEF de diseño puede servir de base para la realización del AMEF de proceso.

5.5 Pasos básicos para el análisis de procesos, componentes o partes de ensamble.

1. Describir anticipadamente el modo de falla de componentes, partes y procesos.
2. Describir los efectos de falla
3. Describir la causa de la falla
4. Estimar la frecuencia de ocurrencia de la falla.
5. Estimar la severidad de la falla.
6. Estimar la detección de falla.
7. Calcular el NPR (numero de prioridad de riesgo).
8. Recomendar acciones correctivas.*(10)

5.6 AMEF de proceso

Para asegurar el desarrollo uniforme del análisis del modo efecto de la falla potencial para procesos de Manufactura y ensamble, se ha desarrollado un formato general, que es aplicable para toda la industria automotriz en donde se especifican de una manera directa todos los puntos a tratar dentro de un AMEF, en la figura 5.1 se harán referencia a todos los puntos que considera un AMEF para su llenado, considerando la descripción que para cada punto se da a continuación.



ELECTRO OPTICA, S.A. De C.V.		Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales de los Procesos														
Item 11		Responsables del Proceso 11				Pag. No 11		No de AMEF de 11								
		Fecha Clave				Fecha del AMEF (Inicial)		Preparado por 11 (Rev)								
Año de Modelo(s) Vehículo(s)																
Nombre del Equipo Clave																
Función del Proceso	Modo de la Falla Potencial	Efectos Potenciales de la Falla	S E V	C L A	Causas Potenciales (Mecanismos de la Falla)	O C U	Control de Proceso Actuales	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Responsables y Fechas Objetivo de Cumplimiento	Resultados de las Acciones				
												Acciones Tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R
Requerimiento	2	3	5		1	4	1	6	7	8		9				10

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

Figura 5.1 formato mandatorio de QS-9000 para la realización de un AMEF, los puntos hacen referencia al llenado correcto de las columnas

5.6.1 Pasos básicos del análisis que debe seguirse para realizar un AMEF exitoso.¹⁰

1. Descripción de la función del proceso (punto #1).

Indique tan concisamente como sea posible la función del proceso o componente que está siendo analizado.

El resultado de este punto deberá ser un conocimiento preciso acerca del proceso.

A continuación se enunciará la forma del llenado del formato del AMEF haciendo referencia para cada punto de un número que se marcará en la tabla típica de la figura 5.1

2. Descripción del modo de la falla (punto #2)

Describe cada modo de falla posible. Se debe asumir que la falla podría ocurrir pero no necesariamente ocurrirá. El ingeniero de proceso que deberá ser capaz de contestar las preguntas:

1. ¿Qué podría posiblemente estar mal en el proceso?"
2. ¿Cómo puede la parte fallar al no cumplir las especificaciones?.
3. ¿Independientemente de las especificaciones de diseño, que consideraría un cliente como objetable?.

Una revisión de AMEF de diseños pasados, de problemas de calidad, reclamos de campo, durabilidad y fiabilidad sobre componentes, procesos y partes similares es un punto de partida recomendable. Los modos típicos son:

3. Descripción del efecto de la falla (punto #3)

Asumiendo que la falla ha ocurrido, describa lo que el cliente podría notar o experimentar: "¿Qué ocasionará el modo de la falla identificado?".

La descripción debe ser tan específica como sea posible. En algunos casos debe coordinarse el Ingeniero de Procesos y el Ingeniero de Diseño para describir correctamente los efectos de una falla potencial sobre el componente o en el ensamble.

4. Estimación de la frecuencia de ocurrencia de la falla (punto #4)

Estime la probabilidad de ocurrencia en una escala del 1 al 10.

En esta estimación deben ser considerados únicamente los controles para prevenir la ocurrencia de la causa de la falla.

¹⁰ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Cuando esté estimando el grado de ocurrencia, considere la probabilidad de que la causa de falla potencial ocurra, resultando en el modo de la falla potencial indicado. Para esta apreciación suponga que la causa de la falla y el modo de la falla no son detectados sino hasta después de que el producto llega al cliente.

El siguiente sistema de puntuación del grado de ocurrencia debe usarse cuando esté desarrollando sus AMEF's.

NOTA: El número absoluto de ocurrencia de falla asignado a un grado en particular es dado a criterio del ingeniero. Sin embargo, el sistema de puntuación seleccionado debe ser consistente a través de todo el AMEF.

Las escalas estadísticas mostradas en la tabla 5.1, son únicamente direccionales y para efecto de explicación.

5. Estimación de la severidad de la falla (punto #5)

Estime la severidad de los efectos de la falla para el cliente en una escala de 1 a 10.

La severidad es el factor que representa la gravedad de la falla para el cliente, después de que ha ocurrido. Ya que la severidad está únicamente basada sobre el efecto de la falla, todas las causas potenciales de falla para un efecto particular de falla, recibirán por lo menos la misma puntuación de severidad; como un medio significativo de resaltar los efectos en Planta, el grado de severidad puede ser incrementado, dependiendo del efecto de falla en operaciones subsiguientes de planta (ver tabla 5.2).

Probabilidad de la falla	Posible ocurrencia de la falla	PPM aproximadamente (Partes Por Millón)	Cpk (Índice estadístico)	Rango
Muy Alta, Falla casi inevitable	>1 en 2	500,000	<0.33	10
	1 en 3	333,333	>0.33	9
Alta: Generalmente asociada con procesos similares o previos, que a menudo hallan fallado.	1 en 8	125,000	>0.51	8
	1 en 20	50,000	>0.67	7
Moderada: Generalmente asociada con procesos similares o previos, los cuales hayan experimentado fallas ocasionales; pero no en proporciones mayores	1 en 80	12,500	>0.83	6
	1 en 400	2,500	>1.00	5
	1 en 2,000	500	>1.17	4
Bajas : Solo fallas aisladas, asociadas con procesos casi idénticos	1 en 15,000	67	>1.33	3
Muy Baja : Sólo fallas aisladas, asociadas con procesos casi idénticos.	1 en 150,000	7	>1.50	2
Remota : Falla poco probable. No existen fallas asociadas con procesos casi idénticos al analizado	< 1 en 1,500,000	1	>1.67	1

Tabla 5.1 estimación de la frecuencia de ocurrencia de la falla²⁵

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

²⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

EFEECTO	SEVERIDAD DEL EFECTO	RANGO
Riesgoso sin advertencia	Puede dañar a la máquina o al operador. Rango de severidad muy alta cuando el modo de una falla afecte la operación segura de un vehículo y/o involucre el incumplimiento de algún requerimiento regulatorio gubernamental. La falla ocurre sin advertencia	10
Riesgoso con advertencia	Puede dañar a la máquina o al operador. Rango de severidad muy alto, cuando el modo de una falla potencial afecte la operación segura de un vehículo y/o involucre el incumplimiento de algún requerimiento regulatorio gubernamental. La falla ocurre con advertencia.	9
Muy alto	Interrupción mayor en la línea de producción. El 100% del producto puede ser que se desperdicie. Vehículo/item no opera, con pérdida de sus funciones primarias. El cliente queda muy insatisfecho	8
Alto	Interrupción menor en la línea de producción. Puede ser que la producción tenga que clasificarse, y una porción menor al 100% desperdiciarse. Vehículo/item opera, pero en un nivel de desempeño reducido. Cliente insatisfecho	7
Moderado	Interrupción menor en la línea de producción. Una porción (menor al 100%) del producto puede ser que se desperdicie (no clasificarse). Vehículo/item opera pero algún ítem de confort conveniencia no opera. El cliente experimenta alguna inconformidad.	6
Bajo	Interrupción menor en la línea de producción. El 100% de la producción puede que se trabaje. Vehículo/item opera, pero algún ítem de confort conveniencia opera en un nivel de desempeño reducido. El cliente experimenta algunas insatisfacciones.	5
Muy Bajo	Interrupción menor en la línea de producción. Puede ser que una porción de la producción (menor al 100%) se retrabaje. Inconformidades en algún ítem de ajuste, acabado, ruido o rechinado. El defecto es notado por la mayoría de los clientes.	4
Menor	Interrupción menor en línea de producción. Puede ser que una proporción de la producción se retrabaje en línea o fuera de la estación de trabajo. Inconformidades en algún ítem de ajuste, acabado, ruido o rechinado. El defecto es notado por un cierto promedio de los clientes.	3
Significativamente menor	Interrupción menor en línea de producción. Puede ser que una proporción de la producción se retrabaje en línea o fuera de la estación de trabajo. Inconformidades en algún ítem de ajuste, acabado, ruido o rechinado. El defecto es notado por un mínimo de clientes.	2
Ninguno	Sin efecto	1

Tabla 5.2 estimación de la severidad de la falla²⁵²⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

6. Estimación del grado de detección (punto #6)

Usando una escala del 1 al 10, estime la probabilidad de detectar el defecto causado por la falla identificada, antes de que la parte o componente salga del área de manufactura o ensamble. Se debe asumir que la causa de la falla ha sucedido y entonces evaluar la eficiencia de todos los controles actuales para prevenir el embarque del defecto. Las verificaciones al azar por inspección son inadecuadas para detectar un defecto aislado y por lo tanto no resultarían en un cambio notable del grado de detección. Sin embargo, el muestreo hecho sobre una base estadística es un control de detección válido (ver tabla 5.3).

DetECCIÓN	Probabilidad de detección de un defecto existente por algún control de proceso antes del proceso próximo o subsecuente, o antes de que la parte o componente se libere de las instalaciones de manufactura/ensamble	Rango
Incertidumbre absoluta	No existe algún control del proceso disponible para detectar modos de fallas	10
Muy remota	Probabilidad muy remota de que los controles de proceso detecten el modo de alguna falla	9
Remota	Probabilidad remota de que los controles actuales detecten el modo de alguna falla	8
Muy baja	Probabilidad muy baja de que los controles de procesos actuales detecten el modo de alguna falla	7
Baja	Probabilidad baja de que los controles de procesos actuales detecten el modo de alguna falla	6
Moderada	Probabilidad moderada de que los controles de proceso actuales detecten el modo de alguna falla	5
Altamente moderada	Probabilidad muy moderada de que los controles de procesos detecten el modo de alguna falla	4
Alta	Probabilidad alta de que los controles de proceso actuales detecten el modo de alguna falla	3
Muy alta	Probabilidad muy alta de que los controles de proceso actuales detecten el modo de alguna falla	2
Casi total certeza	Casi total certeza de que los controles de proceso actuales detecten el modo de alguna falla. Se conocen controles confiables con procesos similares	1

Tabla 5.3 estimación del grado de detección ²⁵

7. El numero de prioridad de riesgo NPR (punto #7)

Calcule el NPR multiplicando las puntuaciones dadas a la ocurrencia, severidad y detección para todas las causas de la falla.

El NPR provee la prioridad con la que debe atacarse cada causa de la falla.

El NPR se utiliza para identificar Items críticos y así poder conocer en que áreas del proceso se deben tomar acciones correctivas urgentes.

A los más altos números de NPR y grados de ocurrencia, se les deberá dar prioridad tanto para tomar acciones correctivas como para emplear control estadístico del proceso por medio de cartas de control.

²⁵ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

Este valor se obtiene multiplicando:

La probabilidad de ocurrencia X el grado de severidad X la probabilidad de detección = NPR

Quando se realice el AMEF para un componente y/o proceso usualmente existe un número de factores que deben contribuir a la falla.

El NPR evalúa la prioridad de esos factores ²⁵:

RANGO	OBSERVACIONES
1 - 125	REQUIERE ATENCION
125 - 1000	REQUIERE ATENCION URGENTE
>1000	ALTA PRIORIDAD DE RIESGO, EL DISEÑO NO SE DEBE LIBERAR.

8. Acciones correctivas recomendadas (punto #8)

Indique una breve descripción de las acciones recomendadas, incluyendo la persona o actividad responsable de su implantación. Si no requiere acción correctiva, escriba las iniciales NR (no requerida).

Un AMEF de proceso bien desarrollado y minuciosamente pensado, será de un valor limitado si no contempla acciones correctivas positivas y efectivas.

Las acciones correctivas son generalmente para el diseño o el proceso.

Basadas en el análisis, las acciones pueden ser usadas para lo siguiente:

- a) Para reducir la probabilidad de ocurrencia, se requieren revisiones al proceso o al diseño. Una acción orientada al estudio de un proceso mediante el uso de métodos estadísticos, deberá ser implantada y soportada con una retroalimentación de información continua para lograr una adecuada prevención de defectos.
- b) Algunas ocasiones, es posible reducir la severidad del modo de la falla del producto modificando su diseño, como un medio de resaltar los efectos significativos del proceso, el grado de severidad puede ser incrementado dependiendo del efecto de la falla en operaciones subsecuentes del proceso en la planta.

Para incrementar la probabilidad de detección, se requieren revisiones al proceso, generalmente un aumento de los controles de detección es costoso e ineficaz para mejorar la calidad. Un incremento en la frecuencia de inspección no es una acción correctiva positiva y debe utilizarse únicamente como último recurso o medida temporal. En algunos casos, puede recomendarse algún cambio en el diseño de una parte específica para ayudar a la detección.

- c) Pueden implantarse cambios en los sistemas de control actuales para incrementar la probabilidad de detección; sin embargo, debe ponerse énfasis en la prevención de defectos (es decir, reduciendo la ocurrencia), en lugar de su detección. Por ejemplo: teniendo control estadístico del proceso en lugar de técnicas de muestreo al azar o inspección 100%.

9. Acciones correctivas tomadas (punto #9)

Anote el estado de las acciones tomadas, fechas promesa o fechas de implantación, etc. Una vez que la acción correctiva ha sido llevada a cabo, se deberá actualizar la información para la puntuación de ocurrencia, severidad y detección para la causa de la falla estudiada.

10. Recalcular el NPR (punto #10)

Una vez que se han tomado las acciones correctivas se debe realizar una auditoría para revisar la aplicación de las mismas y recalcular el NPR para asegurarse que son adecuadas.

5.7 Procedimiento para la realización del AMEF (punto #11)

1. Determinar el proceso o producto a analizar.
2. Dividir al objeto de estudio en sus partes o componentes principales.
3. Enlistar el flujo del proceso de fabricación, producción o ensamble, tomando en cuenta desde el abastecimiento de materia prima hasta la entrega al cliente.
4. Para cada una de las áreas elegidas en el punto anterior, especificar el lugar o lugares en donde pueden presentarse fallas, así mismo describir los modos de falla.
5. A continuación se llena la forma AMEF siguiendo las instrucciones que a continuación se mencionan:

Para llenar los datos de información general:

1. AMEF DE : Marcar el recuadro que describe el tipo de AMEF.
2. AMEF No : Anotar el número de AMEF que se esta realizando.
3. FECHA DE JUNTA DE REVISION: Anotar la fecha de la junta que se realizara para verificar la aplicación de las acciones recomendadas.
4. NOMBRE: Anotar el nombre de la pieza o proceso del que se trate el AMEF.
5. NUMERO: Anotar el número de la pieza o proceso
6. GERENCIA : Anotar la clave de la gerencia responsable.
7. DEPARTAMENTO : Anotar el departamento responsable.

8. INGENIERO : Anotar el nombre del Ingeniero responsable
9. DEPARTAMENTOS INVOLUCRADOS : Anotar las claves de todos los departamentos afectados por el AMEF.
10. FECHA : Anotar la fecha en la cual se realizo el AMEF.

A continuación se procede al llenado de las columnas:

1. DESCRIPCION DE LA PARTE O PROCESO : Especifique el nombre de los ITEMS que están siendo analizados.
2. FUNCION DE LA PARTE O PROCESO : Anotar lo más concretamente posible la función de los ITEMS analizados.
3. MODO DE LA FALLA : Describir brevemente el modo de falla o la forma en que puede fallar el producto o proceso.
4. EFECTO DE LA FALLA : Anotar todos los posibles efectos que origine el modo de falla.
5. CAUSA DE LA FALLA : Anotar la causa o causas que pudieran ocasionar el modo de la falla.
6. ACCIONES CORRECTIVAS ACTUALES : Anotar los controles actuales que estén dirigidos a prevenir o detectar la falla, hacer esto para cada una de las causas de la falla.
7. OCURRENCIA : Determine el grado de ocurrencia de la falla.
8. SEVERIDAD : Determine el grado de severidad de los efectos de la falla.
9. DETECCION : Determine el grado de detección del defecto.
10. NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO : Calcular el NPR multiplicando la ocurrencia, severidad y la detección para todas las causas de falla.
11. ACCIONES CORRECTIVAS RECOMENDADAS : Indicar una breve descripción de las acciones correctivas que se recomiendan para evitar la causa del modo de falla, así la fecha de promesa de implantación de las mismas.
12. RESPONSABLE : Anotar el nombre y departamento del responsable de aplicar la acción correctiva.

Con esto se concluye el llenado de la primera fase del AMEF, en la JUNTA DE REVISION se procede a llenar la sección de EVALUACION DE MEJORAS.

1. ACCIONES CORRECTIVAS ADOPTADAS : Anotar si las acciones correctivas recomendadas se adoptaron o el grado de avance que lleven, especifiquen si se realizo alguna otra.
2. OCURRENCIA : Anotar el nuevo grado de ocurrencias en base a la acción correctiva adoptada.
3. SEVERIDAD : Anotar el número de grado de severidad en base a la acción correctiva adoptada.
4. DETECCION : Anotar el nuevo grado de detección en base a la acción correctiva adoptada.
5. NUMERO DE PRIORIDAD DE RIESGO : Recalcular el NPR en base a los grados de ocurrencia, severidad y detección de las acciones correctivas adoptadas.

5.8 Diagrama de Pareto¹⁰

5.8.1 Introducción

Dentro del amplio rango de técnicas de observación o técnicas de calidad, encontramos una herramienta muy útil que nos auxilia en la elaboración de los AMEF's, esta herramienta es llamada diagrama de Pareto, técnica en la que a partir de la recolección de datos del proceso, se puede hacer un análisis de los diferentes problemas que se tienen y tomar acciones para corregirlos.

5.8.2 Definición y generalidades

El diagrama de Pareto es una gráfica que nos muestra de mayor a menor las causas que originan un problema, basándose en su frecuencia u ocurrencia.

El diagrama de Pareto es el primer paso en el análisis de problemas y es aplicable a todo problema que resulte de la intervención de varias causas.

Un diagrama de Pareto esta construido por un eje horizontal en donde se colocan de mayor a menor las diferente causas o defectos que van a originar que las piezas se consideren defectuosas.

A cada defecto le corresponde un valor de ocurrencia y se representa mediante un rectángulo medido por el eje vertical (figura 5.2.a).

¹⁰ El superíndice hace referencia a la bibliografía consultada de la cual se obtuvo esta información

El diagrama de Pareto responde a la regla del 80/20 formulada por Wilfrido Pareto, que dice:

"El 80% del problema, es creado por el 20% de las causas", por tal motivo indica cual causa del fenómeno debe atacarse primero, en términos de su contribución al problema, para mejorar defectos y mejorar la operación (ver figura 5.2b).

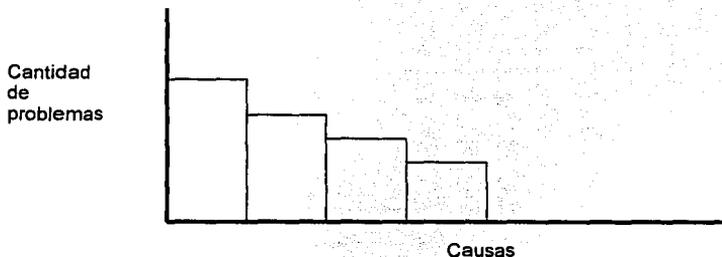


Figura 5.2.a Representación de un diagrama de Pareto

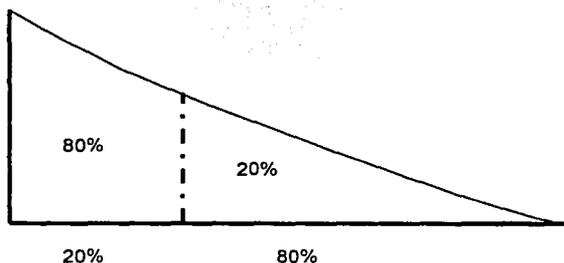


Figura 5.2.b Regla del 80/20 en un diagrama de Pareto

5.8.3 Pasos para la construcción de un diagrama de Pareto

PASO 1 :

Formular una lista de causas posibles del problema. A estas causas las denotamos por $i=1,2,3,4,\dots,m$.

Siendo m el número de causas distintas.

Se llama N al total de piezas inspeccionadas.

PASO 2

Determinar el periodo de la obtención de datos.

PASO 3

Obtener en ese periodo la ocurrencia o el número de casos por defecto (denotado por n_i).

También tenemos que :

$$n_1 + n_2 + n_3 + \dots + n_m = d$$

En donde d es el número de casos defectuosos del total N .

PASO 4

Ordenar de mayor a menor las causas del problema conforme a su ocurrencia.

PASO 5

Calcular para cada uno de los defectos su porcentaje absoluto de artículos defectuosos con respecto al número total N de inspeccionados, mediante la fórmula: $a_i = (n_i/N)100$

Donde a_i = porcentaje absoluto de artículos defectuosos.

PASO 6

Calcular para cada uno de los defectos, el porcentaje relativo de defectuosos r_i , respecto al número d de casos defectuosos, mediante la fórmula :

$$r_i = (n_i/d)100$$

En donde r_i es el porcentaje relativo de defectuosos.

PASO 7

Calcular el porcentaje relativo acumulado R_i de artículos defectuosos para cada defecto, mediante la fórmula :

$$R_i = r_1 + r_2 + r_3 + \dots + r_n$$

En donde R_i es el porcentaje relativo acumulado de defectuosos.

PASO 8

Trazar un eje horizontal y en cada extremo un eje vertical.
Dividir el eje horizontal en segmentos de igual distancia.

El número de segmentos debe ser igual al número de defectos del problema i . Anotar en cada segmento de izquierda a derecha un defecto. El orden de su colocación es de mayor a menor según su valor n_i .

Segmentar el eje vertical izquierdo en una escala tal que:

- a) podamos presentar el número de casos n_i para cada defecto i .
- b) Debe permitir incluir el total de defectuosos d .

En el eje vertical derecho se representa la frecuencia relativa acumulada por R_i por lo que se divide en cuatro partes : 25,50,75 y 100%.

PASO 9

Construir una barra para cada defecto i , la altura depende de su ocurrencia n_i .

PASO 10

Trazar para cada defecto el porcentaje relativo acumulado mediante un punto que deberá colocarse siguiendo la trayectoria del eje derecho de la barra, intersectado por su valor correspondiente, unir estos puntos desde el origen (0,0).

En general, al aplicar un diagrama de Pareto a un problema dado se identifican las causas principales, se les ordena de mayor a menor en base a la regla del 80/20 se pone de manifiesto que solo un pequeño número de causas contribuyen a la mayor parte del efecto y que las restantes tienen mínima participación. Considerando esto se canalizaran en forma efectiva los recursos necesarios hacia las causas primordiales esperando de ello una reducción significativa del problema al hacerlas disminuir o desaparecer.

5.8.4 Usos del diagrama de Pareto

El diagrama de Pareto se usa en primer lugar para efectuar mejoras y se aplica a todas las situaciones que pretenden mejorarse, no necesariamente aquellas en donde se involucre la calidad. Ejemplos : ausentismo de operadores, faltas de interés en el trabajo, faltas de material cuando aun no terminan los programas de trabajo, accidentes frecuentes, etc.

5.8.5 Beneficios del diagrama de Pareto

- Ayuda a identificar las causas de los problemas y a señalar la importancia de cada uno.
- Permite enfocar los esfuerzos y recursos a las causas que más impactan.
- Obtiene la cooperación de las personas involucradas, promoviendo el trabajo en equipo.

CAPITULO VI PROPUESTA DE MEJORA BASADA EN LA NORMATIVIDAD APLICABLE

6.1 Proceso de inyección de componente de calavera.

Hoy en día la industria automotriz exige competitividad, lo cual se logra con un alto grado de eficiencia, por esto actualmente se escuchan términos como JIT (justo a tiempo), Todo esto obliga a trabajar con máquinas altamente eficientes con controles automatizados, materia prima de la más alta calidad, moldes diseñados y manufacturados con el más alto nivel tecnológico, de tal manera que permitan obtener piezas con tolerancias mínimas y ciclos de inyección cortos, sin embargo, pequeñas variaciones en parámetros, herramientas (debido al uso) y/o materiales pueden originar altos índices de rechazo y por lo tanto incumplimiento de entrega.

Para tener un estricto control del proceso es necesario conocer a fondo los elementos que conforman el proceso desde el punto de vista máquina y materia prima; en los siguientes párrafos se da una descripción, del proceso de inyección de la calavera combinada universal hecha o inyectada con Makrolon AL-2405.

El método empleado para la obtención de la carcasa Calavera Combinada Universal en EOSA es el siguiente:

1. La Materia Prima arriba a la empresa en contenedores de 600 Kg. claramente identificados con el código 065 000 03 y con la descripción PC Makrolon 2405 Negro 1510.

2. Una vez que ha sido aprobado por el departamento de inspección y recibo el material es enviado a las áreas de inyección. Es importante no perder de vista que la Materia Prima es higroscópica (absorbe humedad) por lo cual es necesario deshumidificarla a una temperatura de 120°C durante un tiempo de 4 hrs. El método de control para este proceso se lleva a cabo por inspección visual a través de carátulas e indicadores de temperatura del equipo, así como un registro de secado donde se controla la hora de entrada y salida del material.

3. Estando el molde montado y la maquina preparada con los parámetros apropiados para inyectar, el material se coloca en la tolva (previa revisión y eliminación de residuos extraños) se tapa la tolva para evitar que pigmentos de otros materiales se depositen y puedan generar problemas de apariencia en la pieza inyectada.

4. Posteriormente se procede a programar el ajuste en máquina, en la cual ya se encuentran los parámetros de inyección como resultado de pruebas realizadas por el departamento de Ingeniería de Plásticos. Es importante mencionar los parámetros de inyección actuales usados durante el proceso ver tabla 6.1.

PRESIONES		
INYECCION	BAR	125
RECALQUE	BAR	60
CONTRAPRESION	BAR	100
CONTRAPRESION	BAR	10
VELOCIDAD DE CIERRE	KN	650
TIEMPOS DE PROCESO		
INYECCION (RECORRIDO)	SEG	3
RECALQUE (TOTAL)	SEG	7.0
ENFRIAMIENTO	SEG	35.0
PAUSA	SEG	0.1
TOTAL	SEG	60
EFICIENCIA	SEG	11.6
AVANZA UNIDAD DE INYECCION	SEG	FLUJA
RETRAZO DE DOSIFICACION	SEG	0.5
TIEMPO DE RETRAZO DE INYECCION	SEG	-----
TEMPERATURAS		
TEMPERATURA DE ALM.	ESTIMADO () MEDIDO (X)	°C 160
TEMPERATURA MH 1		°C 270
TEMPERATURA MH 2		°C 290
TEMPERATURA MH 3		°C 300
TEMPERATURA		°C 320
TEMPERATURA (BOQUILLA)	DH	°C 320
MOLDE LADO FIJO	(VER PLANO DE TEMPERIZADO)	°C 110
MOLDE LADO MOVIL	(VER PLANO DE TEMPERIZADO)	°C 110
PUNTO DE CAMBIO A RECALQUE	MM	13.0
CONCHON	MM	6.0
RPM HUSILLO	VMIN	120
SEMI. O AUTOMATICO	(1 O 2)	1

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

CONTRA PRESION	BAR	10	0							
PERFIL DE INYECCION										
VELOCIDAD	MM / S					0.0	20.0	20.0	20.0	20.0
CARRERA DE HUSILLO	(MM)	13.0				2.0	50.0	70.0	78.0	87.5
SECCION						(■	■	■	

Tabla 6.1 parámetros de inyección

5. Mientras la máquina no ha alcanzado aun las condiciones de operación estables (temperatura, presión, etc...), ésta se programa en modo manual, es decir, la compuerta de máquina se abre para extraer las piezas del molde; este periodo de tiempo es conocido como ajuste de máquina. Posteriormente, y cuando se

alcanzan las condiciones de operación, se pasa al modo automático, en donde las piezas caen directamente a la banda transportadora

- 6 Para determinar si la pieza posee una apariencia adecuada, se cuenta con una ayuda visual a pie de máquina previamente elaborada por el Departamento de Ingeniería de Plásticos, en la cual se encuentran los posibles defectos en pieza y que fueron establecidos sobre la base de la información que obtiene el Ingeniero en la fase de pruebas, misma que servirá de referencia para que Control de Calidad apruebe o en su defecto rechace el producto. En caso de encontrar algún defecto se procede a revisar parámetros de ajuste o bien condiciones de molde o máquina.
- 7 Una vez aprobadas las piezas (siendo el factor principal la apariencia), se empacan y se envían a la línea de ensamble en donde portafoco y mica son ensamblados.

6.2 El diagrama de Pareto como herramienta para detectar las causas que originan problemas en una autoparte inyectada.

En el capítulo anterior se explicó la importancia del diagrama de Pareto, como herramienta para el análisis de problemas el cual puede ser aplicable a todo problema que resulte de la intervención de varias causas.

6.2.1 Aplicación del diagrama de Pareto a un problema de calidad

Actualmente se tiene conocimiento de un lote rechazado de 248 piezas del componente "Carcaza Calavera Combinada Universal-Camiones". Las causas por las cuales el producto fue rechazado fueron las siguientes:

- Defectos de apariencia
- Problemas de ensamble y hermeticidad.

Para proponer una solución se procede a revisar el lote de producción rechazado al 100% y con los datos obtenidos se construye un diagrama de Pareto.

PASO 1. Formular una lista de causas posibles del problema, en la figura 6.2 se puede observar mediante un dibujo de la parte los principales defectos de la pieza:

- Líneas de flujo en superficies laterales.
- Rebaba en contorno superior
- Deformación y marcas de botadores en zona posterior
- Piezas no rellenadas
- Zonas vibradas.

PASO 2. Después de obtener un historial de los problemas más comunes, se procede a determinar un periodo de observación en proceso de la pieza, para así poder obtener datos típicos por periodos de tiempo, este tiempo se determina en base a lo constante del proceso y al número de piezas a producir durante un turno.

Se propone un tiempo de 8 horas y 3 inspectores a cargo de la revisión al 100%.

PASO 3. Obtener en ese periodo de tiempo el número de casos por defectos (n_i), así como el total de casos defectuosos.

Para este ejercicio los resultados obtenidos se muestran en la tabla 6.1.

DEFECTO	No. CASOS
i	n_i
1. Líneas de flujo	45
2. Rebaba (Flash)	55
3. Deformación y marcas de botadores	71
4. Piezas no rellenas	36
5. Zonas vibradas	41
	248

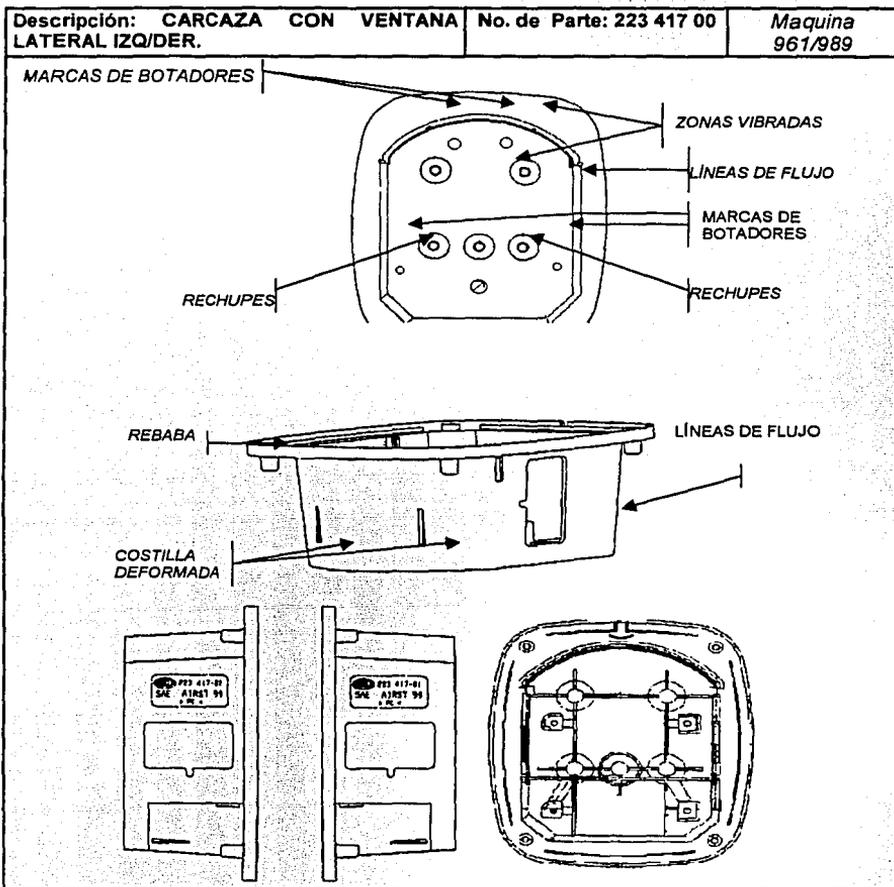
Tabla 6.1 historial de defectos y número de defectos por caso.

PASO 4. Ordenar de mayor a menor las causas del problema conforme a su ocurrencia (ver tabla 6.2).

DEFECTO	No. CASOS
i	n_i
1. Deformación y marcas de botadores	71
2. Rebaba (Flash)	55
3. Líneas de flujo	45
4. Zonas vibradas	41
5. Piezas no rellenas	36
	d=248

tabla 6.2 ordenación de datos

PASO 5. Calcular para cada uno de los defectos, el porcentaje absoluto a_i de artículos defectuosos con respecto al número total N de inspeccionados ver tabla 6.3.



Hella-532-C *Figura 6.2 diagrama típico de fallas de producción comunes*

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

a_i	ni/N	%
a1	718/3000	23.93
a2	553/3000	18.43
a3	456/3000	15.20
a4	416/3000	13.86
a5	363/3000	12.10

tabla 6.3 Porcentaje absoluto de artículos defectuosos con respecto al total de inspeccionados

PASO 6. Calcular para cada paso de los defectos, el porcentaje relativo r_i de defectuosos respecto al número d de casos defectuosos

r_i	ni	d	r_i/d	%
r1	71	248	0.29	28.63
r2	55	248	0.22	22.06
r3	45	248	0.18	18.19
r4	41	248	0.17	16.60
r5	36	248	0.15	14.52

tabla 6.4 Porcentaje relativo de artículos defectuosos con respecto al total de defectuosos

PASO 7. Calcular el porcentaje relativo acumulado R_i de artículos defectuosos para cada defecto.

$$R_i = r_1 + r_2 + \dots + r_n$$

$$R_1 = 28.63\%$$

$$R_2 = 50.71\%$$

$$R_3 = 68.90\%$$

$$R_4 = 85.5\%$$

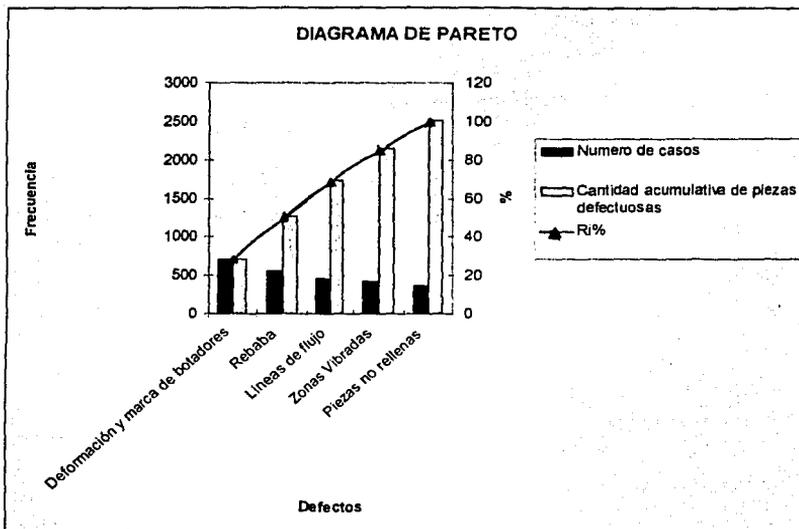
$$R_5 = 100\%$$

PASO 8, 9, 10. Con los datos obtenidos y concentrados en un registro es posible trazar un diagrama de Pareto como el que se muestra en la gráfica 6.1:

Todo lo anterior indica que si se atacan y se eliminan las dos primeras causas del problema "Deformación - marcas de botadores y Rebaba" estamos contribuyendo con un 50.71% en la solución de problemas de rechazos. Pero de acuerdo a la información establecida en el capítulo V es posible eliminar parte de ellas en su totalidad.

DEFECTO	n	a_i %	r_i %	R_i %
Deformación y marcas de botado	71	23.93	28.65	28.65
Rebaba	55	18.43	22.06	50.71
Líneas de Flujo	45	15.2	18.19	68.90
Zonas Vibradas	41	13.86	16.6	85.50
Piezas no rellenadas	36	12.1	14.52	100

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



gráfica 6.1 diagrama de Pareto de defectos típicos

6.3 Aplicación del análisis de modo y efecto de falla como método de solución.

La utilización del diagrama de PARETO en conjunto con herramientas como el AMEF, da la posibilidad de establecer condiciones preventivas dentro de un proceso, a partir de la observación de los problemas de proceso y de calidad más comunes, es por eso que aparte de ser un requerimiento de un sistema de calidad el análisis del modo y efecto de la falla, si es bien aplicado puede dar a la larga beneficios al proceso y a la calidad del producto.

A partir de los defectos observados el diagrama de Pareto, se puede sugerir la aplicación de un AMEF, específicamente en el proceso de inyección.

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

6.4 Propuesta de AMEF para calavera combinada universal inyectada con makrolon AI-2405

El presente AMEF es una propuesta de aplicación en donde al inicio se considera el análisis de los principales problemas y los controles que se tienen actualmente en EOSA tales como ayudas visuales, muestras maters y hoja de ajuste de la máquina.

El llenado del AMEF se ira realizando tal y como se muestra en el capítulo 5

6.4.1 Descripción de la función del proceso

Inyección de una calavera combinada universal de Makrolon AI-2405, en máquina inyectora Demag Ergotech 250.

6.4.2 Descripción del modo de la falla

Para este proceso se consideran directamente como fallas o defectos los siguientes:

- Deformación de la pieza
- Rebaba
- Líneas de flujo
- Zonas vibradas
- Piezas no rellenas

6.4.3 Descripción del efecto de la falla

En este caso se considera como defectos en el proceso, los siguientes:

- Apariencia no aceptable (piezas rechazadas)
- Fallas en el ensamble.

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

6.4.4 Estimación de la frecuencia de la ocurrencia de la falla

Basándose en información establecida en el capítulo VI y las observaciones del diagrama de Pareto se establecieron los siguientes grados de ocurrencia, para cada defecto:

DEFECTO	GRADO DE OCURRENCIA
Deformación de la pieza	8
Rebaba	8
Líneas de flujo	7
Zonas vibradas	6
Piezas no rellenas	5

6.4.5 Estimación de la severidad de la falla

Basados en los criterios mencionados en el capítulo 5 se asignan los criterios de severidad para cada defecto.

DEFECTO	GRADO DE SEVERIDAD
Deformación de la pieza	8
Rebaba	4
Líneas de flujo	6
Zonas vibradas	6
Piezas no rellenas	6

6.4.6 Estimación del grado de detección

Basados en los criterios mencionados en el capítulo 5 se asignan los grados de detección para cada defecto.

DEFECTO	GRADO DE DETECCION
Deformación de la pieza	7
Rebaba	5
Líneas de flujo	4
Zonas vibradas	5
Piezas no rellenas	5

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**

6.4.7 Cálculo del número de prioridad de riesgo (NPR)

Considerando los criterios de severidad, ocurrencia y detección de cada defecto los resultados son los siguientes:

DEFECTO	NPR
Deformación de la pieza	448
Rebaba	160
Líneas de flujo	168
Zonas vibradas	180
Piezas no rellenas	150

De la tabla anterior podemos observar que la atención se debe centrar en atacar los problemas que ocasionan deformación en el producto, ya que la deformación en la pieza tiene el número de prioridad de riesgo más alto.

6.4.8 Acciones correctivas recomendadas

Las acciones correctivas se mencionarán para cada defecto, estas acciones se dan a partir del análisis del problema, del conocimiento de la máquina, del proceso y del material con el que se está trabajando.

Acciones correctivas para la deformación de la pieza.

La deformación de la pieza se da por dos causas principales:

1. La pieza se desmoldea estando aun muy caliente
2. La presión y tiempo de sostenimiento no son los adecuados ya que el material no tiene un curado correcto.

Las acciones correctivas inmediatas para este problema son las siguientes:

1. Revisar el sistema de enfriamiento
2. Ajustar temperaturas de molde fijo y móvil
3. Ajustar presión y tiempo de sostenimiento.

Acciones correctivas para la rebaba de la pieza

La rebaba se provoca por las siguientes causas

1. Fuerza de cierre insuficiente
2. Presión de inyección excesiva
3. Temperatura de masa fundida excesiva
4. Presión y tiempo de sostenimiento elevado

Las acciones inmediatas para corregir las causas anteriores son las siguientes

1. Incrementar fuerza de cierre
2. Probar el molde en máquinas más grandes con mayor fuerza de cierre
3. Disminuir presión de inyección
4. Revisar temperatura de masa fundida y cañón
5. Disminuir presión y tiempo de sostenimiento.

Acciones correctivas para las líneas de flujo de la pieza

Las líneas de flujo son provocadas por las siguientes causas:

1. Material húmedo
2. Material degradado (temperatura de masa fundida muy alta)
3. Aire atrapado en la mezcla
4. Sobrecalentamiento del material debido al exceso de fricción
5. Boquilla restringida
6. Contaminación con otro material
7. Velocidad del husillo elevada
8. Molde frío

Las acciones inmediatas para corregir las causa anteriores son las siguientes:

- Secar el material antes de procesarlo.
- Reducir temperatura de masa fundida y boquilla
- Reducir presión de sostenimiento
- Aumentar contrapresión
- Incrementar presión de sostenimiento
- Velocidad de inyección lenta
- Reducir presión de inyección
- Remover boquilla y realizar limpieza
- Purgar cañón
- Bajar velocidad de husillo
- Revisar fugas de agua y ajustar temperatura en lado fijo y lado móvil del molde

Acciones correctivas para las zonas vibradas en la pieza

Las zonas vibradas son provocadas por las siguientes causas

1. Alta velocidad de inyección
2. Baja temperatura de la boquilla y molde
3. Baja presión de sostenimiento

Las acciones correctivas inmediatas son:

1. Reducir velocidad de inyección
2. Incrementar temperatura de la boquilla
3. Incrementar presión de sostenimiento

Acciones correctivas para las piezas no rellenas

Las causas de las piezas no rellenas son las siguientes

1. Alimentación insuficiente
2. Insuficiente presión de inyección
3. Bajo perfil de temperaturas en el cañón
4. Obstrucción en la garganta de la tolva
5. Insuficiente velocidad de inyección
6. Baja temperatura en el cañón, boquilla o molde
7. Boquilla obstruida

Las acciones correctivas inmediatas son:

1. Incrementar tamaño de disparo
2. Aumentar tiempo de inyección
3. Incrementar presión de inyección
4. Aumentar perfil de temperaturas
5. Disminuir temperatura en la garganta
6. Incrementar presión de inyección
7. Incrementar temperatura en el cañón, boquilla o molde
8. Remover boquilla y limpiar

6.4.9 Acciones tomadas

Las acciones tomadas en el proceso se basan en datos específicos de temperaturas, velocidades, tiempos de inyección, etc. estas acciones se enumeran en el AMEF mostrado en la figura 6.3.

Cabe aclarar que el AMEF es un documento viviente, es decir, los parámetros y acciones que se mencionan tienen que estar en continuo análisis para depurar en forma natural el proceso.

El AMEF propuesto es sustentado en la información contenida en el capítulo V. En éste se proponen rangos de tal manera que éstos puedan ser aplicados en otras situaciones, pues la experiencia ha demostrado que diferentes piezas tienen diferentes comportamientos y por ende la hoja de ajuste varía aunque sean inyectadas con el mismo material.



ELECTRO OPTICA, S.A. De C.V.		Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales de los Procesos			
Item: <u>Carcasa Calevera Corporada Universal</u>		Responsables del Proceso: <u>Dpto. Ingeniería, Dpto. Producción, Dpto. Desarrollo</u>		Pág. No. <u>4</u>	
Fecha Clave: _____		Preparado por: _____		Fecha del AMEF (Inicial): _____ (Rev) <u>0</u>	

Años de Modelo(s)/Vehículo(s)		Membros del Equipo Clave																
Requerimiento	Función del Proceso	Modo de la Falla Potencial	Efecto(s) Potenciales de la Falla	S E V	C L A S	Causa(s) Potenciales / Mecanismos de la Falla	O C U	Controles de Proceso Actuales	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Responsables y Fachas Objetivo de Cumplimiento	Resultados de las Acciones					
													Acciones Tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R	
Inspección de y en la carcasa con sensor ultrasonido		Definición de la pieza a fabricar	Apariencia No Espectante Fallos en el Encastre	6	1	1 Poca precisión al momento de sujeción	6	Ayudas Visuales Alambres Metálicos en Línea	7	400	Poner Sistema de Referencia Ajustar Temperaturas de Inyección en los Fy y Mold	Dpto. Producción Dpto. Ingeniería	2 Horas de ensamblado Dato en un punto más largo 7 segundos que el tiempo de planeación, asegurándose que la pieza no se deforme después del momento. Se asegura una temperatura en la Carcasa de 80 (80 °C) y una temperatura en el Conector de 80 (80°C) Prueba de ensamblado de 50 80% de la presión de Proceso Tiempo de ensamblado: la solución para evitar deformas a una distancia de 40 (50mm) de la zona de ensamblado entre 3 y 6					
		Plata y nitado	Apariencia no aceptable Fallos en el ensamblado	4	1	1 Fuerza de Corte Insuficiente 2 Alta Presión de inyección 3 Material Limpio 4 Temperatura de inyección Fundida Alta 5 Presión y tiempo de ensamblado lento acelerado	6	Ayudas Visuales Alambres Metálicos en Línea	5	100	Incrementar Fuerza de Corte Probar el modo en inyección más grande de fuerza de corte Chequear Presión de inyección Poner Condiciones de secado de Material Reducir temperatura de inyección Fundida y tiempo Chequear presión y tiempo de ensamblado	Dpto. Producción Dpto. Ingeniería	La fuerza de corte se ajusta al número cuando la inyección con nitado 7 se calcula de la siguiente manera la superficie proyectada en la dirección de inyección multiplicada por la cantidad de cavidades La nitación se debe hacer en condiciones de nitado controladas de 40 (50mm) con fuerza de inyección de entre 1 a 5 segundos Secado de Material Tiempo a 120 °C a 40 segundos Reducir temperatura de inyección Fundida y tiempo (200 (200°C)) Prueba de ensamblado de 50 80% de la Presión de Proceso Tiempo de ensamblado: la					

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

100



ELECTRO OPTICA, S.A. De C.V.		Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales de los Procesos																		
Item: <u>Cerraje Calzona Combinada Universal</u> Responsables del Proceso: <u>Dato_Incubatoria, Dato_Producción, Dato_Diseño</u> Fecha Clave: _____		No de AMEF: _____ de _____ Preparado por: _____ Fecha del AMEF: (Inicial) _____ (Rev.) 0																		
Años de Modelo(s)/Vehículo(s)																				
Miembros del Equipo Clave																				
Función del Proceso	Modo de la Falta Potencial	Efecto(s) Potenciales de la Falta	S E V	C L A S	Causa(s) Potenciales / Mecanismos de la Falta	O C U	Controles de Proceso Actuales	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Responsables y Fechas Objetivo de Cumplimiento	Resultados de las Acciones								
												Acciones Tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R				
Requerimiento																				
Aplicación de un tipo cerrado con un nuevo material																				
	Lineas de Ráp	Apariencia irregular	6	1	1 Material Humido 2 Material Degradado (Temperatura de masa fundida muy alta) 3 Aire atrapado en Material 4 Subcontratistas de Material debido a errores de Proceso 5 Escudo Rotatorio	7	Ajuste Visión Al centro Muestra en Proa	4	100	Saca el Material Antes de procesarlo Reduce temperatura de masa fundida y tiempo Reducir Presión de Soplamiento Aumentar centrifugación Incrementar presión de Soplamiento Velocidad de Inyección lenta Reducir presión de Inyección Reducir Inyección y reducir Inyección máxima	Date Producción Date Inyección Date Mantenimiento	Saca el Material Proa a 120°C a 4hrs Reducir temperatura de masa fundida y tiempo (260 290°C) Presión de Soplamiento de 50 a 60 % de la presión Subpresión Centrifugar Soplamiento de Borden De 6-15 hrs de centrifugación Presión de Soplamiento 50 a 60 % de la presión de Inyección Velocidad de inyección lenta 20 mm en un intervalo del tiempo de 17 a 20 mm Velocidad lenta 11 mm en un intervalo del tiempo de 20-30 mm Velocidad rápida 65 mm en un intervalo de tiempo de 30-40 mm La muestra para hacer en cantidades del tiempo de 30 a 60 hrs con un tiempo de inyección de 1.5 segundos según el tamaño de la pieza Se reduce Inyección de 200g/l y se verifica que tenga un intervalo de 3 hrs								

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

101

ELECTRO OPTICA, S.A. De C.V.		Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales de los Procesos																		
Item: Carcaza Calavera Combinada Universal		Responsables del Proceso: Dato: Ingeniería Dato: Producción Dato: Desarrollo					Pag. No. <u>3</u> de <u>4</u>		No de AMEF											
Fecha Clave							Preparado por:													
							Fecha del AMEF: (Inicia)		(Rev) <u>0</u>											
Años de Modelo(s)/Vehículo(s)																				
Miembros del Equipo Clave																				
Función del Proceso	Modo de la Falla Potencial	Efecto(s) Potenciales de la Falla	S E V	C L A S	Causa(s) Potencial(es) / Mecanismos de la Falla	O C U	Controles de Proceso Actuales	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Responsables y Fechas Objetivo de Cumplimiento	Resultados de las Acciones								
												Acciones Tomadas	S E V	O C U	D E T	N P R				
Requerimientos																				
Impresión de partes que trabajan con lubricación especial					1 Contaminación con arena ambiental 1 Velocidad de huella elevada					Purgar cañón Reaj. Velocidad de huella Revisar que el medio no tenga fugas de agua y cambiar T de modo en cada 1hr y Lubri-Moist		Se purga el cañón La velocidad del huella que se requiere para procesos de fluoropolímeros de 80-100 RPM Se revisa que el medio no tenga fugas de agua y cambiar T de modo en cada 1hr y Lubri-Moist								
	2 arena elevada	Apariencia No Aceptable	4	4	1 Alta Velocidad de Huella 2 Baja Temperatura de la huella y medio 3 Baja Presión de funcionamiento	4	Ajustar Velocidad Mostrar su Nivel en Línea	3	18	Reducir Velocidad de Huella Incrementar temperatura de la huella Incrementar Presión de funcionamiento	Dpto Producción Dpto Ingeniería	Velocidad de Huella de 20 revoluciones en un momento de huella de 21.5 RPM Velocidad lenta 11 revoluciones en un momento de huella de 80 RPM Velocidad rápida 15 revoluciones en un momento de huella Incrementar temperatura en paradas de 80-100°C en zona de huella 280-295°C Presión de funcionamiento de 50-60% de la presión de operación								
	Pezos no fabricados	Apariencia No Aceptable Fallas en el Ensamble	4	4	1 Alteraciones mecánicas 2 Baja fuerza presión de Huella	3	Ajustar Velocidad Mostrar su Nivel en Línea	3	150	Incrementar Temperatura de Huella Aumentar tiempo de Huella Incrementar Presión de Huella	Dpto Producción Dpto Ingeniería Dpto Mantenimiento	Aumentar el tiempo de operación Tiempo de operación normalizado de 1.5seg La Necesaria para llevar un control de calidad normalizado de 50-60hrs con un tiempo de operación de 20 a 25 segundos de 60 RPM								

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

102



ELECTRO OPTICA, S.A. De C.V.		Análisis de Modos y Efectos de Fallas Potenciales de los Procesos																	
Item: <u>Carcasa Celerosa Combinada Universal</u>		Responsables del Proceso: <u>Dpto. Ingeniería, Dpto. Producción, Dpto. Desarrollo</u>					Pag. No. <u>4</u>		No de AMEF <u>de 4</u>										
Fecha Clave							Preparado por:												
							Fecha del AMEF: (Inicia)		(Rev) <u>0</u>										
Módos de Modelos (Visualizaciós)																			
Membros del Equipo Clave																			
Función del Proceso	Modo de la Falla Potencial	Efecto(s) Potenciales de la Falla	S E V	C L A S	Causa(s) Potencial(es) / Mecanismos de la Falla	O C U	Controles de Proceso Actuales	D E T	N P R	Acciones Recomendadas	Responsables y Fechas Objetivo de Cumplimiento	Resultados de las Acciones							
												Acciones Tomadas					S E V	O C U	D E T
Requerimiento																			
Proceso de corte la carcasa con vertice plano					3. Resquebraje de bordes de calentamiento 4. Anomalías 5. Puntos de temperatura en el corte de la pieza		Ajustes Visuales Muestra Maestra en Línea			Prever los bordes de calentamiento Ajustar punto de temperatura Controlar temperatura en la pieza Incrementar Velocidad de Inyección		Se revisan los bordes de calentamiento Incrementar Inyección en porcentaje de 90-100°C y en zonas 1,2,3,4 cambio a figura 105770208/290 Temperatura en la pieza de la línea de 110-115°C Velocidad de Inyección desde 20 mm/s en un porcentaje del hueco de 95-98 mm Velocidad hasta 11 mm/s en un porcentaje del hueco de 95-100 mm de 60-100 mm Incrementar temperatura en porcentaje de 90-100°C y en zonas 1,2,3,4 cambio a figura 105770208/290 Temperatura en LP y LM del molde de 90-100°C Se limpia boquilla y se verifica distancia de la pieza							
					5. Distorsión en la pieza de la pieza					Controlar temperatura en la pieza									
					6. Mala Acabado Visualidad de la pieza					Incrementar Velocidad de Inyección									
					7. Baja Temperatura en el Corte, boquilla a mala					Incrementar temperatura									
					8. Bucle de Corte					Revisar Regulador Límite									

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

6.5 Análisis de resultados después de las acciones correctivas tomadas

Recordemos los datos iniciales con los que trabajamos para la implementación del AMEF, en donde se analizó un rechazo de 248 piezas con los defectos característicos siguientes:

- Líneas de flujo en superficies laterales.
- Rebaba en contorno superior
- Deformación y marcas de botadores en zona posterior
- Piezas no rellenas
- Zonas vibradas.

Estos defectos estaban afectando la calidad y utilidad del producto a grado tal que si el proceso seguía trabajándose fuera de control obtendríamos una pérdida económica considerable, que a continuación se menciona.

Partiendo del lote rechazado de 300 piezas de la calavera carcaza con ventana lateral izquierda y considerando que este rechazo se dio en un turno de 8 horas, de los datos proporcionados por el departamento de presupuestos conocemos que el costo unitario de este número de parte es de \$35.

Considerando que el proceso es ininterrumpido debido a la demanda de producción de este producto y que por tal motivo se trabaja en los tres turnos, durante toda la semana, podemos obtener el costo del rechazo mensual de este producto:

Así tenemos que:

$$\text{COSTO ECONOMICO MENSUAL} = C,U \times P.R \times 3 \times 6 \times 22$$

De donde:

C.U = costo unitario de la pieza

P.R = partes rechazadas

3 = 3 turnos

6 = 6 días de la semana

22 = días efectivos durante un mes

SUSTITUYENDO

$$\text{COSTO ECONOMICO MENSUAL} = 35 \times 248 \times 3 \times 6 \times 22$$

$$\text{COSTO ECONOMICO MENSUAL} = \$3,437,280$$

Considerando que el promedio de producción de piezas totales por turno es en promedio de 3000 entonces tenemos que el porcentaje de rechazo antes de LA IMPLEMENTACIÓN DEL AMEF era de:

$$\text{PORCENTAJE DE RECHAZO} = (\text{PIEZAS RECHAZADAS} / \text{PRODUCCIÓN PROMEDIO POR TURNO}) \times 100$$

Entonces :

$$\text{PORCENTAJE DE RECHAZO} = (248 / 3000) \times 100 = 8.27$$

Tenemos entonces que nuestro porcentaje de rechazo por turno antes de la propuesta era de 8.27%.

Después de un periodo de capacitación en la utilización del AMEF entre el personal operativo de la línea de producción de la calavera combinada universal, se procedió a realizar un análisis de rechazo de producto de donde se obtuvo la siguiente información:

	<i>l</i>	<i>nl</i>
1. Líneas de flujo		22
2. Rebaba (Flash)		12
3. Deformación y marcas de botadores		8
4. Piezas no rellenadas		14
5. Zonas vibradas		18

74

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

Obtuvimos un rechazo promedio de 74 piezas por turno que económicamente representa:

$$\text{COSTO ECONOMICO MENSUAL DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN} = C,U \times P.R \times 3 \times 6 \times 22$$

$$\text{COSTO ECONOMICO MENSUAL DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN} = 35 \times 74 \times 3 \times 6 \times 22$$

$$\text{COSTO ECONOMICO MENSUAL DESPUES DE LA IMPLEMENTACIÓN} = \$1,025,640$$

El porcentaje de piezas rechazadas es de :

$$\text{PORCENTAJE DE RECHAZO} = (74 / 3000) \times 100 = 24.67$$

$$\text{PORCENTAJE DE RECHAZO} = \%2.47$$

Así podemos decir que se logro la disminución de piezas rechazadas del %8.27 al %2.47.

CONCLUSIONES

Una vez conocido el comportamiento del policarbonato y de los principales parámetros de una inyectora, pudimos relacionar estos conocimientos con herramientas de calidad vinculadas con la norma internacional QS-9000 para la mejora del proceso.

Los análisis y propuestas mencionados en el Análisis del Modo y efecto de la Falla mostrados en este trabajo, se dan a partir de la correcta relación teórica-práctica en el proceso, es así como un AMEF puede ayudar como una herramienta predictiva dentro del proceso para establecer una mejora continua y de paso redituar en una retroalimentación de información continua; ya que si a partir de esta propuesta de mejora existe un seguimiento de las situaciones aquí mencionadas los problemas de calidad que actualmente tiene el proceso tenderán a disminuir considerablemente.

Cabe aclarar que las situaciones aquí mencionadas son cotidianas y poco previsibles, de ahí que su detección no sea tan fácil, debido a que los problemas son considerados causas naturales dentro del proceso.

La metodología empleada para este proceso, puede ser la base para posteriores aplicaciones en números de parte con problemas de calidad de inyección similares y, claro partiendo de la base de que cada proceso de inyección es diferente, los resultados obtenidos para esta aplicación fueron los esperados y lo podemos sustentar de la siguiente manera :

Desde el punto de vista económico , a todas luces se puede observar una disminución en los costos por producto rechazado de \$3,437,280. a \$1,025,640 mensuales, es decir un ahorro de \$2,411,640 que vistos desde el punto de vista empresarial pueden dar la iniciativa para una propuesta mas de fondo en el proceso ó incluso para ofrecer un mejor precio de venta al cliente.

Otro punto importante a considerar es, la disminución de piezas rechazadas por turno productivo, este parámetro en primera instancia nos sirve para evitar retrabajos y para garantizar la calidad de nuestro producto a largo plazo.

El inicio hacia la mejora de los procesos esta dado y fue a partir de una aplicación de una de las tantas herramientas de la calidad, combinada con conocimientos de ingeniería y del proceso en si. El siguiente paso será iniciar un análisis más de fondo en lo que respecta a parámetros de máquina inyectora y como poder controlarlos más directamente, es decir, buscar la manera de que los rechazos disminuyan de 2.47% o sean menores.

BIBLIOGRAFIA

- Ferdinand Rodríguez (1)
 Principles of Polymer Systems.
 Second Edition. Mc. Graw Hill 1985.
- Perry H. Robert y Chilton H. Cecil. (2)
 Manual del Ingeniero Químico
 5ª Ed. Mc. Graw Hill
 Mexico. D.F., 1982
- Donald H. Andrews (3)
 Química Fundamental
 Segunda Edición. Editorial Limusa 1978
- Gianni Bodini y Franco Cocchi Pessani (4)
 *Moldes y maquinas de inyección para
 la transformación de plasticos*
 Ed. Mc. Graw Hill. Segunda Edición 1992.
- Richard A. Flinn y Paul K. Trojan (5)
 *Materiales de Ingeniería y sus
 Aplicaciones*
 Tercera Edición. Ed. Mc. Graw Hill 1992.
- International Organization for Standardization (7)
 Chrysler Corporation, Ford Motor Company
 General Motors Corporation.
 Quality System Requirements QS-9000
 Third Edition, March, 1998.
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, (8)
 General Motors Corporation.
 Advanced Product Quality Planning
 (APQP) and Control Plan
 Reference Manual.
 Second Printing February 1995.
- Chrysler Corporation, Ford Motor Company, (9)
 General Motors Corporation
 Production Part Approval Process (PPAP).
 Second Printing July 1995.
- Instalaciones en Productividad, S.C.(10)
 Taller "Interpretación de la Norma ISO 9000
 y Elaboración de Procedimientos"
- Instituto de Formación y Capacitación(11)
 en Plásticos A.C.
 Memorias del Curso Teórico Practico
 Inyección de Plásticos
 Primera Edición 1999.
- Engineering Plastics United Nations.(12)
 Economic Commission for Europe
 New York 1991.
- Dr.Ing G. Mengues / G. Mohren(13)
 Moldes para Inyección de Plásticos
 Editorial Gustavo Gili, S.A
 Barcelona 1975.
- Laszlo Sors/ Láslo Bardeez(14)
 Plastics Molds and Dies
 Editorial VAN NOSTRAND REINHOLD
 COMPANY
 Budapest, Hungary 1981.
- Centro Empresarial del Plástico S.A de C.V (15)
 Enciclopedia del Plástico. Tomo I.
 México. Segunda Edición 1999/2000
- Walter Mink Spe.(16)
 Inyección de Plásticos
 Editorial Gustavo Gili, S.A
 Barcelona 1977.
- Grupo IMECPLAST (17)
 Plásticos, Moldes y Maquinas Inyectoras.
 Primera Edición 1993.
- BAYER.(18)
 *Valores Orientativos del Makrolon.
 Propiedades Mecánicas, Térmicas,
 Eléctricas y Diversas.*
 Edición 1995.
- MOBAY MILES. Plastics and Rubber División(19)
 Automotive -Lens- Grade / Policarnote Resins
 Copyright © 1992. Miles Inc. Litho by Miles
 Printing. Department/ Pittsburg Printed in the USA
- Donald Q. Kern
 Procesos de transferencia de calor
 Editorial CECSA 1984 (20)
- MILES. Polymers División Plastics(21)
 *Product Information / Makrolon Polycarbonate
 Resins*
 Pittsburg, PA.
- BAYER AG. Division Plásticos (22)
 *Termoplasticos Técnicos de Bayer. Surtido
 de tipos y sus características, posibilidades
 de transformación y de mecanizado*
 D-51368 Leverkusen Alemania.
 No. De referencia KU 46286 esp. Edición 7.95
- MILES (23)
 *Makrolon Polycarbonate. General Reference
 Manual*
 Copyright © 1987. Rev. 1990, 1993.
 Miles Inc. Printed in USA.
- Robert L.Mott (24)
 Mecánica de fluidos aplicada
 Cuarta edición. Mc.Graw Hill. 1996.
- Leyva consultores (25)
 Curso de AMEF-EOSA
- www.plastics.org. (26)
 www.matweb.com. (27)