



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

CAMPUS ARAGON

ESTUDIO TÉCNICO SOBRE EL DISEÑO DE DADOS DE SOPLADO DE BOLSA Y TUBO MEDICO, APLICADO A LOS PROCESOS DE EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS

TESIS
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA
ÁREA MECÁNICA

PRESENTAN:

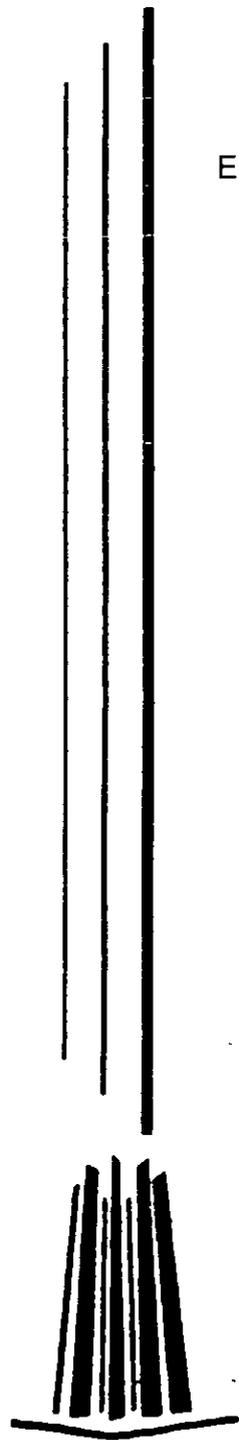
FLORES MEJÍA JOSÉ ALFREDO
MUCIENTES AVELLANEDA EDUARDO ALEJANDRO

ASESOR:
DR. DANIEL ALDAMA ÁVALOS

MÉXICO

NOVIEMBRE 2001.

300181





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.



Agradecimientos:

*Con todo cariño y amor para los dos seres mas importantes en mi vida,
por su apoyo incondicional en todo momento.*

***Emilia Avellaneda López,
Erasmus Mucientes García.***

Gracias Mama: Por tu dedicación.

Con tu amor y sacrificio haz logrado hacer de mí lo que soy.

A mis Hermanos:

Marco Antonio y Víctor Manuel.

Por contar con su amistad y cariño.

*Recuerden que mi mas grande orgullo
es su éxito sin limite.*



AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer profundamente a mi madre Teresa Mejia Gonzáles, por darme la oportunidad de concluir con una de mis metas, ya que gracias a sus sacrificios logro darme una buena educación personal como profesional.

Gracias Madre.

Como a mis abuelos Maria Luisa y Juan, para los cuales no hay palabras que expresen lo que significan en mi formación.

Estoy principalmente agradecido a mis tíos Manuel Gonzáles, Elena Mejia, por haberme impulsado a continuar con esta travesía, quienes me han apoyado en los momentos mas difíciles, y que con su ayuda y ejemplo de superación concluyo uno de mis objetivos gracias por todo.

A mi hermano Carlos Flores, como a mis primas Norma, Yazmín y Lupe por el cariño, comprensión, que han tenido para conmigo durante mi carrera.

Mi gratitud a la Familia Mejia, sin olvido alguno por ser parte de este camino que ahora me toca seguir, ya que con su ayuda espero ser una mejor persona en lo humano como en lo profesional.

Expreso particularmente a Eduardo Mucientes Avellaneda su amistad personal, quien compartió este viaje grato y estimulante durante el cual desarrollamos juntos este trabajo. Por su significativa contribución en la revisión, corrección y recomendaciones a quien Eduardo conoce bien.

Además a mis amigos que han estado conmigo que con sus locuras atenciones y consejos hemos logrado superarnos en todos aspectos.



Para usted:

Alfredo Flores Guzmán



Para mi amiga: Nora Fernández Cabrera.

De quien siempre he recibido cariño.

*Gracias por tus enseñanzas y tu amistad que ha sido lo mejor
que tengo desde que te conozco y de quien siempre
he recibido lo mejor.*



Con todo Mi amor para la parte mas importante de mi vida:

Beatriz Pérez Ortiz.

*Gracias por tu ayuda incondicional y tu paciencia al tenerme
junto a ti en esos momentos dificiles de mi vida.*

*Tu amor es parte fundamental para seguir luchando y
para llegar a ser un triunfador, junto a ti.*

Gracias.



Agradecemos a:

Dr. Daniel Aldama Avalos.

*Profesor de la Escuela Nacional de Estudios Profesionales
Plantel Aragón*

Por su colaboración y apoyo como asesor de esta tesis.

Así como a todas aquellas personas que indirecta e indirectamente han colaborado en el desarrollo y conclusión de este trabajo

A nuestra querida escuela.

*Por brindarnos la oportunidad de tener una formación
Académica.*



ÍNDICE

Pág.

INTRODUCCIÓN. 1

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

1.1 Historia de los Plásticos..... 1
1.2 Clasificación de los plásticos..... 2
1.2.1 Clasificación por su origen..... 2
1.2.2 Clasificación por su estructura física..... 2
1.2.3 Clasificación por reacciones de formación..... 4
1.2.4 Clasificación por el arreglo de las cadenas..... 6
1.2.5 Clasificación según sus propiedades físicas..... 7
1.2.6 Clasificación por su utilización..... 9
1.3 Selección de materiales para productos médicos..... 10
1.3.1 Policloruro de vinilo (PVC)..... 11
1.3.2 Polietileno (PE)..... 14
1.3.3 Poliamidas..... 16
1.3.4 Material para la aplicación de bolsas y tubos médicos..... 18

CAPÍTULO II

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

2.1 Industria de la transformación..... 20
2.2 La industria del plástico en México..... 21
2.3 Principales procesos en la industria del plástico..... 25
2.3.1 Inyección..... 25
2.3.2 Moldeo por compresión..... 27
2.3.3 Moldeo por transferencia..... 28
2.3.4 Moldeo por soplado..... 28
2.3.4.1 Extrusión-Soplado..... 29
2.3.4.2 Inyección-Soplado..... 30
2.3.5 Moldeo rotacional o rotomoldeo..... 31
2.3.6 Termoformado..... 32
2.3.7 Extrusión..... 35
2.3.7.1 Extrusión con gusano..... 35
2.3.8 Método típico de extrusión..... 37
2.3.8.1 Equipo convencional..... 38
2.3.8.2 Equipos múltiples..... 40
2.4 Proceso de transformación aplicado a la fabricación de bolsa y tubo médico..... 41

CAPÍTULO III

EQUIPO DE EXTRUSIÓN Y ACCESORIOS.

3.1 Descripción del equipo..... 43
3.2 Husillo o Tornillo..... 44



3.2.1	Proceso de transporte del material en el tornillo.....	46
3.2.2	Reología del material.....	53
3.2.3	Hoja de inspección para un husillo.....	54
3.2.3.1	Cálculos para el análisis de un husillo.....	57
3.3	Cilindro.....	58
3.3.1	Hoja de inspección para el cilindro.....	58
3.4	Tolva.....	62
3.5	Equipos de calentamiento.....	63
3.6	Equipo de refrigeración.....	64
3.6.1	Enfriamiento del gusano (husillo).....	64
3.6.2	Enfriamiento del cilindro.....	64
3.6.3	Enfriamiento de la caja de transmisión.....	64
3.7	Transmisión de la máquina extrusora.....	65
3.8	Controladores eléctricos.....	65
3.9	Sistemas auxiliares o periféricos del proceso de extrusión.....	66
3.9.1	Obtención de manguera plástica.....	67
3.9.2	Torres de película.....	68

CAPÍTULO IV

DADOS PARA EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.

4.1	Disposición del dado en la máquina extrusora.....	71
4.1.1	Dados de paso directo.....	71
4.1.2	Dados de cabezal cruzado.....	71
4.1.3	Dados de Cabezal descentrados.....	71
4.2	Partes de un dado.....	72
4.3	Funciones del dado.....	73
4.4	Tipos de dados.....	74
4.4.1	Dados para perfiles sólidos.....	74
4.4.2	Dados para perfiles huecos (tubos).....	75
4.4.3	Dados para recubrimiento.....	76
4.4.4	Dados para Lámina y Película.....	--
4.4.4.1	Dados para Película Soplada.....	--
4.4.4.2	Dados para lámina.....	79
4.4.5	Dados para filamentos.....	81
4.5	Dado para Tubo y Bolsa para equipo médico.....	82

CAPÍTULO V

PRINCIPIOS PARA EL DISEÑO DE DADO PARA TUBO Y BOLSA.

5.1	Diseño básico de un dado para varilla.....	84
5.2	Principios básicos para el diseño de dados.....	85
5.2.1	El hinchamiento del extruido.....	85
5.2.2	Inestabilidades de flujo.....	86
5.2.3	Principio de flujo en la extrusora.....	87
5.2.4	Principios de flujo en el dado de extrusión.....	88
5.2.5	Análisis de flujo en el dado.....	89
5.2.6	Flujo volumétrico en la extrusora.....	91
5.2.7	Flujo volumétrico en el dado de extrusión.....	95
5.2.8	Consideraciones en el dado.....	97
5.3	Cálculos para el diseño del dado para tubo.....	99



5.4. Cálculos para el diseño de dado para película soplada.....	103
5.4.1 Relación de soplado.....	105
5.4.2 Relación de estirado.....	106

CAPÍTULO VI

PLANOS DE DISEÑO.

6.1 Sistemas de ajuste y tolerancias.....	111
6.2 Introducción de los sistemas CAD, CAM, CAE.....	112
6.3 Consideraciones económicas para el diseño.....	114
6.3.1 Análisis de factibilidad técnico económica.....	115
6.3.2 Análisis de costos.....	115
6.3.3 Costos de material.....	115
6.3.4 Costo del herramental.....	115
6.3.5 Costos de Maquinaria.....	116
6.3.6 Costos fijos.....	116
6.3.6 Costos variables.....	116
6.4 Planos del dado para tubo médico.....	117
6.5 Planos del dado para bolsa plástica.....	118

CAPÍTULO VII

PRUEBAS DE PROCESO.

7.1 Requerimientos de calidad.....	119
7.1.1 Propiedades ópticas.....	119
7.1.2 Características dimensionales.....	120
7.1.3 Propiedades mecánicas.....	122
7.2 Corrección de defectos.....	124
7.2.1 Defectos en la apariencia.....	125
7.2.2 Defectos dimensionales.....	127
7.2.3 Defectos en las propiedades mecánicas.....	127
7.3 Recomendaciones para el proceso de extrusión.....	128

CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES.....	130
-------------------	-----

ANEXOS.

DENOMINACIÓN DE PLÁSTICOS.....	A
COMPORTAMIENTO DE LOS PLÁSTICOS FRENTE AL CALOR.....	B
BIBLIOGRAFÍA.....	C



INTRODUCCIÓN.

En la actualidad, los dispositivos médicos de plástico son cruciales para cumplir con las más estrictas normas para el cuidado de la salud, éstos han reducido dramáticamente la tasa de infección y la propagación de enfermedades, evitando o minimizando riesgos tanto a pacientes como al personal involucrado. Los miles de dispositivos existentes son el producto de los adelantos técnicos y científicos. Así, por más de 40 años, los productos médicos de plástico que van desde las jeringas hasta las bolsas de sangre, pasando por las válvulas de corazón, han ayudado a salvar millones de vidas y han hecho posibles muchas de las prácticas médicas actuales.

La introducción de resinas plásticas en la industria médica, surgió con la necesidad de desarrollar productos que respondieran a un conjunto de requisitos de actuación muy específicos. Uno de los plásticos usado comúnmente en aplicaciones médicas es el Cloruro de Polivinilo (PVC). La industria del vinilo se desarrolló cuando la Segunda Guerra Mundial provocó escasez de caucho natural, sus primeras aplicaciones proporcionaron productos críticos de reemplazo a las fuerzas armadas. De hecho, uno de los usos más importantes en las naves del ejército era el aislamiento de vinilo en alambres, reemplazando así al aislamiento tradicional de caucho. Más tarde, este plástico evolucionó durante el medio siglo restante para convertirse en uno de los materiales más utilizados en la industria médica.

En el caso particular de los contenedores plásticos flexibles para uso médico, se desarrollaron productos fabricados con PVC plastificado como reemplazos para caucho natural y vidrio. El PVC flexible es el material de mayor preferencia para estos productos, ya que ningún otro material conserva sus cualidades en condiciones extremas sin pérdida de flexibilidad o resistencia, además de ser más fácil de esterilizar, más transparente, flexible, físicamente fiable, químicamente estable y sobretodo rentable. Entre los productos hechos de este material se encuentran principalmente las bolsas de sangre, bolsas para soluciones intravenosas (líquidos, electrolitos y medicamentos) y bolsas para orina.

Desde un punto de vista práctico, las bolsas de PVC son más convenientes que las botellas de vidrio, ya que éstas son más fáciles de manejar y almacenar, además son más seguras (no pueden romperse y causar lesiones), lo cual le agrega un particular grado de importancia en aplicaciones de emergencia fuera del hospital, por ejemplo en atención de accidentes. Debido a que el PVC flexible es químicamente inerte y no reacciona de forma alguna, este material es utilizado para los contenedores que son necesarios llevar junto al cuerpo, como bolsas de orina. Éstas, además de proporcionar beneficios de confort y seguridad al usuario, son silenciosas y previenen fuga de olores.

Los catéteres y tubos de PVC plastificado presentan gran flexibilidad y resistencia, además su superficie interna totalmente lisa previene la formación de grumos y asegura el flujo continuo de substancia, su transparencia evita errores con los medicamentos y permite observar el flujo.



Definición del Problema.

Un dispositivo médico para administración de sustancias vía intravenosa, se compone por un contenedor (botella de vidrio o bolsa plástica), un sistema de venoclisis (tubo, punzón, cámara de goteo, pinza de calibración de goteo y bulbo de inyección) y una aguja. Este tipo de dispositivo es utilizado en hospitales, clínicas, unidades móviles y en cualquier otro lugar en el que sea necesaria una atención médica.

El desarrollo de productos médicos con materiales diferentes a los tradicionales, depende en gran medida de la capacidad de actuación y seguridad que el material es capaz de proporcionar y de los costos de fabricación de la nueva alternativa. Debido al carácter de la aplicación del producto final, tanto la introducción, como evaluación y aceptación de nuevos materiales involucra el cumplimiento de la regulación sanitaria correspondiente.

Las resinas plásticas cumplen y superan las ventajas que ofrece el vidrio, por lo que los dispositivos médicos de plástico son más prácticos, es decir, son de fácil manejo y de fácil traslado; garantizan la seguridad del producto durante su vida útil y no presentan problemas de riesgo para el personal.

En el sector salud del país, aún se emplean componentes de vidrio en dispositivos para administración de sustancias vía intravenosa, por lo que es necesario adoptar una alternativa de reemplazo a estos elementos tradicionales, con la generación de nuevos materiales que son el principio de cambio y la solución a las limitaciones inherentes. De aquí el cambio de una manguera látex a un tubo de PVC y el cambio de un depósito de vidrio por una bolsa de plástico flexible, que sumados dan como resultado un equipo médico totalmente plástico.

Este trabajo pretende desarrollar el diseño de dados de extrusión de plástico para la obtención de película flexible y tubo flexible, que son la materia prima para fabricar un dispositivo médico para administración de sustancias vía intravenosa.

Objetivos:

- 1. Seleccionar el proceso de transformación correspondiente para la obtención de tubo plástico y película plástica flexible, de uso médico, que proporcionen como mínimo una producción de 100 kg/hr de producto terminado.*
- 2. Desarrollar un análisis simplificado del proceso seleccionado para determinar los elementos principales con los que cuenta dicho equipo de transformación, así como facilitar su selección, reparación, manejo y/o diseño de tales elementos.*
- 3. Diseñar un dado para producir tubo plástico de uso médico de acuerdo a las especificaciones requeridas.*



4. *Diseñar un dado para producir película plástica flexible de uso médico de acuerdo a las especificaciones requeridas.*
5. *Elaborar un apoyo técnico sobre los principales problemas y posibles métodos de solución que se presentan en la producción de tubo y película plástica flexible de uso médico.*

El contenido del "Estudio Técnico sobre el Diseño de Dados de Soplado de Bolsa y Tubo Médico, Aplicado a los Procesos de Extrusión de Plásticos", es el siguiente:

En el capítulo I se describen las principales clasificaciones de los plásticos. Además se presenta una breve introducción a las resinas utilizadas en el sector médico y las razones de por qué utilizar PVC en el caso particular del tubo y película de plástico grado médico.

En el capítulo II se describen los principales sectores de la industria del plástico en México, así como los procesos de transformación que se utilizan para la obtención de productos plásticos.

En el capítulo III se describe la técnica de extrusión, así como los principales componentes del proceso de extrusión.

En el capítulo IV se describe la disposición del dado en la extrusora, los principales tipos de dados, funciones, aplicaciones y partes que los componen.

En el capítulo V se describen las principales consideraciones que se deben tomar en cuenta para iniciar el diseño de un dado para tubo y película soplada. Los cálculos, especificaciones y resultados involucrados en dichos diseños.

En el capítulo VI se describen las principales herramientas que apoyan al proceso de diseño además de un análisis de factibilidad técnica-económica.

En el capítulo VII se determinan los defectos y variaciones en el proceso de extrusión que ocasionan problemas prácticos al realizar la fabricación de los productos. Se presentan algunos criterios de corrección y mejoras, aplicadas al proceso de extrusión.

En el capítulo VIII se presentan las conclusiones y recomendaciones obtenidas a lo largo de este trabajo.



CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO.

1.1 Historia de los Plásticos.¹

Uno de los acontecimientos más sobresalientes en la historia de la industria del plástico ha sido sin duda el descubrimiento de la vulcanización del hule, que fue hecha por Charles Goodyear en 1839. Más tarde su hermano Nelson patentó el hule duro llamado ebonita, que es un polímero termofijo, utilizado durante mucho tiempo para peines, cajas de baterías y prótesis dentales.

Posteriormente el inglés Alexander Parkes en la exposición internacional de Londres en 1862, demostró las posibilidades del primer termoplástico, que era una forma de nitrato de celulosa (polímero natural en la madera y el algodón). La llamó parkesina y descubrió un sustituto del marfil y el carey. Este material cobró importancia debido a los esfuerzos realizados por el americano John Hyatt, quien combinó el nitrato de celulosa y el alcanfor (que actúa como plastificante) y los calentó a presión para formar un producto al que llamó celuloide. Su patente fue registrada en 1870. El celuloide era transparente y las aplicaciones que se desarrollaron posteriormente incluyeron la película para fotografía fija y cinematográfica, también se utilizó para los parabrisas de carruajes y de los primeros automóviles.

El primer plástico sintético fue desarrollado a principios de este siglo por el químico Belga. L. H. Baekeland, quien descubrió la reacción de polimerización del fenol y el formaldehído, y a cuyo producto denominó Bakelita. Esta resina termofija aún tiene importancia comercial.

La industria del plástico comenzó a tener grandes frutos con el paso del tiempo, entre los años 1920 y 1930 se desarrollaron un buen número de termoplásticos que tienen importancia en la actualidad. El inventor ruso I. Ostromislensky había patentado el cloruro de polivinilo en 1912 pero no fue comercializado hasta 1927.

En la misma época se produjo por primera vez en Alemania el poliestireno, y fue en Inglaterra en 1932 donde se empezaron las investigaciones que condujeron a la síntesis del polietileno

Finalmente, un programa importante de investigación iniciado en 1928, bajo la dirección de W. Carothers, patrocinado por la compañía Dupont en Estados Unidos, condujo a la síntesis de la poliamida (nylon), la cual fue comercializada hasta finales de los años treinta.

En las últimas décadas los plásticos han tenido un crecimiento muy amplio con la aparición de grandes consorcios internacionales como lo son Dupont, Bayer, Basf, GE, Celanese, Ticona, los cuales pertenecen a los principales generadores de materias primas en la división de polímeros

¹ Mikell P. Groover. Fundamentos de manufactura moderna



1.2 Clasificación de los plásticos.

Los plásticos son compuestos orgánicos macromoleculares que se obtienen por transformación química de sustancias naturales o por síntesis química de diferentes sustancias fundamentales. Existen diversos criterios de clasificación de los plásticos, siendo los más importantes los utilizados para diferenciar un polímero con relación a su origen, estructura física, reacciones de formación, arreglo de cadenas, propiedades físicas y por su utilización.²

1.2.1 Clasificación por su origen.

Los polímeros se pueden clasificar en polímeros naturales y sintéticos (tabla 1.1).

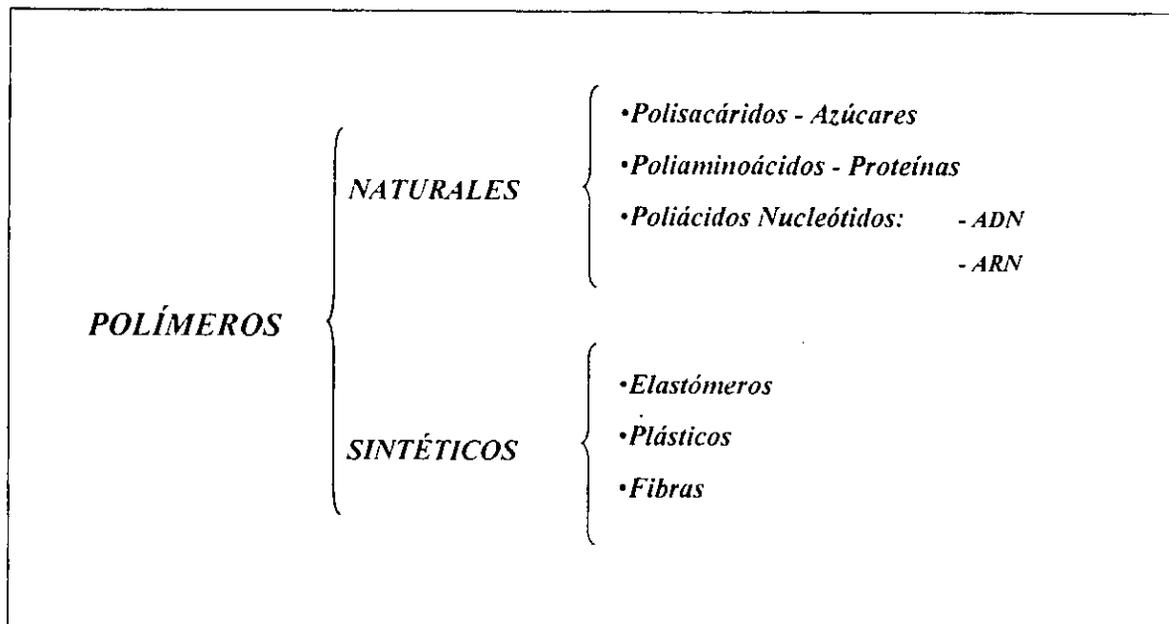


Tabla 1.1 Clasificación de los polímeros por su origen.³

Los polímeros son materiales sintéticos cuyas materias primas provienen de los recursos naturales que se encuentran en la tierra en forma de gas natural, petróleo, celulosa, etc.

Los productos químicos empleados en la síntesis de resinas se obtienen de la destilación primaria del petróleo crudo, que se fracciona en gas, gasolina, asfalto, nafta, etcétera.

1.2.2 Clasificación por su estructura física.⁴

Los polímeros sintéticos se clasifican por la forma de sus macromoléculas en Lineales, Ramificados y Reticulados.

² Nicola Anklam. Compendio de la técnica de los plásticos.

³ Ibidem.

⁴ Ibidem.



1. Polímeros lineales.

Están formados por largas cadenas de macromoléculas no ramificadas, ordenadas más o menos paralelamente o constituyendo una especie de madeja de estambre (ovillo), esta representación se puede ver en la figura 1.1.

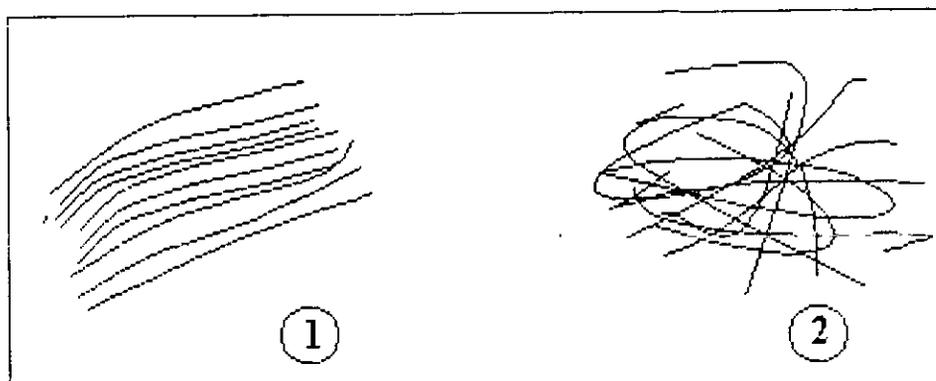


Fig. 1.1 Esquema de macromoléculas lineales: 1) paralelas, 2) en ovillo.

2. Polímeros ramificados.

Están constituidos por macromoléculas en las que la cadena principal presenta una serie de ramificaciones laterales, resultantes de haber tenido lugar procesos de polimerización en algunos de los monómeros de cadena principal. Estas cadenas laterales a su vez pueden estar más o menos ramificadas (fig. 1.2).

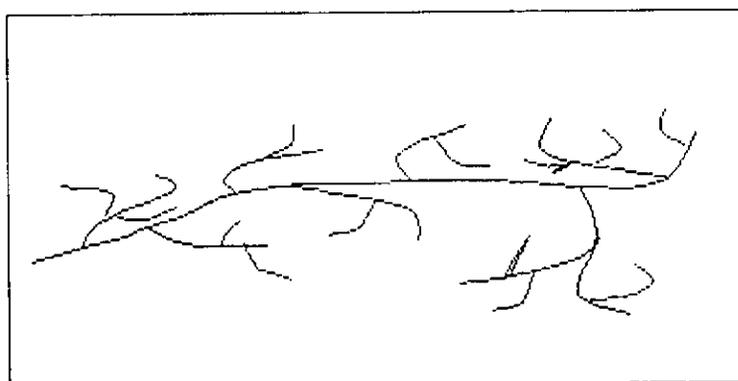


Fig. 1.2 Esquema de macromoléculas ramificada.

3. Polímeros reticulados.

Están formados por macromoléculas con cadenas y ramificaciones entrelazadas en tres dimensiones, constituyendo el polímero una especie de red tridimensional (fig. 1.3).

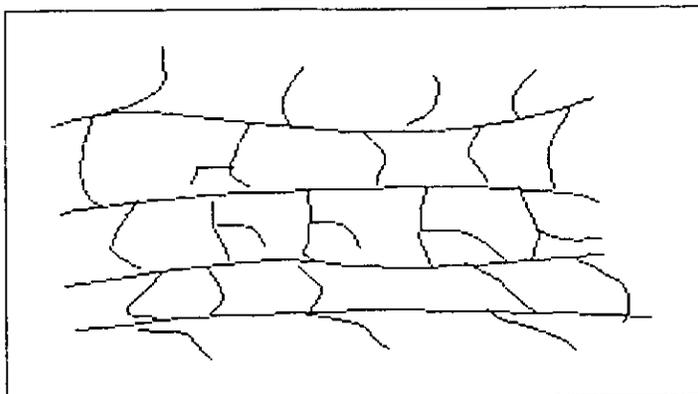


Fig. 1.3 Esquema de macromolécula reticulada.

1.2.3 Clasificación por reacciones de formación.

El proceso por el que las moléculas sencillas (monómeros) experimentan una combinación múltiple para formar macromoléculas, recibe el nombre de polimerización. Monómero significa "una parte", y es una sustancia de moléculas pequeñas que finalmente forman el polímero al unirse en largas cadenas moleculares.

La polimerización se realiza por medio de temperatura, presión y catalizadores. El polímero formado tiene la misma composición química que los monómeros, sólo que con una masa molar mayor (peso molecular).⁵

En la tabla 1.2 se muestran algunos termoplásticos fabricados por medio del proceso de polimerización.

Abreviatura	Plástico
PE	Polietileno
PVC	Policloruro de vinilo
PS	Poliestireno
PIB	Polisobutileno
PMMA	Polimetilmetacrilato
PTFE	Politetrafluoretileno
PP	Polipropileno
POM	Polioximetileno

Tabla 1.2 Plásticos que se obtienen por polimerización.⁶

La mayoría de los polímeros están constituidos por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno; sin embargo, cada vez se sintetizan más materiales que incluyen silicio, cloro, flúor, bromo, fósforo y azufre.

⁵ Lawrence H. Van Vlack. *Tecnología de materiales*.

⁶ Nicola Anklam. *Op. Cit.*



Los procesos de formación de polímeros son: Polimerización por adición y Polimerización por condensación.

En la **Polimerización por adición**, también conocida como crecimiento en cadena, las moléculas del monómero, no saturadas o cíclicas, se unen unas a otras sin eliminación de ninguna parte de las mismas. Por tanto, la fórmula empírica es la misma que la del monómero (fig. 1.4). En este tipo de proceso, el monómero sólo necesita un único grupo funcional. La característica que comparten todos los monómeros capaces de formar polímeros por adición es que son químicamente insaturados. Esto significa que poseen un enlace doble entre dos de sus átomos de carbono (fig. 1.4). En la presencia de calor, presión o un catalizador, la unión doble entre los átomos de carbono se rompe, causando que cada átomo de carbono tenga un enlace incompleto. Ahora la molécula de etileno se denomina mero. Estos enlaces se completan cuando el mero se combina con otros meros de etileno, produciendo una cadena compuesta de una cadena central de átomos de carbono, las largas cadenas moleculares, o polímeros, llamado polietileno.⁸

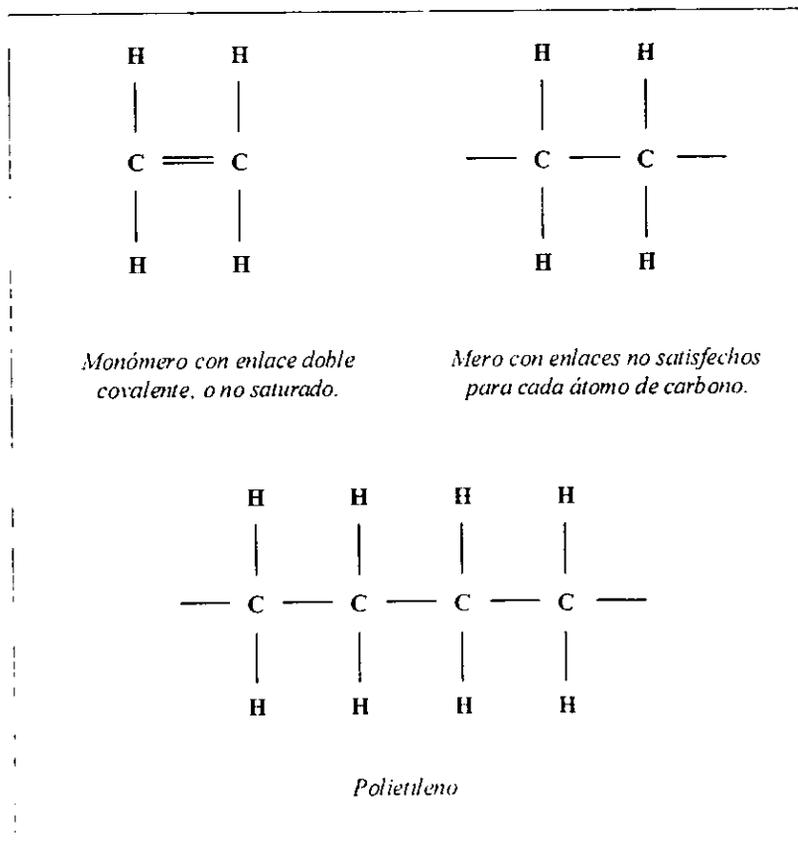


Fig. 1.4 Fórmula del polietileno.

⁷ Nicola Anklam. *Op. Cit.*

⁸ Donald R. Askeland. *La ciencia e ingeniería de los materiales*



Polimerización por condensación: conocida también como crecimiento por etapas; ésta incluye reacciones químicas individuales que tienen lugar entre pares de monómeros reactivos y es un proceso mucho más lento. Estas reacciones se basan en dos centros activos que pueden unirse para formar un enlace químico. Muchas de estas reacciones producen desprendimiento de sustancias secundarias. Si se usan moléculas bifuncionales, las reacciones pueden repetirse formándose una cadena polimérica larga. Las reacciones típicas de esta clase desprenden subproductos, como agua o alcohol. En la tabla 1.3 se muestran algunos de los polímeros que se fabrican mediante policondensación.⁹

Abreviatura	Plástico
PA	Poliamida
MP	Melamina
Si	Silicones
	Resina de poliéster
PC	Policarbonato
PI	Polimidas

Tabla 1.3 Principales polímeros obtenidos por condensación.¹⁰

1.2.4 Clasificación por el arreglo de las cadenas.

Los polímeros se clasifican por el tipo de arreglos de sus cadenas moleculares en cristalinos, amorfos, semiamorfos y semicristalinos (fig. 1.5).

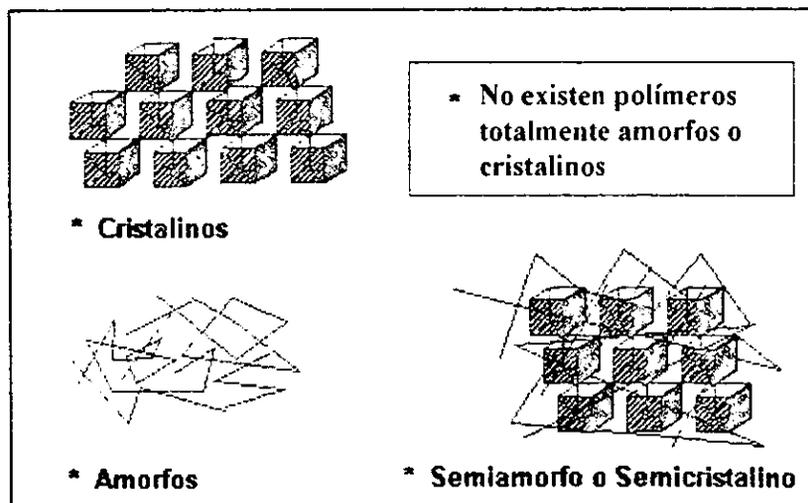


Fig. 1.5 Clasificación de polímeros por el arreglo de cadenas.

⁹ Donald R. Askeland. *Op. cit.*

¹⁰ Nicola Anklam. *Op. cit.*



Características de los polímeros Cristalinos: estas resinas son generalmente opacas, debido a su estructura cristalina, ya que ésta no deja pasar los rayos de luz, es decir, la formación de sus cadenas evitan el paso de cualquier emisión de luz. Estas resinas contienen un alto índice de fluidez, un alto punto de fusión por lo que estos polímeros resisten altas temperaturas de trabajo, así como buenas propiedades mecánicas y resistencia a agentes químicos como gasolina, alcoholes y otros.¹¹

Características de las resinas Amorfas: estas resinas son transparentes, debido a los espacios que tiene su estructura, pueden pasar los rayos de luz a través de estas ventanas que se forman al unirse las cadenas. Contienen bajos índices de fluidez, bajo rango de reblandecimiento, así como baja contracción. Estas resinas por lo general tienen mala resistencia química, son muy flexibles a altas temperaturas, y cuentan con propiedades mecánicas muy pobres aunque son excelentes a resistencias al impacto.¹²

1.2.5 Clasificación según sus propiedades físicas.

Los polímeros se dividen según sus propiedades físicas en: termoplásticos, termofijos o termoendurecibles y elastómeros (hules).

Los polímeros termoplásticos: se vuelven suaves y deformables cuando se calientan. Esta es una característica de los polímeros lineales. La plasticidad a alta temperatura se debe a la capacidad de las moléculas para deslizarse una con respecto a la otra.¹³

Al igual que con los metales, la ductilidad de los polímeros termoplásticos se reduce con el enfriamiento. Siendo la distinción más importante entre éstos, las "altas temperaturas" En donde el enlace secundario que debe superarse para deformar los termoplásticos llamado como punto de reblandecimiento, es alrededor de 100°C para los termoplásticos más comunes.¹⁴

Estas resinas presentan alta resistencia a la tensión combinada con excelente tenacidad, bajo coeficiente de fricción, buenas propiedades dieléctricas, resistencia a la abrasión y al ataque químico que las convierte en el material ideal en muchas aplicaciones de ingeniería.¹⁵

Un estimado de la penetración del mercado mundial de los principales plásticos de ingeniería se puede apreciar en la tabla 1.4.

¹¹ Dupont. *Moldeo óptimo I y II*.

¹² Basf. *Terluran, ABS*.

¹³ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Enciclopedia del plástico*.

¹⁴ Donald R. Askeland. *Op. cit.*

¹⁵ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Op. cit.*



Material	Porcentaje
NYLON (POLIAMIDAS)	37 %
POLICARBONATO	27 %
ACETAL (POM)	15 %
ÓXIDO DE POLIFENILENO (MPPO)	12 %
POLIESTER (GRADO BOTELLA) [PET, PBT]	9 %

Tabla 1.4 Principales termoplásticos utilizados en la industria.¹⁶

Polímeros termoendurecidos:¹⁷ en estos polímeros, se presentan situaciones contrarias a los termoplásticos, ya que se vuelven duros y rígidos al ser calentados. Esta es una característica de las estructuras moleculares de redes formadas por el mecanismo de crecimiento en etapas.

Las etapas de dicha reacción química se mejoran mediante temperaturas más altas y son irreversibles, puede decirse que en la fabricación de productos termoendurecidos, se pueden retirar del molde a la temperatura de fabricación (200 a 300°C), por el contrario los termoplásticos deben enfriarse en el molde para evitar distorsiones.

Los termoendurecidos son materiales que comparten resistencia y rigidez, con los polímeros de ingeniería, por lo que son ejemplares perfectos, para sustituir a los metales, teniendo la única desventaja de no ser reciclables.

Polímeros elastómeros:¹⁸ se comportan elásticamente en un intervalo de temperatura de uso suficientemente amplio. Pocas tensiones afectan considerablemente su deformación y después de eliminar las tensiones casi alcanzan su tamaño original.

Los elastómeros contienen polímeros con redes débilmente reticuladas. La elaboración de los elastómeros se obtiene mediante "vulcanización" del caucho. Con la vulcanización se logra una reticulación de las macromoléculas. Los elastómeros se presentan en la mayoría de los casos en redes de cadenas moleculares débilmente reticuladas, las cuales se forman durante la elaboración.

Con el incremento de la temperatura se comportan como elastómeros hasta la temperatura en que la descomposición química empieza, la descomposición química es irreversible.

¹⁶ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico*.

¹⁷ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Enciclopedia del plástico*.

¹⁸ Dupont. *Moldeo óptimo I y II*.



1.2.6 Clasificación por su utilización.¹⁹

Los plásticos de acuerdo a su volumen de consumo se clasifican en: Comodities, Termofijos, Técnicos o de Ingeniería y otros. La tabla 1.5 contiene el tipo de plástico, el consumo en toneladas, diferencia en precio y el valor que representa en la actualidad, así como el factor que representa en la industria.

	Tipo de plástico	Consumo MTons.	Precio USD / kg	Valor materia prima Millones USD	Factor	Valor producto Millones USD
1	COMODITIES	1.460	1.17	1.715	3.4	5.910
2	TERMOFIJOS	380	2.10	800	3.8	3.085
3	TÉCNICOS	46	3.36	155	5.8	900
4	OTROS	114	2.02	230	4.0	855
	TOTAL	2.000	1.44	2.900	3.7	10.750

Tabla 1.5 Clasificación de los polímeros con relación a su volumen.²⁰

Comodities: son los plásticos más comúnmente utilizados, principalmente en los mercados de envases y consumo. Sus propiedades son adecuadas al uso y su precio es de un nivel moderado. En este grupo se incluye al Polietileno, Polipropileno, PVC, Poliestireno y PET.

Termofijos: es un grupo de plásticos intermedio en consumo que se caracteriza por requerir alta creatividad para el diseño de productos, principalmente en estas piezas se toma mucho en cuenta el aspecto de apariencia, color y forma. Aquí se incluyen a los plásticos como Resinas Poliéster, Fenólicas, Epóxicas, Poliuretano y Silicones.

Técnicos (Ingeniería): el término "Ingeniería" se usa para aquellos plásticos que presentan un alto desempeño y funcionalidad con un excelente conjunto de propiedades tales como resistencia mecánica, límites de temperatura elevados, además de ser significativamente más caros. Incluyen el ABS, Poliamidas (Nylon), Poliacetales, Policarbonato, Acrílico, etc. A este grupo de plásticos también se les conoce como "Técnicos". Muchos de estos plásticos de ingeniería son utilizados en la industria Automotriz ya que gracias a sus propiedades, son la mejor opción en cuanto a material plástico.

Otros: incluyen a ciertos polímeros que debido a sus propiedades singulares y volúmenes de consumo no pueden agruparse en ninguno de los grupos anteriores. Sus principales aplicaciones son como aditivos y materias primas para industrias de Pintura, Cosméticos y Química en general.

¹⁹ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico.*

²⁰ *Ibidem.*



1.3 Selección de materiales para productos médicos.²¹

Los factores que gobiernan el desarrollo de productos médicos pueden clasificarse en cuatro áreas distintas: selección del material, diseño del producto, proceso de fabricación y desempeño del producto:

1. Selección del material, se basa en las siguientes consideraciones:

- Seguridad, diseño, proceso y desempeño.
- Compatibilidad del material con otros componentes utilizados en el mismo dispositivo.
- Medicamento y/o solución de contacto.
- Inerte químicamente.
- Lixiviados.
- Envejecimiento del material, particularmente después de la esterilización.
- Aditivos químicos y residuos del catalizador.
- Amigabilidad con el medio ambiente.
- Costo.
- Servicio técnico del proveedor.
- Consistencia lote a lote de la resina.

2. Diseño, se basa en las características deseadas en el producto:

- Flexibilidad para el diseño del producto médico.
- Montaje fácil.
- Ningún concentrador de esfuerzos en los componentes de plástico.
- Capacidad de unión/ensamble entre los componentes del producto.
- Fácil control de calidad por inspección visual o instrumental.
- Esterilización, formado, llenado, sellado, etc.

3. Procesamiento, debe poseer:

- Capacidad de extrusión, moldeo, termoformado, etc.
- Gran potencial de manufactura.
- Alta producción.
- Amplio rango de funcionamiento de proceso.
- Compatibilidad con los sistemas industriales.
- Proceso de ensamble.
- Métodos de esterilización.

4. Desempeño del producto, debe presentar:

- Seguridad y calidad.
- Relación costo/rendimiento.

²¹ Sherwin Shang. "Selecting materials for medical products: from PVC to metallocene polyolefins".



- Orientación de la función.
- Competitivo.
- Satisfacción del cliente.
- Amigable con el usuario.
- Apariencia cosmética.
- Economía.
- Olor.

Estas consideraciones en conjunto pueden restringir grandemente las opciones de un fabricante por desarrollar un producto. En el área de selección de material, por ejemplo, las empresas deben considerar flexibilidad de diseño, costo-efectividad, seguridad del producto terminado, calidad y desempeño.

Por lo tanto, la selección del material para la fabricación de cualquier producto es el principal factor, ya que éste va a influir en sus características finales. Algunos de los materiales más utilizados en el sector médico para fabricar tubo y película de plásticos flexibles son: Polietileno, Policloruro de Vinilo y Poliamidas. A continuación se dará una breve introducción a dichos materiales.

1.3.1 Policloruro de vinilo (PVC).

El policloruro de vinilo (PVC) es un polímero termoplástico resultante de la asociación molecular del monómero Cloruro de Vinilo. Es un plástico muy difundido cuyas propiedades pueden variar por combinación de aditivos con el polímero.

Por sí solo es el más inestable de los termoplásticos, pero con aditivos es el más versátil y puede ser sometido a variados procesos para su transformación, lo que lo ha hecho ocupar, por su consumo, el segundo lugar mundial detrás del polietileno. La tabla 1.6 contiene sus principales propiedades.

Polímero	Policloruro de Vinilo (C_2H_3CL) _n
Símbolo	PVC
Método de polimerización	Adición
Grado de cristalinidad	Ninguno (estructura amorfa)
Módulo de elasticidad	400.000 Lb/pulg ² (2800MPa) ^a
Resistencia a la tensión	6.000 Lb/pulg ² (40MPa)
Elongación	2% sin plastificante
Gravedad específica	1.40
Temperatura de transición vítrea	178 °F (81°C) sin plastificante
Temperatura de fusión	414 °F (212°C)

Tabla 1.6 Propiedades del Policloruro de Vinilo.²²

²² Instituto Mexicano del Plástico Industrial. Enciclopedia del plástico.



El PVC se obtiene polimerizando cloruro de vinilo en presencia de peróxidos, que actúan como iniciadores.



La resina de policloruro de vinilo puede clasificarse de cuatro maneras:

1. Por su método de producción: suspensión, emulsión y masa.
2. Peso molecular: alto, medio y bajo.
3. Tipo de monómeros: homopolímero y copolímero.
4. Formulación: rígida y flexible.

Es un polímero térmicamente degradable, por lo que para procesarlo es necesario adicionarle una serie de aditivos tales como: estabilizadores térmicos, lubricantes y modificadores de flujo, plastificantes, desbloqueantes (para evitar que se peguen las películas entre sí), modificadores de impacto, absorbedores de luz ultravioleta, antioxidantes, colorantes y otros aditivos.

El PVC es un polvo blanco, inodoro e insípido, fisiológicamente inofensivo. Teóricamente tiene un contenido de 57% de cloro, difícilmente inflamable, no arde por sí mismo. La estructura de la partícula a veces es similar a la de una bola de algodón, el diámetro varía dependiendo del proceso de polimerización.

El PVC debido a su estructura puede degradarse con relativa facilidad por el calor, la luz, oxígeno o la acción combinada de esos agentes, adquiriendo coloraciones que pasan de rosa al café claro, al café oscuro y finalmente al negro, mientras sufre un deterioro progresivo en sus propiedades. Es por lo que en la práctica al PVC se le aplica una mezcla de aditivos.

Con el PVC pueden obtenerse compuestos rígidos o flexibles, transparentes, opacos, brillantes y en colores mate, para uso industrial, médico y alimenticio. El PVC es muy versátil porque pueden obtenerse materiales tan flexibles como el hule o con suficiente rigidez para hacer tubos.

Algunos de los productos y aplicaciones más importantes del PVC son:

- Tubería para agua y drenaje.
- Manguera flexible.
- Linóleoum y losetas para pisos.
- Recubrimiento de alambres y cables eléctricos.
- Envases.
- Película para envoltura.
- Película utilizada para líquidos.
- Cubreasientos para autos.



Durante la degradación térmica del PVC se generan grandes cantidades de ácido clorhídrico, el cual ataca a la mayoría de los materiales con que están fabricados los equipos. Para evitar el daño es necesario emplear barriles, husillo y dados recubiertos con una capa de cromo duro.

Las temperaturas de extrusión varían entre 130 y 150°C; por lo que para evitar degradaciones en el compuesto es necesario contar con un buen control de las temperaturas del cilindro, así como garantizar un buen mezclado. La película de PVC encuentra su uso más importante en empaques, peletizados y películas termoencogible.

Con el PVC se pueden producir una gran variedad de productos médicos que van desde los componentes rígidos hasta las películas flexibles. Dado que los componentes de PVC rígidos y flexibles tienen la misma estructura del material, éstos pueden ser unidos fácilmente por solventes. Partes rígidas que se han moldeado de PVC son apropiadas para el unido ultrasónico, mientras que las películas flexibles extruidas o calandradas pueden ser selladas usando calor o radio frecuencia (RF). Además los productos médicos hechos de PVC pueden ser esterilizados por vapor, óxido de etileno (EtO) y radiación gamma. Las características adicionales que hacen a este material atractivo, incluyen su bajo costo, extenso espectro de temperatura de transición vítrea (Tg), amplio rango de temperatura de proceso, alta resistencia en la zona de sellado, alta transparencia, amplia gama de permeabilidad de gas y biocompatibilidad. Los productos médicos hechos de PVC han pasado pruebas críticas toxicológicas, biológicas, y fisiológicas. En suma, el PVC es uno de los mejores materiales médicos en términos de costo y función.

El cloruro de polivinilo es producido en México por Petróleos Mexicanos (PEMEX), siendo sus principales distribuidores:

- Policyd.
- Altaresin.
- Polímeros de México.
- Primex.

La capacidad total instalada en México según datos de exportación, importación y el consumo aparente en el año 2000 se presenta en la tabla 1.7.

Capacidad instalada	Producción	Importación	Exportación	Consumo Aparente.
545,000	420,000	8,000	158,000	270,000

Tabla 1.7 Capacidades del cloruro de polivinilo en miles de toneladas.²³

²³ Centro Empresarial del plástico. *La era del plástico.*



1.3.2 Polietileno (PE).

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, siendo el material más utilizado en la elaboración de película soplada gracias a sus buenas propiedades mecánicas en general y a su bajo costo.

Antiguamente llamado "Polimetileno", el polietileno pertenece al grupo de los polímeros de las poliolefinas, que provienen de alquenos (hidrocarburos con enlaces dobles). Son polímeros de alto peso molecular y poco reactivos debido a que están formados por hidrocarburos saturados, sus macromoléculas no están unidas entre sí químicamente, excepto en los productos reticulados.

Las características que hacen tan atractivo al polietileno son: bajo costo, pasividad química y fácil proceso. Se encuentra disponible en varios grados, siendo los más comunes, el polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE) y el polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE). La densidad del polietileno es un factor que marca las principales propiedades mecánicas del producto. La tabla 1.8 muestra la clasificación del polietileno de acuerdo al código ASTM.

Polímero	Polietileno (C ₂ H ₄) _n	
	(PEBD o LDPE)	(PEAD o HDPE)
Símbolo	(PEBD o LDPE)	(PEAD o HDPE)
Método de polimerización	Adición	Adición
Grado de cristalinidad	55% Típico	92% Típico
Módulo de elasticidad	20,000 lb/pulg ² (150 MPa)	100,000 lb/pulg ² (700 MPa)
Resistencia a la tensión	2,000 lb/pulg ² (15MPa)	4,000 lb/pulg ² (30MPa)
Elongación	100 a 500 %	20 a 100 %
Gravedad específica	0.92	0.96
Temperatura de transición vítrea	-148°F (-100°C)	-175°F (-115°C)
Temperatura de fusión	240°F (155°C)	275°F (135°C)

Tabla 1.8 Propiedades del Polietileno.²⁴

Si la densidad del polietileno aumenta, aumentan también las propiedades, como la rigidez, dureza, resistencia a la tensión, resistencia a la abrasión, resistencia química, punto de reblandecimiento e impacto a bajas temperaturas. Sin embargo, este aumento significa una disminución en otras propiedades como el brillo, resistencia al rasgado y la elongación.

De aquí que se tengan los siguientes tipos de polietileno.²⁵

- Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE)

²⁴ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Enciclopedia del plástico.*

²⁵ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico.*



- Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE)
- Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE)
- Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE)
- Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE)

Polietileno de Baja Densidad (PEBD o LDPE): es un material traslúcido, inodoro, con un punto de fusión promedio de 110°C, tiene conductividad térmica baja. Sus principales aplicaciones son dentro del sector del envase y empaque (bolsas, botellas, películas, sacos, tapas para botellas, etc.). La película obtenida con este plástico tiene excelente resistencia al impacto, buen brillo y buena transparencia.

Polietileno Lineal de Baja Densidad (PELBD o LLDPE): presenta una buena resistencia a la tracción, al rasgado y a la perforación, buena resistencia al impacto a temperaturas muy bajas (hasta -95°C) y en películas posee excelente elongación. Sus principales aplicaciones son como película encogible, película estirable, bolsas grandes para uso pesado, acolchado agrícola, etcétera.

Polietileno de Alta Densidad (PEAD o HDPE): presenta mejores propiedades mecánicas (rigidez, dureza y resistencia a la tensión) que el PEAD y el PELBD, debido a su mayor densidad. Presenta fácil procesamiento y buena resistencia al impacto y a la abrasión. No resiste agentes oxidantes fuertes, como ácido nítrico, ácido sulfúrico, peróxidos de hidrógeno o halógenos. Sus principales aplicaciones son en el sector de envases y empaques (bolsas para mercancía, bolsas para basura, botellas para leche y yogurt, cajas para transporte de botellas, etcétera), en la industria eléctrica (aislante para cable), en el sector automotriz (recipientes para aceite y gasolina, tubos y mangueras), artículos de cordelería, bandejas, botes para basura, cubetas, platos, redes para pesca, regaderas, tapicerías, juguetes, etcétera.

La película que se obtiene presenta muy buena resistencia al impacto, depende además de otros factores como es el peso molecular promedio de PEAD, el índice de fluidez, la densidad y las condiciones de proceso. La resistencia mecánica es inversamente proporcional al índice de fluidez; es decir, a mayor índice de fluidez habrá menor resistencia mecánica.

Polietileno de Alta Densidad Alto Peso Molecular (HMW-HDPE): Presenta propiedades como buena resistencia al rasgado, amplio rango de temperaturas de trabajo (-40 a 120°C), impermeabilidad al agua y no guarda olores. Sus principales aplicaciones son en película, bolsas, empaque para alimentos, tubería a presión, etcétera.

Polietileno de Ultra Alto Peso Molecular (UHMWPE): Es un material altamente cristalino con una excelente resistencia al impacto, aún a temperaturas bajas de -200°C, tiene muy bajo coeficiente de fricción, no absorbe agua, reduce los niveles de ruido ocasionados por impactos, resistencia a la fatiga y muy resistente a la abrasión, muy buena resistencia a medios agresivos, (agentes oxidantes, hidrocarburos aromáticos y halogenados) y disuelven a otros polietilenos de menor peso molecular. Sus principales aplicaciones son en partes y refacciones para maquinaria.



El Polietileno es producido en México por PEMEX Petroquímica, y sus distribuidores son:

- Ashland Chemical.
- Asler.
- Bamberger.
- Corporacion Telch.
- Distribuidora On.
- Exxon Mexicana.
- Codiquinsa.
- Polvoleno.
- Industrial Mafra.

El consumo aparente en México de Polietileno según datos de exportación, importación, en el año 2000 se presenta en la tabla 1.9.

Capacidad instalada	Producción	Importación	Exportación	Consumo Aparente.
310,000	310,000	60,000	10,000	360,000

Tabla 1.9 Consumo aparente del Polietileno en miles de toneladas.²⁶

1.3.3 Poliamidas.

Una familia importante de polímeros que forman ligas características de amida (CO-NH) durante su polimerización se llama 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 indica el número de átomos de carbono en el monómero).

Los datos siguientes son para el Nylon 6.6, que desarrolló la empresa Dupont en la década de los treinta, por el Investigador Dr. William H. Carothers. Las propiedades del Nylon 6, desarrollado en Alemania, son similares. El nylon es resistente, altamente elástico, tenaz, resistente a la abrasión y autolubricante. Sus propiedades se muestran en la tabla. 1.10.

Las Poliamidas o Nylons principalmente utilizados para producir película son los de alta viscosidad aunque también pueden emplearse los de baja viscosidad en películas de bajo espesor.

Comparativamente con la película de polietileno, la película obtenida con Poliamidas presenta mayor impermeabilidad al vapor de agua y otros gases, así como una mejor resistencia

²⁶ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico.*



mecánica, propiedades que la convierten en ideal para ser usada en la industria médica y alimenticia, principalmente como empaques de carnes, quesos y embutidos.

Polímero representativo:	Nylon 6,6 [(CH₂)₆ (CONH)₂(CH₂)₄]_n
<i>Símbolo:</i>	PA-6,6
<i>Método de polimerización:</i>	Por pasos (condensación)
<i>Grado de cristalinidad:</i>	Altamente cristalino
<i>Módulo de elasticidad:</i>	100,000 lb/pulg ² (700 MPa)
<i>Resistencia a la tensión:</i>	10,000 lb/pulg ² (70 MPa)
<i>Elongación:</i>	300%
<i>Gravedad específica:</i>	1.14
<i>Temperatura de transición vítrea:</i>	122 °F
<i>Temperatura de fusión:</i>	500 °F
<i>Participación en el Mercado:</i>	1% para todas las poliamidas

Tabla 1.10 Propiedades de las Poliamidas.²⁷

Por ser un material higroscópico es indispensable, en algunos de los casos, usar una tolva con circulación de aire para secarlo; generalmente, sucede ésto cuando se tiene un mal manejo del material o el medio en el que está siendo utilizado se encuentra con altos contenidos de humedad, por lo que el material absorbe rápidamente humedad del medio ambiente y con ello se ve afectada la apariencia de la película.

Un segundo grupo de poliamidas lo constituyen las aramidas (poliamidas aromáticas) de las cuales el Kevlar (marca registrada de Dupont) está ganando importancia como fibra para reforzar plásticos. La razón del interés en el Kevlar es que su resistencia es la misma que la del acero con un 20% de su peso.

Las poliamidas (Nylon) en el mercado Mexicano están conformadas por los siguientes distribuidores y representantes:

Distribuidores:

- Ashland Chemical.
- Dimsa.
- Gepol.
- M.A. Hanna.
- Tecnoplas.

Representantes México:

- Basf.
- Bayer.
- Dupont.
- Hoechst Celanese.
- Huls.

²⁷ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. Enciclopedia del plástico.



El consumo aparente en México de Poliamidas según datos de exportación, importación, en el año 2000 se presenta en la tabla 1.11.

Capacidad instalada	Producción	Importación	Exportación	Consumo Aparente.
12,000	9,000	7,000	5,000	11,000

Tabla 1.11 Capacidades en miles de toneladas para las Poliamidas.²⁸

1.3.4 Material para la aplicación de bolsas y tubos médicos.

Durante la Segunda Guerra Mundial se emplearon, por primera vez, vinilos para fabricar dispositivos médicos, debido a la necesidad de disponer de éstos en el campo de batalla. Durante la siguiente mitad del siglo, los dispositivos médicos evolucionaron con la tendencia de plásticos flexibles y biocompatibles. El vinilo se convirtió en el polímero más usado en la industria médica en virtud de su capacidad de poseer propiedades deseables, tales como: claridad, facilidad de proceso, rango en flexibilidad desde rígido a muy elástico, capacidad a ser esterilizado vía EtO, gamma o autoclave, y la capacidad de ser sellado por todas las técnicas convencionales (radio frecuencia, calor o soldadura). A estas características físicas se le suman una larga historia de uso médico seguro, una economía atractiva y una amplia disponibilidad global.²⁹

El Cloruro de Polivinilo se usa ampliamente en la industria médica del plástico, para aplicaciones en recipientes flexibles para soluciones intravenosas y sangre, así como para muchos de los accesorios empleados en la colección y administración de estas sustancias. El PVC flexible encontró originalmente una aplicación en este sector del mercado médico como un reemplazo para las botellas de vidrio usadas para el almacenamiento de sangre. Los contenedores de PVC lograron aceptación debido a su alto desempeño y a su valor.³⁰

El PVC plastificado o semirígido con alto peso molecular es usado para fabricar bolsas de sangre y tubos, dadas sus excelentes propiedades mecánicas. Otra ventaja que presenta esta resina es su baja tendencia a la de formación de ojos de pescado y sus buenas propiedades de gelación.

Entre los distintos tipos de plásticos, el PVC flexible es uno de los más consumidos, con alrededor de 20 MTon/año en todo el mundo. Y es también el más versátil en sus características y aplicaciones. Debido a su aptitud para asociarse con cantidades importantes de cargas como talco, plastificantes o aditivos, el PVC varía sus propiedades por una gama muy amplia de valores: de la transparencia del cristal a una opacidad total a la luz; de la flexibilidad a la dureza en las aplicaciones.³¹

²⁸ Centro Empresarial del plástico. *La era del plástico*.

²⁹ Robert S. Brookman. "Vinyl usage in medical plastics: new technologies".

³⁰ Lén Czuba. "Opportunities for PVC Replacement in Medical Solution Containers"

³¹ Andre Collard. "PVC: el plástico más versátil y el más atacado"



Entre las características del PVC merece destacar su no flamabilidad, apreciada donde existe riesgo de incendio, así como su excelente relación entre precio y calidad. El PVC es también utilizado para el envasado de agua en botellas, sin haberse detectado ningún efecto carcinogénico (aparición de cáncer) hasta ahora, ni efecto teratogénico (fetos mal formados), lo que demuestra la total inocuidad del PVC.³²

Entre los atributos adicionales para el desempeño de la película, se debe contemplar que en muchas aplicaciones médicas, se tiene que esterilizar los dispositivos, en donde se exponen a temperaturas moderadamente elevadas, donde involucran ciclos de 12 y 24 horas a temperaturas que van de 54° a 60°. Otro punto importante es el transporte y condiciones de almacenamiento, las que también pueden involucrar temperaturas elevadas, lo cual provoca que las capas de la película puedan tener una tendencia a pegar o bloquear. Esto puede producir un dispositivo que no funciona correctamente, por ejemplo, una bolsa de recolección de sangre no puede ser llenada de sustancia porque la bolsa se encuentra bloqueada y por lo tanto no puede abrir fácilmente.

Son numerosas las aplicaciones que aparecen en la vida diaria del PVC plastificado. Entre ellas es preciso mencionar una que salva muchas vidas cada día y que también ha sido muy atacada, se trata de las bolsas para conservación o transfusión de sangre o para administración de medicamentos por vía intravenosa. En este caso es imprescindible poder verificar visualmente que no haya depósitos o alteración del medicamento y, por otra parte, la bolsa y el tubo tienen que ser flexibles para evitar la entrada de aire. De todas las materias plásticas existentes, sólo el PVC flexible plastificado puede cumplir este papel.

Los dispositivos médicos plásticos son cruciales para cumplir con las más altas normas del cuidado de la salud. Los miles de dispositivos diferentes que existen hoy son producto de los adelantos modernos que tienen que responder a una serie de requisitos de actuación muy específicos. El papel de la industria médica es desarrollar productos eficaces, con materiales adecuados, en los que los riesgos tanto para los pacientes como para el personal del cuidado de la salud son minimizados.

El PVC flexible usado en las bolsas de sangre es el único material plástico aprobado por la Farmacopea europea y garantiza un almacenamiento seguro de sangre por un periodo más largo de tiempo del que sería posible en recipientes de vidrio.³³

En el país, existe una regulación sanitaria para las bolsas para recolección de orina³⁴ que establece que deben ser elaboradas a base de PVC, y para el caso de las bolsas para recolección de sangre³⁵ deben ser elaboradas a base de PVC o cualquier otro material plástico grado médico.

³² Ibidem.

³³ Más información en la pág. web del European Council of Vinyl Manufacturers.

³⁴ NOM-136-SSA1-1995.

³⁵ NOM-139-SSA1-1995.



CAPÍTULO II

PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE LOS PLÁSTICOS.

2.1 Industria de la transformación.¹

Los plásticos pueden ser transformados en una amplia variedad de productos, como partes moldeadas y secciones extruidas, además, los plásticos son frecuentemente el ingrediente principal de otros materiales como pinturas, barnices, adhesivos y varios compuestos con matriz de polímero.

La importancia tecnológica y comercial de estos procesos de transformación de plásticos deriva del creciente valor de los materiales que se procesan. Las aplicaciones de los plásticos se han incrementado más rápidamente que para los metales o los cerámicos durante los últimos 50 años. En realidad, muchas partes hechas anteriormente de metal se hacen ahora de plástico y de compuestos de plástico. El volumen total de polímeros (plásticos y hules) excede ahora al de los metales (el tonelaje es todavía mucho menor debido a la densidad de los metales, aunque el volumen es considerablemente mayor).

Se pueden identificar varias razones por las cuales los procesos de transformación de plásticos son importantes:

La variedad de procesos de transformación y la facilidad con que se procesan los polímeros permiten una variedad casi ilimitada de formas para las piezas.

Muchas partes de plásticos se forman por moldeo, es decir generalmente no son necesarios los formados posteriores.

Aunque para formar plásticos se requiere usualmente el calentamiento, se necesita menos energía que para los metales, porque las temperaturas de procesamiento son mucho más bajas.

A causa de las bajas temperaturas usadas en el procesamiento, el manejo del producto se simplifica durante la producción. Muchos métodos de procesamiento plástico son de una sola operación (por ejemplo, moldeo) por tanto, el manejo de productos se reduce sustancialmente comparado con los metales.

No se requiere acabado por pintura o depositación para los plásticos, excepto en circunstancias inusuales o en casos muy especiales.

¹ Mikell P. Groover. *Fundamentos de manufactura moderna*



2.2 La industria del plástico en México.²

La industria del plástico en México, es la de mayor interacción con todos los sectores de la economía nacional y su cadena productiva es una de las más dinámicas con visión al futuro proyectando una propuesta de nación basada en proporcionar mayor valor agregado al petróleo, donde 23,300 empresas dependen de sus derivados plásticos.

En la década de los 90, la producción mundial de plásticos fue de 100 millones de toneladas y para el año 2000 de 160 millones de toneladas.

La producción nacional de resinas tiene aproximadamente 45 años, por lo que se considera una industria joven que a evolucionado en forma acelerada, teniendo un crecimiento en exportación de la cadena productiva del plástico (resinas, productos semielaborados y manufacturados) que llegó en 1999 a 2542 millones de Dólares y para el primer trimestre de 2000 la cifra fue de 735 millones de Dólares.

La industria manufacturera de Plásticos en México está compuesta por 3900 empresas, de las que 3228 cuentan con procesos de transformación primarios: Inyección, Extrusión, Soplador Calandrado, Rotomoldeo y 672 tienen procesos secundarios: Termoformado, Corte, Doblado y Pegado.

En la figura 2.1 se pueden apreciar los principales sectores de la industria que son consumidores de resinas plásticas.

La utilización de estas resinas en el caso específico del sector médico, crece rápidamente debido a la necesidad de contar con un mejor manejo de sustancias, líquidos, utensilios, aparatos y a la necesidad de contar con un material que tenga la característica de ser "desechable", término que se maneja casi al 100% en el sector de los envases.

La industria del envase, en los últimos años, ha invadido el mercado de forma brutal, dejando atrás el empaque de vidrio que se consideraba un envase insustituible.

La industria nacional transformadora de plástico, referida a transformación primaria, genera 191,983 puestos de trabajo, transformando cerca de tres millones de toneladas de materia prima plásticos al año.

En la figura 2.2 se muestra la clasificación de empresas de transformación de plásticos de acuerdo a su tamaño. La mayor parte de las empresas se ubican en la categoría de microempresas (2785 que representan el 60%) aunque la mayor porción de la producción y el empleo en la industria se concentra en el segmento mediano (12%), y grande (4%), que en total son 443.

² Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico*

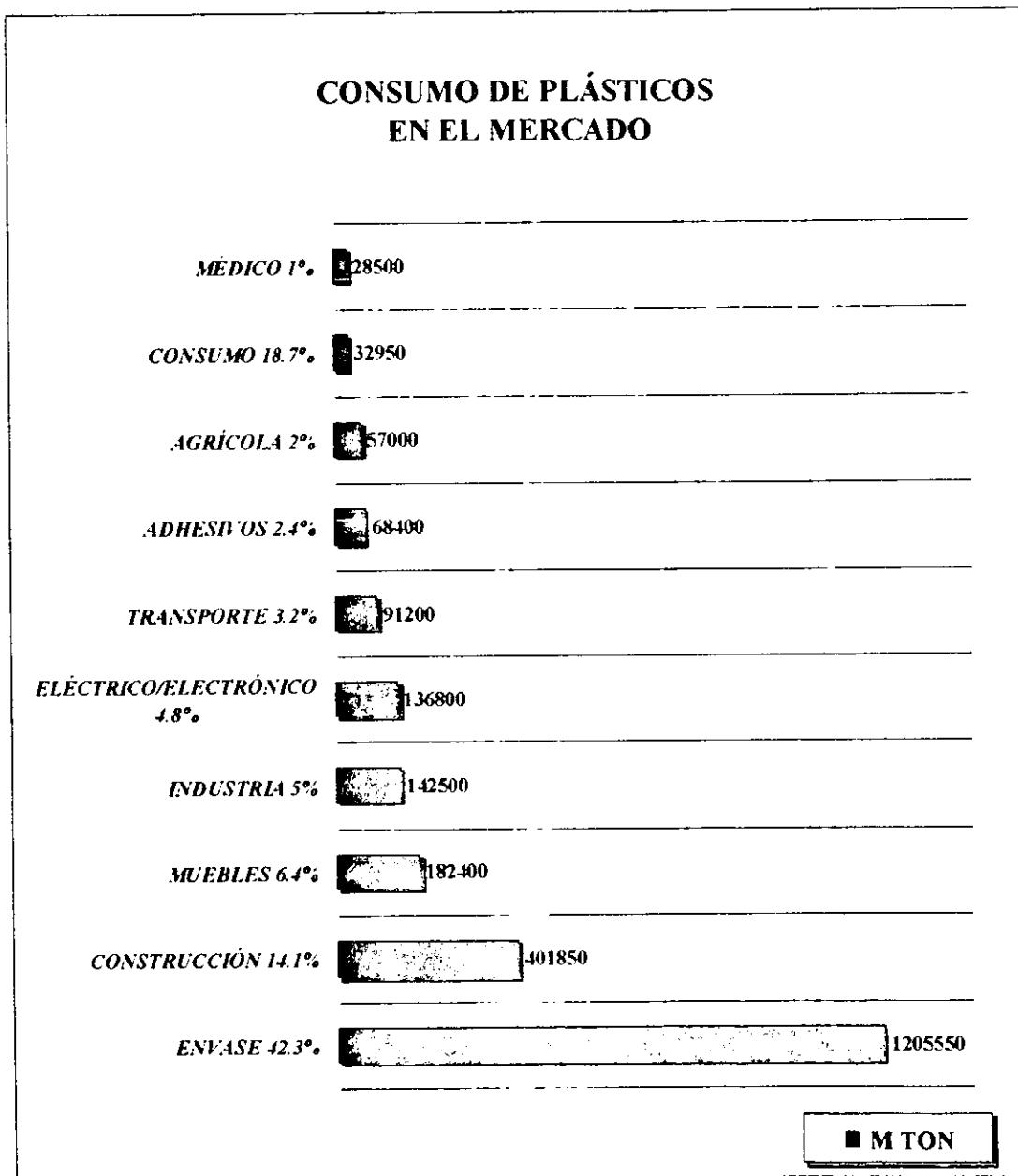


Fig. 2.1 Principales sectores consumidores de la industria del plástico.³

³ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico.*

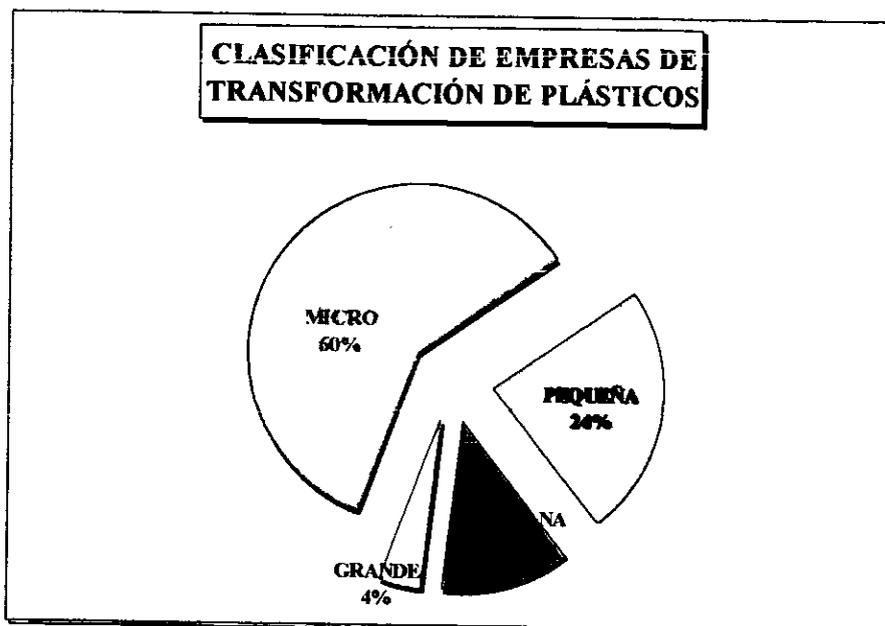


Fig. 2.2 Clasificación de los procesos en la industria.⁴

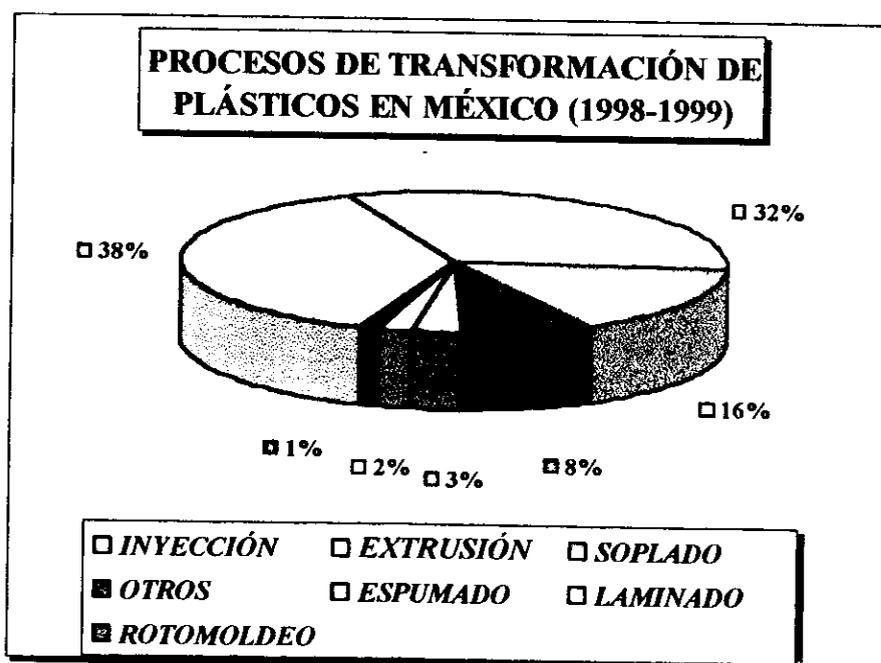


Fig. 2.3 Clasificación de los procesos de transformación del plástico en México.⁵

⁴ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico.*

⁵ *Ibidem.*



De acuerdo con la forma del producto resultante, las piezas plásticas se pueden clasificar en:

1. Productos extruidos continuos con sección transversal constante, con excepción de láminas (hojas), películas y filamentos.
2. Hojas o láminas continuas y películas.
3. Filamentos continuos (fibras).
4. Partes moldeadas, sólidas en su mayoría.
5. Partes moldeadas huecas con paredes relativamente delgadas.
6. Partes discretas hechas de láminas preformadas y películas.
7. Fundiciones.
8. Productos expandidos (espumas).

La figura 2.4 contiene a los principales polímeros utilizados en los procesos de transformación de la industria del plástico, además de los productos resultantes y el mercado de aplicación de los mismos.

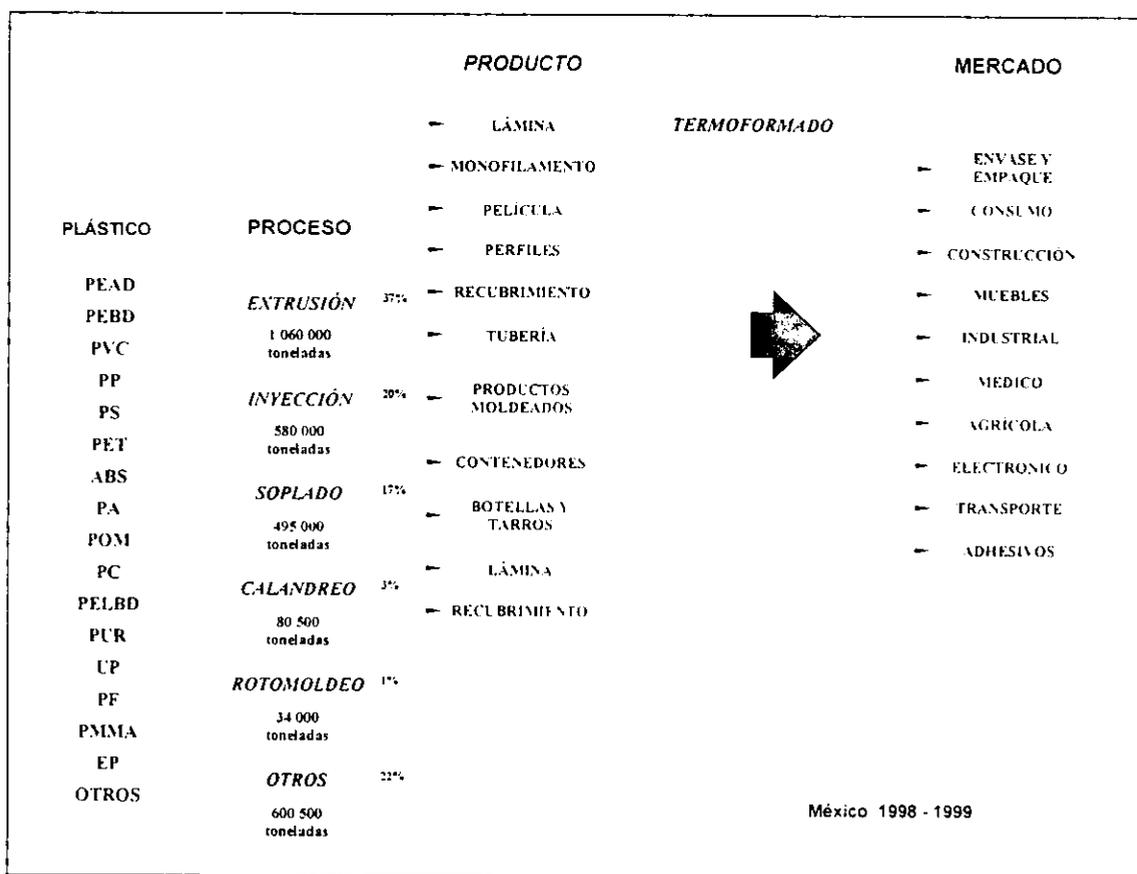


Fig. 2.4 La industria del plástico en México.⁶

⁶ Centro Empresarial del Plástico. *La era del plástico.*



Se estima que la capacidad instalada de transformación de plásticos es de 3,000,000 ton/año. La importación de productos de plástico terminado se ha multiplicado, alcanzando en el año 2000 aproximadamente 5'000,000 ton/año, generando el llamado fenómeno de Expansión del Mercado de Plásticos.

México tiene el 3% del número de empresas del plástico en el mundo y el 1.3% del consumo global. Actualmente ocupa el 5° y 6° lugar en la industria del plástico a nivel mundial, aprovechando la fortaleza en la cadena petroquímica, (el sector industrial más grande de la economía mexicana), lugar que mantendrá durante los próximos 10 años.

Las actividades industriales que concentran la mayor parte de las exportaciones de manufacturas de plásticos son en su orden: empaque (38%), eléctrico y automotriz (27%), y juguetes (17%). En el campo de las importaciones de manufacturas, la demanda del sector eléctrico y automotriz representa 46% del total y los empaques de plástico dan cuenta de 37% del total importado.

2.3 Principales procesos en la industria del plástico.

Los procesos más importantes en la industria para la transformación son: inyección, inyección soplado, moldeo rotacional, termoformado, moldeo por compresión, moldeo por transferencia, extrusión y extrusión soplado.

2.3.1 Inyección.

El moldeo por inyección es un proceso en el que un polímero se calienta hasta un estado líquido y se hace fluir a alta presión dentro de la cavidad de un molde donde solidifica. La parte moldeada, llamada moldeo, se remueve entonces de la cavidad. El proceso produce componentes separados o discretos que son casi siempre formas netas.

La duración del ciclo típico de producción es de 10 a 30 segundos, aunque no son raros los ciclos de un minuto o mayores. El molde de inyección es el elemento especial que determina la forma y el tamaño de la pieza. El moldeo por inyección es el proceso más ampliamente usado para los termoplásticos.

Una máquina de moldeo por inyección (figura 2.5) consiste en dos componentes principales: la unidad de inyección del plástico y la unidad sujetadora del molde.

⁷ Mikell P. Groover. *Fundamentos de Manufactura Moderna*

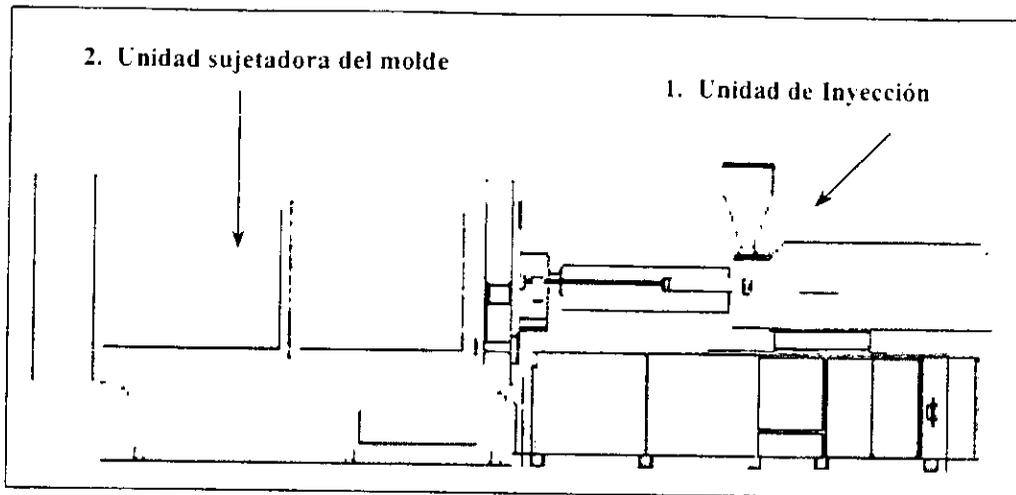


Fig.2.5 Máquina Inyectora

La unidad de inyección se parece mucho a una extrusora. El sistema está formado por un cilindro conectado, en uno de sus extremos, a una tolva de alimentación que contiene una provisión de pellets de plástico. Dentro del cilindro hay un tornillo cuya operación supera a la del tornillo de extrusión en el sentido de que además de girar para mezclar y calentar el polímero, también actúa como un émbolo que mueve rápidamente el plástico fundido hacia delante para inyectarlo en el molde. Una válvula de no retorno, montada cerca de la punta del tornillo, previene que la fusión fluya hacia atrás a lo largo de la rosca del tornillo. Al final del ciclo de moldeo el émbolo vuelve a su posición original, debido a esta acción dual se le llama tornillo reciprocante, cuyo nombre identifica al tipo de máquina.⁸

En resumen, las funciones de la unidad de inyección son: fundir y homogeneizar el polímero e inyectar la fusión en la cavidad del molde.

La máquina opera bajo el concepto de tres bloques principales:⁹

- **INYECCIÓN:** Recibir, plastificar e inyectar la resina controlando su temperatura, velocidad y presión.
- **MOLDEO:** Mantener posicionado y sujeto el molde en la prensa, controlando movimientos de apertura, cierre y expulsión de producto.
- **INTEGRACIÓN:** Estructurar, energizar y coordinar la operación de los 2 bloques anteriores.

⁸ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. Enciclopedia del plástico

⁹ Nicola Anklam. Compendio de la técnica de los plásticos



2.3.2 Moldeo por compresión.

El moldeo por compresión es un proceso antiguo y muy utilizado para plásticos termofijos. Se aplica también a discos fonográficos termoplásticos, llantas de hule y varios compuestos en matriz de polímero.

El proceso (figura 2.6) para un plástico termofijo es el siguiente: 1) se coloca en el fondo de un molde calentado, una cantidad fija de compuesto de moldeo llamada carga; 2) se unen las mitades del molde para comprimir la carga y forzarla a tomar la forma de la cavidad; 3) se calienta la carga a través del molde para que polimerice y cure el material, transformándose en una pieza sólida y 4) se abre el molde y se retira la parte de la cavidad.¹⁰

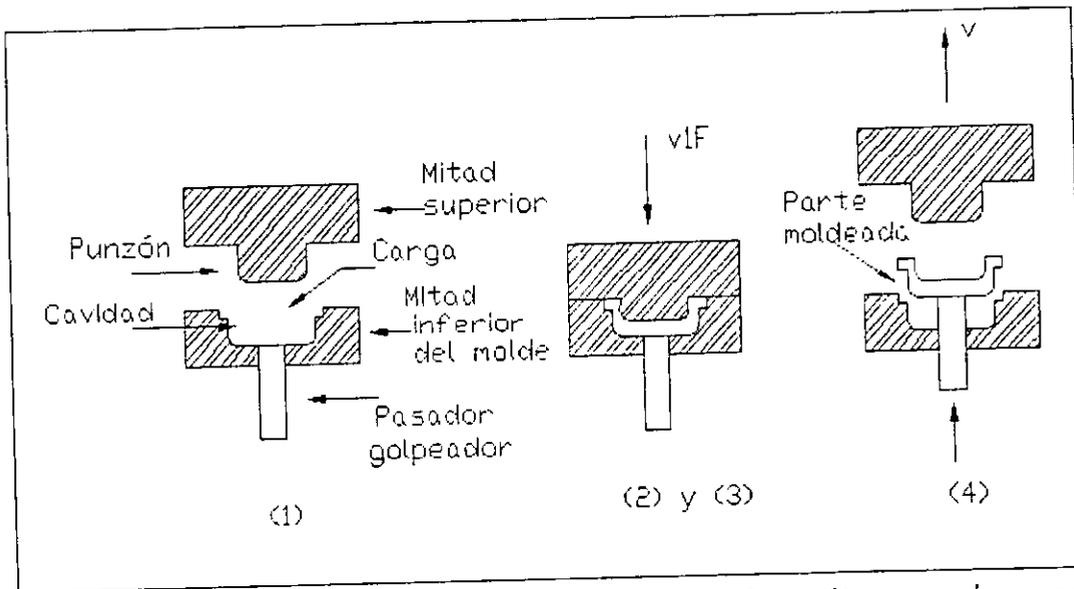


Fig.2.6 Moldeo por compresión para plásticos termofijos; (1) se pone la carga, (2) y (3) la carga se comprime y cura, y (4) la parte se expulsa y se retira.

La carga inicial del compuesto de moldeo puede estar en forma de polvos, pellets, líquido o partes preformadas. Las piezas típicas moldeadas con plástico termofijo incluyen contactos eléctricos, portalámparas, mangos de sartenes y vajillas de plástico. Son notables las ventajas del moldeo por compresión para estas aplicaciones ya que es más simple, menos costoso y requiere bajo mantenimiento, genera poco desperdicio y deja bajos esfuerzos residuales en las partes moldeadas. La principal desventaja es la mayor duración del ciclo y, por tanto, la velocidad de producción es más baja que la del moldeo por inyección.¹¹

¹⁰ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Enciclopedia del plástico.*

¹¹ Mikell P. Groover. *Fundamentos de manufactura moderna*



2.3.3 Moldeo por transferencia.

En este proceso se carga un termofijo (preformado) en una cámara inmediata a la cavidad del molde, donde se calienta; se aplica entonces presión para forzar al polímero suavizado a fluir dentro del molde caliente, donde el polímero se cura.

Las dos variantes de este proceso son las que se ilustran en la figura 2.7: a) moldeo con recipiente de transferencia, en el cual la carga se inyecta de un recipiente a través de un canal vertical en la cavidad; y b) moldeo con émbolo de transferencia, en el cual se inyecta la carga en la cavidad del molde por medio de un émbolo desde un depósito que se calienta a través de los canales laterales. En ambos casos se produce material de desperdicio en cada ciclo por la pieza desechada que se queda en la base del depósito y en los canales laterales. Además, el material que sobra en la zona de carga, es también material de desecho y no puede recuperarse debido a que los polímeros son termofijos.¹²

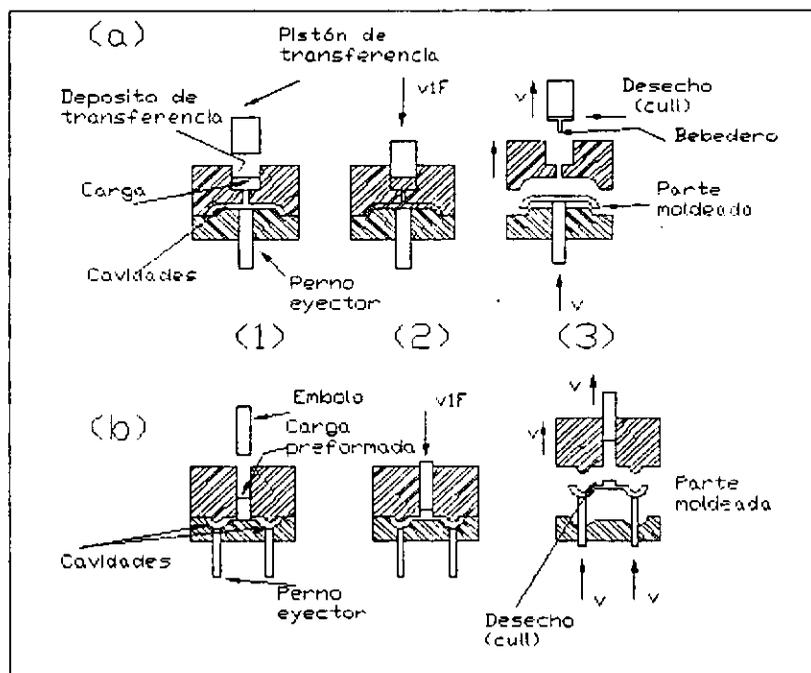


Fig.2.7 (a) Moldeo con depósito de transferencia y (b) moldeo con émbolo de transferencia.

2.3.4 Moldeo por soplado.

La tecnología de moldeo por soplado ofrece una serie de ventajas sobre otros procesos de grandes volúmenes de producción, como la inyección. Y presenta, al mismo tiempo, factores de costos favorables. El procedimiento utiliza plásticos con un peso molecular más elevado, por lo

¹² Mikell P. Groover. Fundamentos de manufactura moderna.



que es posible obtener paredes más delgadas y resistencias más elevadas a igualdad de peso. El moldeo por soplado es un proceso que usa presión de aire para hacer formas huecas inflando plástico suave dentro de la cavidad de un molde. Es un proceso industrial importante para hacer partes de plástico huecas de una sola pieza con paredes delgadas, tales como botellas y envases similares. Como la mayoría de estos artículos se usan para bebidas consumibles en mercados masivos, la producción involucra grandes volúmenes, la tecnología está tomada de la industria del vidrio, con la cual compiten los plásticos en el mercado de los envases desechables.

El moldeo por soplado se realiza en dos pasos: 1) fabricación de un tubo inicial de plástico fundido, llamado parison o preforma, y 2) soplado del tubo a la forma final deseada. La obtención de la preforma se realiza por el proceso de extrusión o inyección.

2.3.4.1 Extrusión-Soplado.

El moldeo por extrusión soplado funciona según el ciclo ilustrado en la figura 2.8. La preforma se produce en este proceso mediante una extrusora; cuando sale la preforma o tubo del dado y desarrolla una longitud predeterminada, un molde de cavidad partido se cierra alrededor y pinza un extremo. El proceso continúa como se ha descrito antes. Para inyectar el aire comprimido se emplean varios sistemas. Uno puede ser a través del dado, otro a través de una aguja de soplado sobre la que cae la preforma, o con agujas que pinchan la preforma.¹³

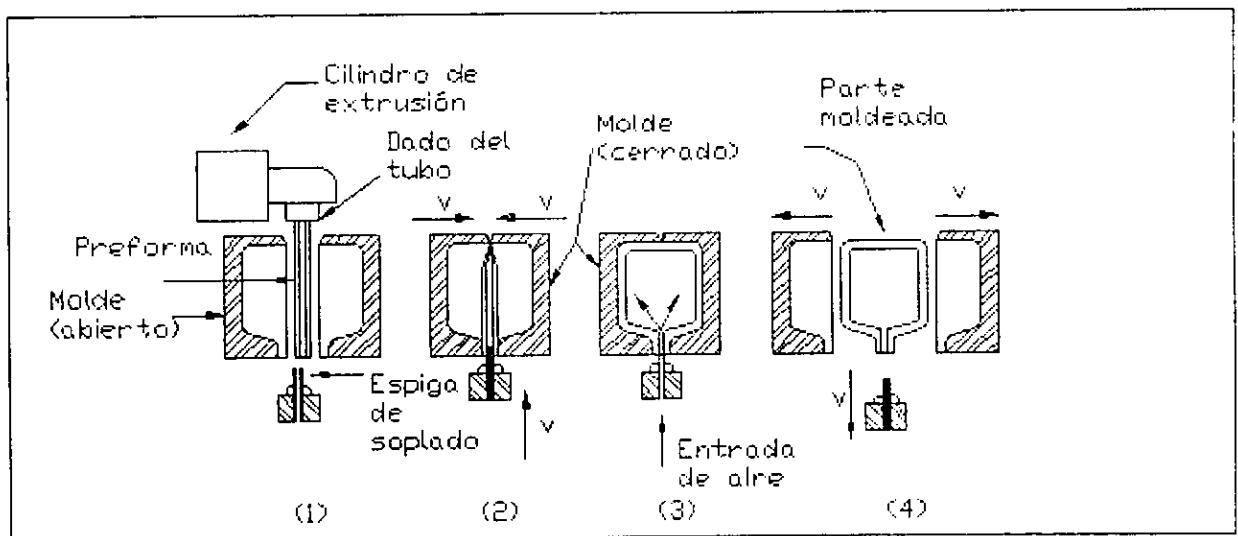


Fig.2.8 Moldeo por extrusión soplado: (1) extrusión de la preforma; (2) cuando se cierran las dos mitades del molde, la preforma se oprime en la parte superior y se sella en la parte inferior alrededor de una espiga de soplado; (3) el tubo se sopla y toma la forma de la cavidad del molde; y (4) se abre el molde para retirar la parte solidificada.

La distribución del espesor de pared se efectúa mediante la programación de la preforma, relación de soplado y configuración de la pieza. El sistema de cierre varía en función de éstu.

¹³ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. Enciclopedia del plástico



pudiendo ser en "L", que tiene la línea de partición a 90 respecto al eje de extrusión, en "T" en línea con el mismo o en sobrepunte, cerrándose los moldes hidráulicamente.

En la mayoría de los casos el proceso se diseña como una operación de producción a muy alta velocidad, la secuencia está automatizada y usualmente integrada con operaciones posteriores como el llenado de los envases y el etiquetado.

2.3.4.2 Inyección-Soplado.

El proceso de moldeo por inyección soplado se ilustra en la figura 2.9. Este proceso se efectúa en tres etapas. En la primera se inyecta el fundido en un molde para producir la preforma, que tiene el aspecto de un tubo de ensayo con la boca roscada, la cual será parte del acabado final y precisa una tolerancia estricta. La preforma se transfiere mediante un eje que la traslada al molde de soplado, donde toma la forma por soplado de aire y se enfría en contacto con la pared fría del molde, habitualmente de aluminio. En la tercera etapa, el eje del sistema transporta la pieza moldeada a la zona de extracción. Algunas máquinas tienen una cuarta etapa, que se utiliza para acondicionar térmicamente la preforma antes del soplado, u otra etapa antes de la extracción para operaciones secundarias como estampado en caliente o etiquetado. Cuando se trata de grandes volúmenes, el ciclo lo determina el tiempo necesario para inyectar la preforma. Este proceso se utiliza para fabricar contenedores que tengan tolerancias estrictas, cuellos roscados, aberturas de boca grandes, mangos sólidos y formas muy estilizadas, caracterizándose por una buena distribución del material, sin precisar acabado o recortes adicionales.¹⁴

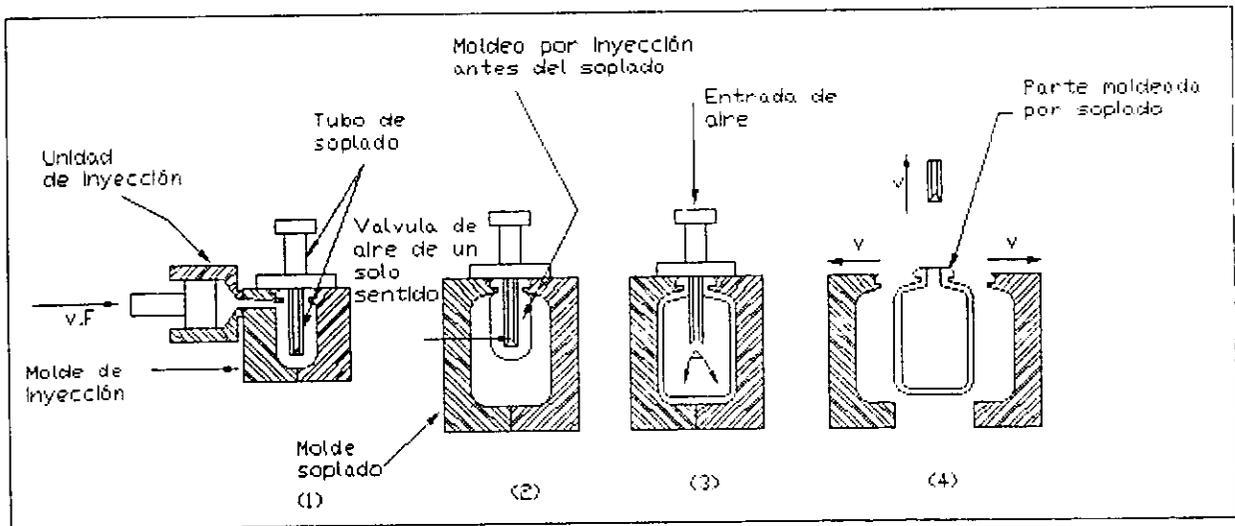


Fig.2.9 Moldeo por inyección soplado: (1) la preforma se moldea por inyección alrededor de un tubo de soplado; (2) se abre el molde de inyección y la preforma se transfiere a un molde de soplado; (3) el polímero suave se infla para que tome la forma del molde de soplado y (4) se abre el molde y se retira la pieza.¹⁵

¹⁴ Fermín Capella. "Moldeo por soplado equipos y accesorios"

¹⁵ Mikell P. Groover. Fundamentos de manufactura moderna



El moldeo por soplado se limita a los termoplásticos, el polímero más común para moldeo por soplado es el polietileno, en particular, el de alta densidad y alto peso molecular, PEAD y PEAPM. Se hacen otras piezas por soplado de polipropileno (PP), cloruro de polivinilo (PVC) y tereftalato de polietileno (PET). Los envases desechables para almacenar líquidos de consumo constituyen la mayor parte de los productos hechos por soplado. También se fabrican grandes tambores para embarcar líquidos y polvos (cuya capacidad alcanza los 55 galones), grandes tanques de almacenamiento (con capacidad para 2000 galones), tanques para gasolina de automóviles, juguetes y cascos para veleros y botes pequeños.

2.3.5 Moldeo rotacional o rotomoldeo.¹⁶

El moldeo rotacional (también llamado rotomoldeo) usa la gravedad dentro de un molde giratorio para hacer formas huecas. Es un moldeo alternativo del soplado para hacer formas huecas grandes, se usa principalmente para polímeros termoplásticos, aunque las aplicaciones para los termofijos y elastómeros se han hecho más comunes. El rotomoldeo se adapta mejor a formas externas más complejas, partes más grandes y cantidades de producción más bajas que el moldeo por soplado.

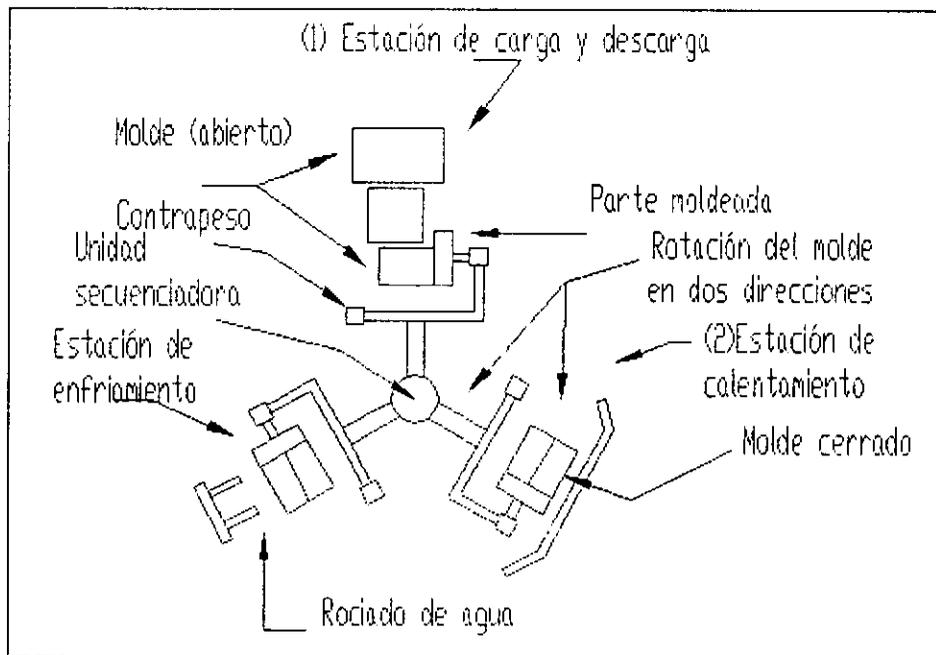


Fig.2.10 Ciclo de moldeo rotacional realizado en una máquina secuenciadora de tres estaciones: (1) estación de carga y descarga, (2) calentamiento y rotación del molde y (3) enfriamiento del molde.

El moldeo rotacional (fig. 2.10) consiste en los siguientes pasos: 1) se introduce una cantidad predeterminada de polvo de polímero en la cavidad de un molde hendido; 2) el molde se calienta

¹⁶ Mikell P. Groover. Fundamentos de manufactura moderna



y gira simultáneamente sobre dos ejes perpendiculares, de manera que el polvo choca contra todas las superficies internas del molde y forma gradualmente una capa fundida de espesor uniforme; 3) mientras esta girando todavía, el molde se enfría de manera que la capa de plástico se solidifica; 4) se abre el molde y se retira la parte. Las velocidades de rotación que se usan en el proceso son relativamente bajas. Es la gravedad más no la fuerza centrífuga, la que provoca un recubrimiento uniforme de las superficies del molde.

2.3.6 Termoformado.¹⁷

El termoformado es un proceso en el cual se usa una lámina plana de material termoplástico para darle la forma deseada, el proceso se usa ampliamente en el empaque de productos de consumo. El termoformado consta de dos pasos principales: calentamiento y formado. El calentamiento se realiza generalmente mediante radiadores eléctricos en uno o ambos lados de la lámina de plástico inicial, a una distancia aproximada de 5 pulg (125 mm). La duración del ciclo de calentamiento necesita ser suficiente para ablandar la lámina, dependiendo del polímero, su espesor y su color.

El termoformado es un proceso secundario, el proceso primario es el que produce la lámina o película. Solamente se pueden termofomar los termoplásticos, ya que las láminas extruidas de polímeros termofijos o elastómeros están encadenados transversalmente y no pueden ablandarse por recalentamiento. Los plásticos termoformados comunes son el poliestireno, el acetato de celulosa y el acetato butirato de celulosa, ABS, PVC, el acrílico (polimetil meta acrilato), el polietileno y el polipropileno.

Las aplicaciones de los termoformados incluyen partes grandes que pueden ser producidas de láminas más gruesas. Algunos ejemplos incluyen cubiertas o protecciones para máquinas, cascos de bote, casetas para regaderas, difusores para luz, anuncios luminosos y señales, tinas y ciertos juguetes.

El sistema más simple es el que se aplica para el estirado de una lámina en estado semiplástico sobre un molde. A medida que la lámina toca con la superficie del molde, el estirado se detiene, por lo general las partes de la lámina que tocan el molde son más delgadas. Éste es el procedimiento más usado en envases de tipo blister y en embalajes de tipo burbuja.

Si se precisa un grado elevado de estirado o se utiliza chapa gruesa no es posible usar el sistema anterior. Existen otros métodos que realizan el conformado en una sola etapa: termoformado al vacío, termoformado a presión y termoformado mecánico. El principal inconveniente de estos métodos es la dificultad para controlar el espesor en piezas complejas que presenten cantos con radios reducidos o una profundidad de embutido grande, especialmente cuando se conforman láminas de un espesor importante. Por ello se han desarrollado métodos con más de un paso, siendo habitualmente el primero una forma de estiramiento de la lámina.¹⁸

¹⁷ Mikell P. Groover. Fundamentos de manufactura moderna

¹⁸ Fermín Capella. "Termoformado: procedimientos, maquinaria y materiales"



1. **Termoformado al vacío:** El método más antiguo es el termoformado al vacío (llamado formado al vacío en sus inicios, en los años cincuenta) en el que se usa presión negativa para adherir la lámina precalentada dentro la cavidad del molde. El espesor de la pieza es mayor en los bordes y mínimo en los cantos de la parte inferior. El proceso se explica en la figura 2.11. Los agujeros para hacer el vacío en el molde son del orden de 1/32 de pulgada (0.8mm) de diámetro, así sus efectos en la superficie del plástico son menores.

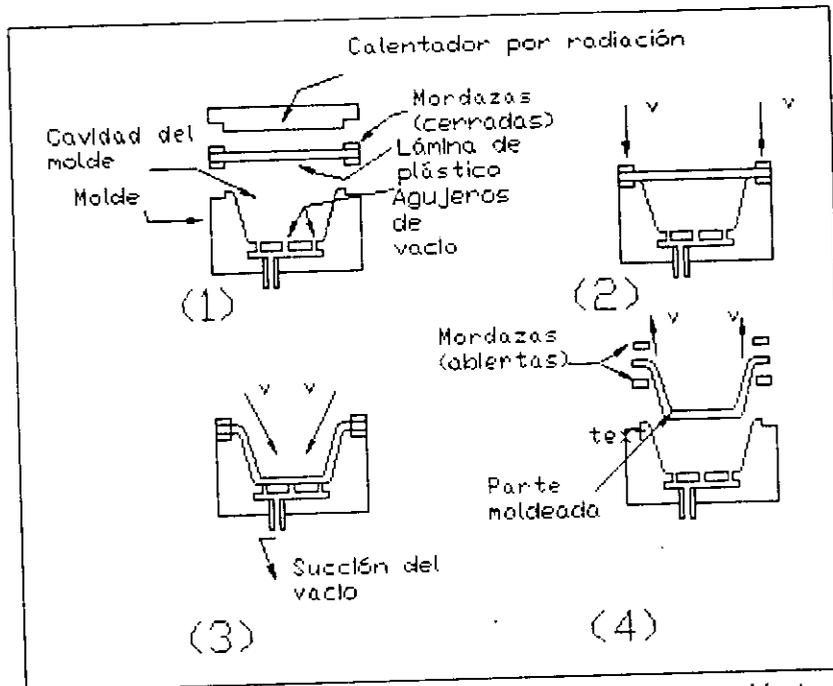


Fig.2.11 Termoformado al vacío: (1) se suaviza una lámina plana de plástico por calentamiento; (2) se coloca sobre la cavidad de un molde cóncavo; (3) el vacío atrae la lámina hacia la cavidad, y (4) el plástico se endurece al contacto con la superficie fría del molde, la parte se retira y luego se recorta la hoja.

2. **Termoformado a presión:** Una alternativa del formado al vacío involucra presión positiva para forzar al plástico caliente dentro de la cavidad del molde. Esto se llama termoformado a presión o formado por soplado, su ventaja sobre el formado al vacío radica en que se pueden desarrollar presiones más altas, ya que en el método anterior este parámetro se limita a un máximo teórico de una atmósfera. Son comunes las presiones de formado de tres a cuatro atmósferas. Este procedimiento se utiliza para conformar lámina de pequeño calibre y de materiales como el PP, que se suministran en rollo, o para transformar lámina de gran espesor en piezas con detalle superficial fino. La secuencia del proceso es similar a la anterior, la diferencia es que la lámina se presiona desde arriba hacia la cavidad del molde (sobre la lámina se aplica aire comprimido hasta 1.4 MPa, por lo que el sistema precisa de una cámara cerrada superior). Los agujeros de ventilación en el molde dejan salir aire atrapado. La parte del formado de la secuencia se ilustra en la figura 2.12.

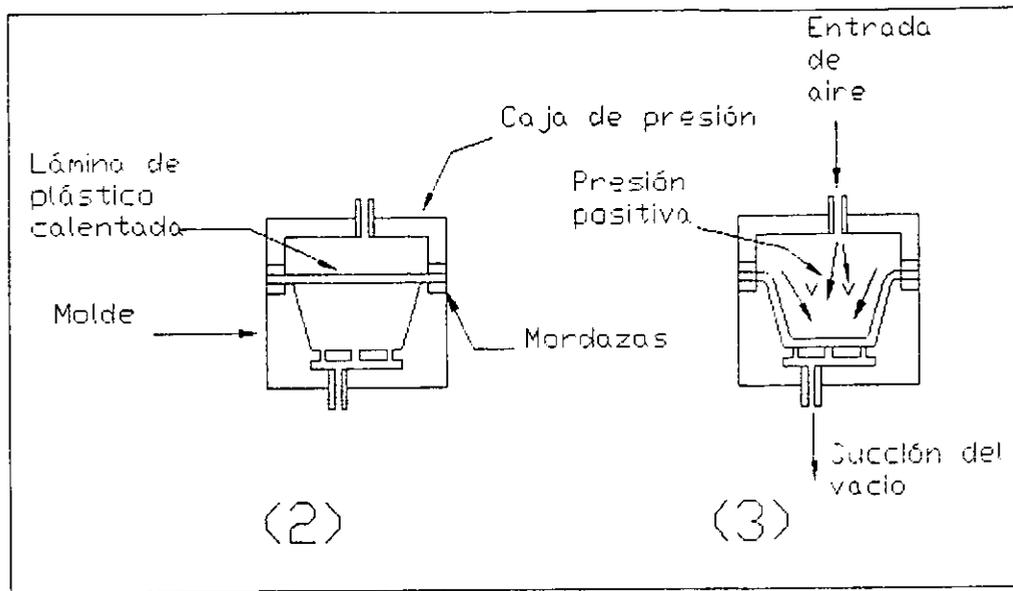


Fig.2.12 Termoformado a presión. La secuencia es similar a la figura 2.11; la diferencia está en (2), la lámina se coloca sobre una cavidad del molde y en (3) la presión positiva fuerza a la lámina dentro de la cavidad.

3. **Termoformado mecánico:** Usa un par de moldes (positivo y negativo) que se aplican sobre una lámina u hoja de plástico caliente, forzándola a asumir su forma. En el método de formado mecánico puro no se usa vacío ni presión de aire. El proceso se ilustra en la figura 2.13. Sus ventajas son un mejor control dimensional y la posibilidad de detallar la superficie en ambos lados de la pieza. La desventaja es que se requieren las dos mitades del molde, por tanto los moldes para los otros dos métodos son menos costosos.

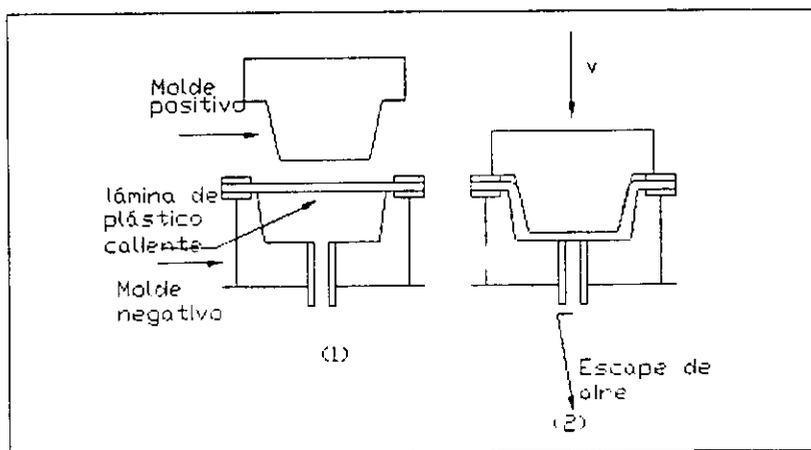


Fig.2.13 Termoformado mecánico: (1) la lámina caliente de plástico se coloca sobre el molde negativo y (2) se cierra el molde para conformar la lámina.



2.3.7 Extrusión.

El proceso de extrusión es un método muy antiguo en la escala industrial que se utilizó desde comienzos del siglo XIX. La operación o procedimiento de extrusión es la acción de forzar, por medio de presión, a un plástico o material fundido a pasar a través de un orificio de conformado denominado dado ó boquilla.

Este procedimiento se ha utilizado durante muchos años para metales, como el aluminio, que fluyen plásticamente cuando se someten a una presión de deformación. En cuanto a materiales plásticos, se utiliza tanto para termoplásticos como para elastómeros y termoestables.

La palabra "extrusión" proviene de dos vocablos latinos (*éx*) y (*strudere*) que significan, respectivamente:

Éx  Fuerza, Acción

Strudere  Empuje

Se puede definir que la extrusión es el proceso de obtención de producto con longitud ilimitada y sección transversal constante, conformando el material al obligarlo a pasar a través de una boquilla (dado) bajo condiciones controladas.

El equipo debe ser capaz de proveer suficiente presión sobre el material en forma continua y uniforme y, en algunos casos, también debe contar con medios para ablandar o acondicionar en alguna forma al material para que éste sea extruible con facilidad. El material debe ser tal que una vez acondicionado en forma adecuada, fluirá bajo presión y solidificará cuando estas condiciones se eliminen, o bien, se puede hacer que solidifique como resultado de algún cambio químico que se pueda efectuar en forma continua.

Entre las aplicaciones principales de la extrusión está la granulación de materiales termoplásticos, la obtención de revestimientos delgados en papel, tela, cartón, para formar la envoltura aislante de alambre, cables eléctricos, también en la fabricación de películas plásticas, láminas, mangueras, tubos, artículos laminados de materiales con y sin sustancias de relleno, espumosos y no espumosos. Se emplean estos procesos también para coloración, deshidratación, mezclado, plastificación simple y química de termoplásticos y materiales plásticos reactivos.¹⁹

En la extrusión comercial hay tres tipos generales de mecanismo que se usan comúnmente: pistón y cilindro (usados para termoplásticos con muy alta viscosidad del fundido, como lo es el PTFE), bombas de varios tipos y gusanos giratorios.

¹⁹ Morton Jones. *Procesamiento de plásticos*.



En específico para la industria de materiales plásticos es normal considerar que la técnica se divide en tres clases: "extrusión húmeda", "hilado o extrusión de fibras" y "extrusión seca".²⁰

Extrusión húmeda: en este tipo de extrusión la materia prima se acondiciona o se ablanda agregando desde antes disolventes, de tal manera que durante la extrusión se requiere muy poco o ningún ablandamiento por medio de calor. Este método tiene ciertas ventajas sobre la extrusión seca, en donde el ablandamiento se efectúa únicamente por la acción del calor y la presión, como es el caso del nitrato de celulosa, el cual es altamente inflamable y peligroso cuando se sobrecalienta, es conveniente que todas las operaciones se lleven a cabo en condiciones húmedas a temperaturas relativamente bajas y con un mínimo de efectos de fricción y trabajo de compresión.

El proceso húmedo, debido a la acción de ablandamiento y maduración de los disolventes, puede producir un material más uniforme. Pero tiene ciertas desventajas, requiere una operación especial para la preparación de la materia prima, y los disolventes usados son con frecuencia altamente inflamables y caros. El producto terminado no puede ser dimensionalmente estable hasta que se hayan eliminado todas las huellas de disolventes y con frecuencia esto toma un largo tiempo, especialmente en secciones gruesas.

Hilado o Extrusión de fibras: este tipo de extrusión se utiliza para materiales de baja viscosidad, como soluciones y algunos materiales fundidos, que se pueden trabajar a presiones comparativamente bajas. En este tipo de extrusión se utiliza para monofilamentos de la celulosa regenerada, acetato de celulosa, nylon y otros material sintéticos que forman fibra.

Este tipo de dado especial contiene un número muy grande de orificios muy finos, a través de los cuales se fuerza, mediante una bomba, el material filtrado que forma la fibra. La extrusión normalmente se efectúa hacia abajo, y los monofilamentos, que inicialmente están en la forma de chorros finos de líquido, se solidifican de varias maneras, dependiendo de los requisitos del material.

Extrusión seca: en este tipo de extrusión se usa el calor por sí solo para ablandar el material. Se puede utilizar una prensa de pistón en la que se precalienta separadamente hasta el grado requerido antes de entrar a la prensa, o bien, se puede forzar por medio de un pistón a través de una cámara especial de calentamiento, como en la máquina de moldeo por inyección de tipo de pistón.

Este tipo de extrusión es el más importante y el más utilizado en la industria del plástico con el método de extrusión seca usando un mecanismo de gusano, en el que el material entra frío y se ablanda por calentamiento, siendo compactado a presión al mismo tiempo por un gusano.

²⁰ Edward Muccio. Plastic processing technology.



2.3.7.1 Extrusión con gusano.

La máquina de extrusión con gusano consiste fundamentalmente en un gusano de forma especial que gira en un barril o cilindro calentado, en el que se encuentra una abertura de alimentación radial o tangencial en un extremo, y un orificio axial o dado, en el otro.²¹

Algunas veces se coloca entre el final del gusano y el dado una restricción del tipo de una placa quebradora y una malla, con objeto de ayudar a formar un gradiente de presión a lo largo del gusano.

Usualmente el gusano lleva un conducto a todo lo largo o en parte de su longitud, de tal manera que puede ser enfriado o calentado con un fluido de acuerdo con los requerimientos del material alimentado.

La extrusión con gusano se puede efectuar tanto por mecanismos de un sólo gusano como por mecanismos múltiples, sin embargo, los principios básicos son los mismos en los dos tipos.

El gusano o también llamado tornillo giratorio toma el material que comúnmente se encuentra en forma de virutas, polvos, pellet o cubos, desde el extremo de alimentación (tolva), lo lleva a través de las zonas calentadas del barril y lo compacta contra la placa quebradora u otra restricción, de tal manera que se desarrolla una presión.²²

Hasta esta etapa, se puede suponer que la máquina funciona en virtud de la diferencial de fricción entre el gusano y el material, contra la diferencial entre el material y el diámetro del barril, siendo este último mayor.

Este tipo de mecanismo presenta grandes ventajas, ya que el material se calienta de manera uniforme en un sistema cerrado y el proceso es continuo. La acción del tornillo produce un mezclado vigoroso y el sistema es en cierto grado autocompensante, ya que el calor debido a la fricción interna disminuye con la viscosidad de la masa fundida.

2.3.8 Método típico de extrusión.²³

El dispositivo fundamental de trabajo de una extrusora se presenta en la forma de husillo, piston o disco.

El diámetro del husillo, la relación de su longitud/diámetro (L:D) y su velocidad de giro son los parámetros principales de una extrusora de husillo.

²¹ Edward Muccio. *Plastic processing technology*.

²² Nicolás Anklam. *Compendio de la técnica de los plásticos*

²³ Edward Muccio. *Plastic processing technology*



Por otro lado, suelen encontrarse extrusoras de uno o varios husillos, de una o varias etapas y de uno o varios cilindros. Se distinguen también por el perfil o configuración del husillo, que puede ser simple (husillo cilíndrico de paso y profundidad del canal fijos o variables) y complejo (escalonado, interrumpido, cónico, parabólico), con paletas formando espiral, de levas, etc.

En lo que se refiere a la velocidad de giro del husillo, se distinguen en extrusoras normales (hasta de 150 rpm) y rápidas (de más de 150 rpm), las cuales trabajan generalmente a régimen adiabático, más exactamente, a régimen autotérmico.

Por lo que respecta a la regulación y mantenimiento de la temperatura establecida en el cilindro de la máquina, se distinguen las extrusoras con refrigeración por aire, agua y combinadas.

Con relación a la disposición, pueden ser máquinas verticales y horizontales, estacionarias y giratorias. Además de las universales se construyen también máquinas autotérmicas, cónicas especiales, combinadas, de laboratorio y otras. Su estructura depende principalmente del material que se va a transformar. Para la transformación de termoplásticos granulados, comúnmente, se utilizan extrusoras de un husillo.

2.3.8.1 Equipo convencional.²⁴

Las extrusoras son máquinas que se utilizan con más frecuencia para mezclar, plastificar, granular materiales, fabricar películas, láminas, tubos y artículos de configuración compleja, y también para revestir telas y papel.

En una extrusora de husillo simple el termoplástico atraviesa tres estados físicos: sólido, conglomerado del material sólido con la masa caliente y finalmente se transforma en masa fundida.

Existen numerosos tipos y marcas de estas máquinas, que difieren entre sí por las características y forma constructiva, a saber: clase de material a transformar, configuración del artículo, diámetro y longitud del husillo, tipo de accionamiento, gama y procedimiento de regular las velocidades de giro del husillo, potencia total y específica de calentamiento del cilindro y procedimiento automático de regulación de la temperatura dada y existencia de dispositivos de carga.

Una extrusora suele clasificarse, en primer orden, por el diámetro y longitud de su husillo. Donde la relación longitud/diámetro se representa como (L:D). En la actualidad se construyen una serie completa de máquinas para la transformación de plásticos, con husillos de 20, 40, 45, 60, 90, 125 y 160 mm de diámetro como las más comunes encontradas en el mercado y longitudes óptimas del husillo para alcanzar una relación $L:D = 20:1$.

²⁴ V. K. Savgorodny. Transformación de plásticos.



En la figura 2.14 se aprecia una extrusora típica de un sólo elemento, siendo sus principales partes:

1. Motor: montado en la parte inferior de la máquina, transmite el movimiento de giro.
2. Reductor: elemento que coordina el movimiento mecánico que le transmite el motor, puede ser por banda o sistema de engranes.
3. Husillo o tornillo: su principal objetivo es guiar el material que se alimenta y conseguir la homogenización de éste.
4. Tolva: recipiente que contiene una cierta cantidad de material (gránulos, pellets, polvo, cinta o masa caliente).
5. Cilindro o cañón: aloja en su interior al husillo y está dividido en varias zonas autónomas donde la temperatura se controla y regula automáticamente.
6. Calentadores: cada una de estas zonas va conectada independientemente a los sistemas de calentamiento.
7. Ventiladores: se encargan de refrigerar las zonas calientes del cilindro, para evitar sobrecalentamientos que provoquen degradación del material.
8. Cojinete: se encuentra en el extremo izquierdo del husillo y su función es soportar los esfuerzos axiales que surgen al girar el husillo.
9. Porta bridas: se localiza en la parte derecha del cilindro, se utiliza para sujetar el dado y cambia mallas.
10. Estructura: es el esqueleto que conforma la máquina.
11. Dado: se encarga de darle forma al material plastificado.
12. Pellets o gránulos de material: m09656790'¿'09'8aterial para procesar.

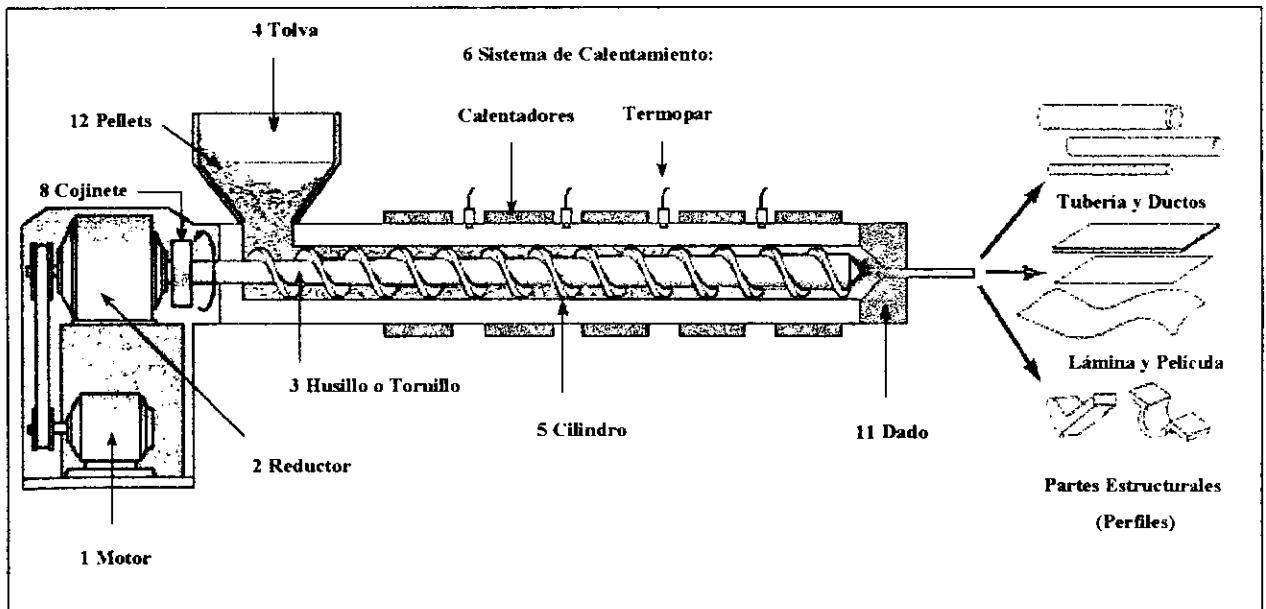


Fig. 2.14 Extrusora típica.²⁵

²⁵ Enciclopedia Británica. "Extrusion".



2.3.8.2 Equipos múltiples.

Las extrusoras de equipos múltiples son equipos más complejos que las anteriores, pero es claro que éstas ofrecen mayores cualidades tecnológicas: tienen mayores ventajas de producción y son mejor aceptadas en el mercado por su capacidad de aplicación. Sin embargo, son constructivamente más complicadas y de un mayor costo de adquisición y de mantenimiento. Un ejemplo muy claro es una extrusora de 3 capas (coextrusión) como la que se muestra en la figura 2.15.

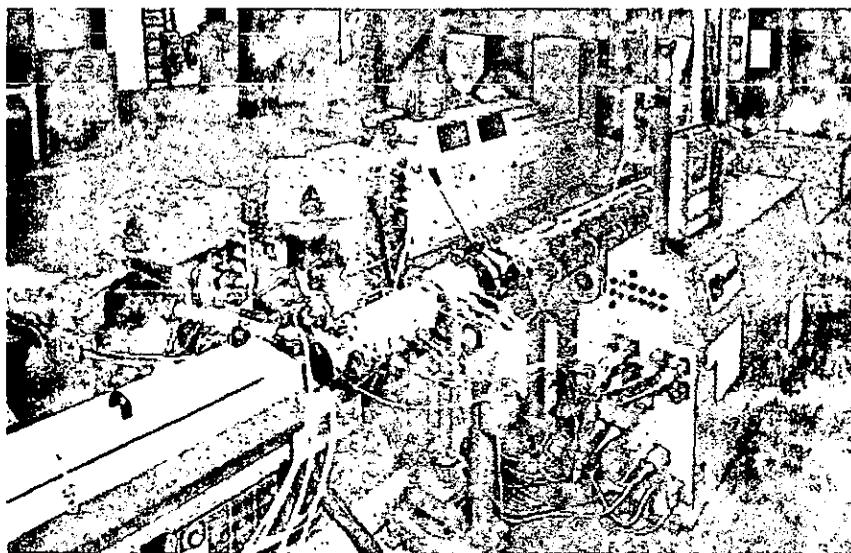


Fig. 2.15 Extrusora de tres capas (coextrusión).²⁶

Son ideales para trabajos de gran producción donde debe obtenerse un mezclado completo del compuesto del moldeo y una excelente granulación de los materiales termoplásticos, ofrece un excelente coloreado uniforme en la dispersión de los pigmentos; la eliminación justa de la humedad y monómeros del material durante su transformación.

En la zona de carga se tiene mayor capacidad, se pueden utilizar materiales de polvos muy finos y asegurar un llenado completo del cilindro. A consecuencia de la agitación tridireccional del material se observa mayor intercambio térmico y un mezclado más intenso. Por otro lado, estas máquinas aseguran una eliminación más completa de los elementos volátiles, debido a la fuerte agitación del material que obligan a las partículas interiores a salir a la superficie.

Existen numerosos tipos y marcas de extrusoras de husillos múltiples que difieren entre sí por el número de husillos, posición mutua, sentido de giro, tipo de acoplamiento, procedimiento empleado para alcanzar el grado de presión necesario, geometría de los husillos, cilindros, etc. Cuando los husillos giran en el mismo sentido, el fileteado es igual y cuando giran en sentido contrario el fileteado es opuesto. Por la posición mutua de los husillos se distinguen en máquinas

²⁶ Fermín Capella. "Maquinaria de extrusión".



con husillos engranados y sin engranar. Una propiedad de estas máquinas es la disposición de varios husillos en un mismo canal del cilindro. Cuando varios husillos están montados en diferentes canales de uno o varios cilindros, la máquina se considera de un husillo y generalmente se denominan máquinas dobles, triples, etc.²⁷

2.4 Proceso de transformación aplicado a la fabricación de bolsa y tubo médico.

Como se mencionó anteriormente el cloruro de polivinilo (PVC) es un plástico versátil que puede satisfacer una amplia gama de funcionamiento, seguridad, rendimiento y costos de producto. Este material ha sido ampliamente aceptado para el uso en productos médicos flexibles, y muchos productos hechos de él han pasado pruebas críticas toxicológicas, biológicas y fisiológicas. Por lo tanto, una de las principales cualidades del PVC es que proporciona una amplia variedad de características de desempeño funcional a un costo bajo.

Por otra parte, un polímero puede procesarse de muchas maneras hasta lograr un conjunto deseado de características funcionales. Por esta razón, no pueden reflejarse las características del material base en el desempeño del producto terminado. En realidad, el rendimiento refleja la influencia combinada de material, diseño y proceso. De aquí la importancia de considerar la habilidad de un material de ser procesado, es decir, la habilidad de un material de ser extruido, moldeado, unido, sellado, ensamblado, esterilizado, etc.

La extrusión es una técnica importante en la transformación del PVC debido principalmente a su versatilidad, ya que con la extrusión se pueden fabricar artículos como perfiles, tubos, películas y hojas de las más diversas formas y tamaños.

El tubo flexible de PVC se produce por el método de extrusión de perfil tubular. En el caso de la película flexible de PVC se puede producir tanto por el método de extrusión de película soplada como por el de extrusión de película plana.

En la producción de película colada por el proceso de chill-roll, el fundido es extruido a través de un dado plano sobre el cilindro de enfriamiento (chill-roll), y el espesor deseado es obtenido variando la velocidad del cilindro de enfriamiento. El fundido emerge del dado alcanzando la superficie cromada del cilindro de enfriamiento, el cual es llevado en la dirección de rotación. El punto importante es el tangente, formado por el flujo de fundido y la superficie del cilindro. La superficie cromada del primer cilindro puede proporcionar un efecto de pulido a la película.

En el proceso de película colada, muchas extrusoras utilizan dos, algunas tres o más cilindros de enfriamiento. A altas velocidades de jalado, el aire puede ser atrapado fácilmente entre la membrana de fundido y la superficie del cilindro provocando irregularidades en la superficie de la película. Enseguida unos rodillos jalan la película y otros rodillos guadores la llevan al sistema de embobinado. En este proceso la película resultante tiene las orillas más gruesas, por lo que éstas se cortan después de los rodillos de tiraje.

²⁷ V.K. Savgorodny. Transformación de plásticos.



La película producida por el proceso de chill-roll tiene mejores propiedades ópticas (claridad y brillo) que la película soplada. Puede ser producida a velocidades más elevadas y dentro de tolerancias más cerradas. Pero el método de producción no permite una orientación transversal, consecuentemente, la película por chill-roll tiene menor resistencia en la dirección transversal.²⁸ La biorientación puede ser lograda por una unidad de estiraje consistente de una serie de rodillos para una orientación longitudinal y una serie de rodillos laterales para obtener la orientación en dirección transversal. Además la película plana produce un mayor índice de desechos.

Las películas planas son usadas en una gran variedad de aplicaciones incluyendo películas estirables, películas para productos de higiene personal, películas para repostería y películas de alta claridad. La coextrusión es una tecnología de procesos en crecimiento que puede brindar propiedades funcionales, protectoras y decorativas adicionales.

En la extrusión de película soplada, el dado tubular consta principalmente de un cuerpo interior, o corazón y de uno exterior, dejando entre ambos, por diferencia de diámetros, un conducto anular por donde sale el material fundido en forma de un tubo que se infla con aire que se inyecta desde el exterior. Este material fundido se enfría con aire que se reparte uniformemente alrededor por medio de un anillo distribuidor. La burbuja así formada es tirada por unos rodillos en la parte superior de una estructura (torre de película) previo aplastamiento mediante unas placas o cortinas en ángulo. Por medio de rodillos guidores se baja este material ya plano a un sistema donde se embobina.

Algunas ventajas de la película soplada son:²⁹

- La adaptabilidad de los sistemas para producir tubo en una simple operación.
- La facilidad de cambiar el ancho y calibre de película controlando el volumen de aire en la burbuja y las rpm del tornillo.
- La eliminación de efectos finales resultado de la extrusión con dado plano (ejemplo, corte de orillas, temperatura no uniforme).
- La capacidad de orientación biaxial.

El proceso de película soplada se utiliza para producir una variedad de productos: desde películas monocapa para carteras hasta complejas estructuras multicapa utilizadas para el envasado de alimentos.

²⁸ Basf. Film extrusion.

²⁹ Concise encyclopedia of polymer. "Extrusion".



CAPÍTULO III

EQUIPO DE EXTRUSIÓN Y ACCESORIOS.

3.1 Descripción del equipo.

La siguiente tabla contiene los elementos básicos que integran una máquina extrusora (fig. 3.1).

ELEMENTOS QUE INTEGRAN UNA EXTRUSORA CONVENCIONAL	
1	Husillo
2	Cilindro o Cañón
3	Tolva
4	Equipos de Calentamiento
5	Equipos de Enfriamiento
6	Transmisión de la Máquina
7	Controladores Eléctricos

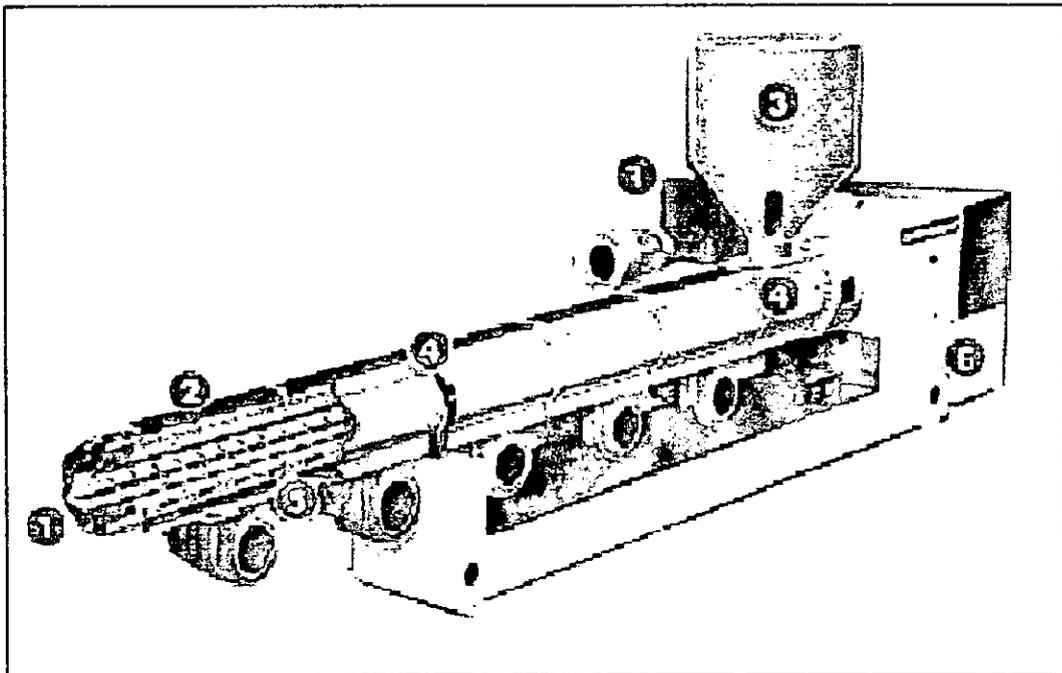


Fig. 3.1 Elementos de una máquina extrusora.¹

¹ Para mayor información consultar la pág. Web de Reifenhauer GmbH & Co.



La extrusión es un proceso continuo que consiste en forzar al material plastificado a través de un orificio de conformado, denominado dado, para formar productos tales como tubos, perfiles, filamentos y películas.

La extrusora de plastificación tiene tres funciones básicas:²

- Extraer el material en gránulos del sistema de alimentación y conducirlo al tiempo que lo comprime, y a veces, desgasifica.
- Mezclar y producir un fundido homogéneo.
- Desarrollar la presión suficiente para superar la resistencia al flujo del dado, de modo que el extruido emerja del dado de forma continua.

3.2 Husillo o Tornillo.

El husillo o tornillo, como se le conoce con más frecuencia, es el elemento principal de una máquina extrusora, y se encarga de transportar el material a lo largo del cilindro, desde la zona de alimentación, que está siendo constantemente alimentada por la tolva de almacenamiento, hasta la zona de dosificación para lograr su salida por medio de una boquilla o dado. En el tiempo de transporte, el material se funde, y al salir debe tener una velocidad uniforme y un estado fundido y homogéneo.

La disgregación del material dentro de la máquina de extrusión se realiza mediante tres estados distintos, cuyas transiciones no pueden delimitarse con nitidez a causa de la estructura del material, que al ser suministrado se encuentra en estado sólido y al calentarse alcanza su temperatura de reblandecimiento. Éste se considera como estado termoplástico o polímero fundido, que se caracteriza por una reducción en las fuerzas de cohesión intermoleculares. Al aumentar la influencia térmica, la flexibilidad también aumenta hasta lograr que el material sea un fluido viscoso y su desplazamiento pueda darse.³

En la actualidad existen diferentes diseños de Husillos para extrusión. Existen extrusoras de un solo husillo y de husillos múltiples, sin embargo, en el presente trabajo sólo se contempla el caso de un husillo. El cuerpo del husillo puede dividirse en tres zonas principales (fig. 3.2):

- Zona de Alimentación
- Zona de Dosificación
- Zona de Compresión

Zona de Alimentación: en el cañón de la máquina el material es suministrado a través de la tolva de alimentación, generalmente, el plástico se introduce en forma de pequeños gránulos o polvo que al caer al tornillo, tiende a girar ocasionándose una fricción con las paredes del cilindro que permite el transporte del mismo.

² Fermín Capella. "Maquinaria de extrusión"

³ Ramón Anguita Delgado. *Extrusión de Plásticos*



Es necesario que el tornillo mantenga una adecuada proporción con el cilindro para que el material pase libremente sin tener problemas de flujo o de degradación.

La zona de alimentación cuenta con un cierto número de hilos que dependen principalmente de la longitud del tornillo y del tipo de material que se va a procesar. Generalmente, en los diseños de esta zona, el núcleo presenta un diámetro constante. La velocidad con la que el material pasa a través de la zona de alimentación depende principalmente del tipo de material que se procesa, de la fricción registrada en el cilindro y del diseño del tornillo.

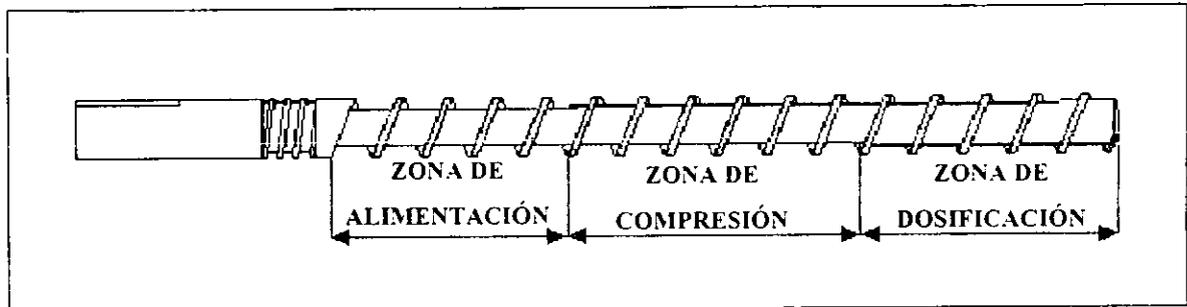


Fig. 3.2 Diagrama del cuerpo del tornillo.⁴

Zona de compresión: es la continuación de la zona de alimentación, en esta zona el material se comprime y se funde casi en su totalidad, debido a la reducción en el área de paso.

Esta zona, así como la anterior, depende del tipo de material a procesar. Los diseños pueden presentar las siguientes formas de hilo: un doble hilo y una reducción en el tamaño del canal. La figura 3.3 muestra los diferentes diseños utilizados para la zona de compresión en un tornillo de extrusión.⁵

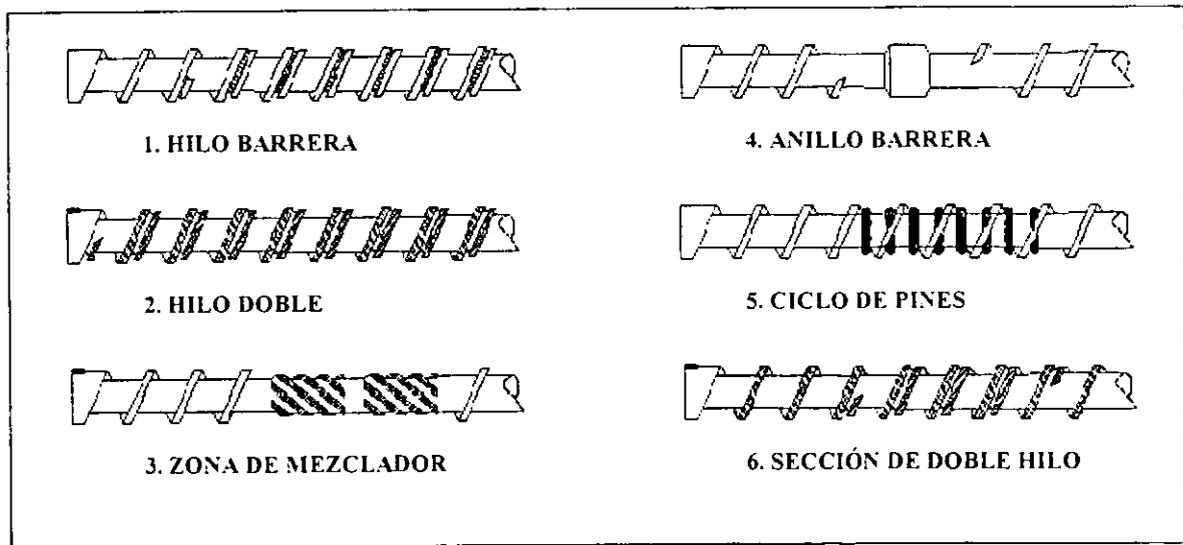


Fig. 3.3 Diferentes diseños de zonas de Compresión.

⁴ Luis Francisco Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*

⁵ Ramón Anguita Delgado. *Extrusión de Plásticos.*



Zona de dosificación: en esta zona es donde el material ya está completamente fundido. En ésta se presenta una terminación semiesférica. En esta zona es necesario un buen flujo del material y contar con la potencia necesaria para conseguirlo, por lo cual se tienen diseños tales como: punta mezcladora, punta de compresión, zona de pines, zona cónica, punta con ángulo.

El incremento en la presión se logra poniendo restricciones al flujo del material fundido, ya sea en esta zona, en el cabezal, o bien disminuyendo la temperatura del dado con el fin de aumentar la viscosidad de la masa fundida.^{6,7}

Otras variables de cambio son:

- Disminución en la profundidad del filete.
- Disminución en el ancho de la cámara del husillo.
- Reemplazo de la última parte del husillo por una cabeza mezcladora.
- Enfriamiento del husillo.

3.2.1 Proceso de transporte del material en el tornillo.⁸

En la figura 3.4 se puede apreciar el proceso de transporte del material en el tornillo, que consiste en lo siguiente: un proceso de fusión eficaz al principio, en la zona de alimentación del tornillo, pero conforme avanza, la proporción del canal ocupado por los sólidos disminuye de modo que se reduce el contacto entre los sólidos y la camisa caliente. Teniendo como resultado, que el material se encuentre intacto sin presentar zonas de fusión: conforme el material avanza se realiza un almacenamiento del material y se produce una compactación de los sólidos (ver punto 1 y 2).

En el punto 3, conforme se transporta el polímero a lo largo del tornillo se funde una delgada película en la pared del cilindro. Ésto se efectúa por lo común gracias al calor que se conduce desde los calentadores del barril, pero se debe en gran medida a la fricción; en las máquinas de alta velocidad, prácticamente todo el calentamiento proviene del esfuerzo de corte al que se somete el material fundido viscoso. Por lo común, algo de calor se genera por esta fuente y algo por los calentadores del barril de la extrusora; una relación común podría ser de 67/33, de fricción/conducción.

El tornillo desprende la película fundida al girar, el polímero se mueve desde la cara frontal del hilo hacia el núcleo y luego barre de nuevo para establecer un movimiento rotatorio enfrente del borde de conducción del hilo. Mientras, se barren otros gránulos o partes sólidas de la masa compactada del polímero hacia el "charco fundido" en formación (punto 4). En la figura se ilustra una formación de bloque fundido por la mitad del hilo del tornillo. De aquí en adelante la masa de sólidos se rompe y las partículas sólidas se funden gracias a la temperatura del material fundido que hay alrededor, representando una fuente heterogénea. Una de las funciones de la zona de dosificación es la de homogeneizar la masa de material fundido (puntos 5 y 6).

⁶ Luis Francisco Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*.

⁷ E.G. Fisher. *Extrusión de Plásticos*.

⁸ Luis Francisco Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*



fundido que hay alrededor, representando una fuente heterogénea. Una de las funciones de la zona de dosificación es la de homogeneizar la masa de material fundido (puntos 5 y 6).

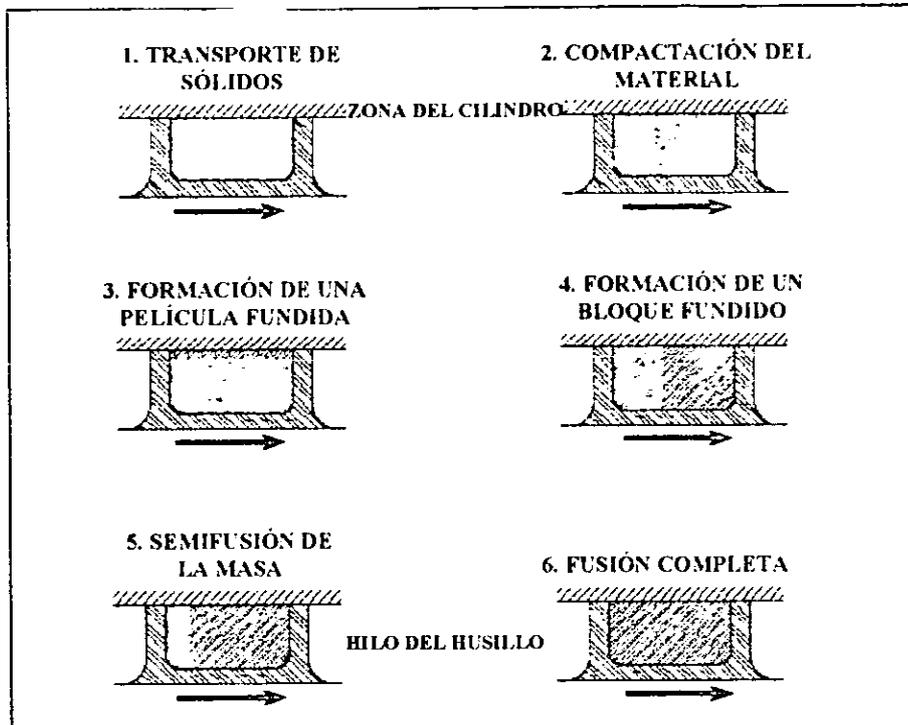


Fig. 3.4 Proceso de fusión en las zonas del tornillo.

De lo anterior, se concluye que la eficiencia de fusión depende de las diferentes características del tornillo, es decir:

- Canal más profundo: transporta más material, pero tarda más en completar la fusión.
- Operación rápida: aumenta la producción, pero los sólidos persisten a lo largo del tornillo al terminar la operación.

Un canal menos profundo puede ayudar a una operación rápida para aumentar la producción debido a una fusión más efectiva, pero el peligro está en que el esfuerzo de corte que resulta puede conducir a un sobrecalentamiento.

Una de las modificaciones para optimizar la fusión es la de tener un tornillo de hilo de barrera (fig. 3.3). Este tipo de tornillo se caracteriza por tener hilos normales y de barrera los cuales tienen diferentes ángulos de hélice. Su espacio libre dentro del cilindro es menor que el tamaño del gránulo. Al iniciarse la fusión, el polímero fundido tiene la capacidad de moverse hacia el nuevo canal y, de esa manera, quedan separados el sólido y el material fundido.

Otro aspecto importante para mejorar la fusión es el uso de dispositivos de mezcla antes de la zona de bombeo, a estos dispositivos se les llama mezcladores, que se usan en relación con el



de extrusoras (fig. 3.5). La mezcla también mejora la fusión por la simple "agitación" del material.⁹

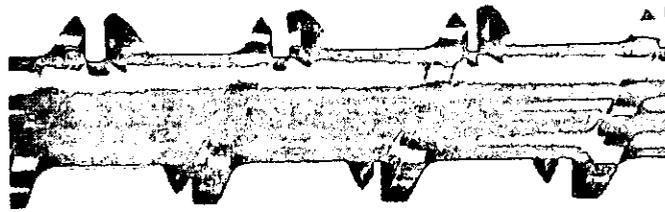


Fig. 3.5 Tornillo con zona mezclador.

Para obtener el flujo total se realiza un balance de flujo de material en el sistema tornillo-barril, teniendo así la siguiente expresión:¹⁰

$$\text{Flujo total} = \text{flujo de arrastre} - \text{flujo de presión} - \text{flujo de fuga}$$

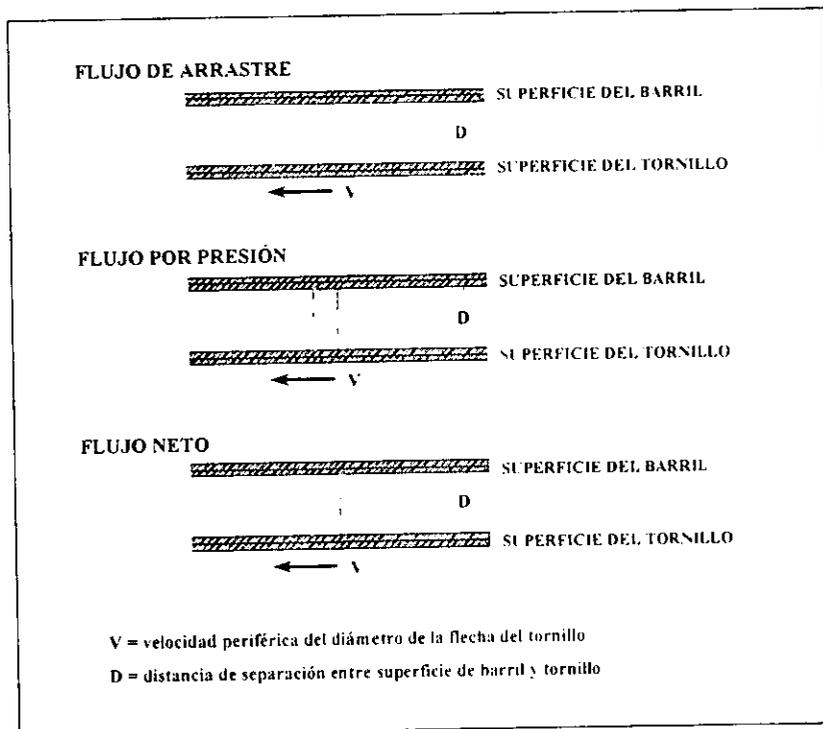


Fig. 3.5 Composición de flujos en el sistema tornillo-barril.

⁹ E.G. Fisher. *Extrusión de Plásticos*.

¹⁰ Morton Jones. *Procesamiento de plásticos*.



En la práctica existe una fricción del material tanto con el tornillo como con el cilindro, y esto conduce al mecanismo de transporte principal: el **flujo por arrastre**. Este es el arrastre del material fundido a lo largo del tornillo como resultado de las fuerzas de fricción, y es el equivalente al arrastre viscoso entre las placas estacionaria y móvil separadas por un medio viscoso (fig. 3.6). Ésto constituye la componente de transporte de la extrusora.

Por otra parte, el **flujo de presión** es producido por el gradiente de presión que hay a lo largo de la extrusora. Este flujo se opone al flujo por arrastre.

El componente final en el modelo de flujo es el **flujo de fuga**. Hay un espacio finito entre el tornillo y el cilindro a través del cual se puede fugar el material. Este es también un flujo impulsado por presión que, desde luego, también se opone al flujo de arrastre.

En consecuencia, el modelado matemático del flujo total que entrega la extrusora está determinado por una expresión particular para cada uno de los flujos presentes en el sistema tornillo-barril.

Con el objeto de comprender el flujo de arrastre que se presenta en la extrusora, primero se considerará un flujo entre un par de placas paralelas (fig. 3.7), así el flujo de arrastre (Q_d) entre placas paralelas está dado por:

$$Q_d = 0.5THV_d \quad (3.1)$$

Donde:

T=Ancho del canal.

H=Distancia de separación entre placas.

V_d =Velocidad de la placa móvil.

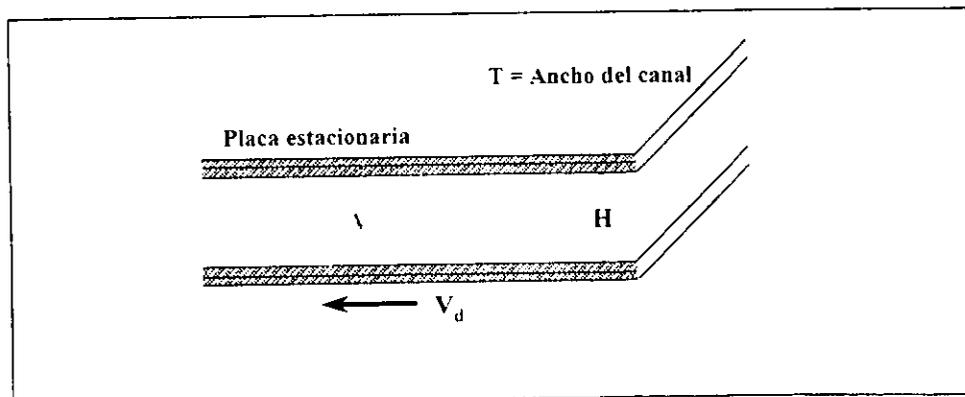


Fig. 3.7 Flujo de arrastre entre placas paralelas.



La ecuación anterior puede modificarse tratando al canal del husillo (fig. 3.8) como un canal entre placas paralelas, sólo que con disposición en espiral, donde el barril corresponde a la placa estacionaria y el husillo a la placa móvil. Dando como resultado la siguiente expresión:

$$Q_d = 0.5\pi^2 D^2 NH \text{sen}\theta \text{cos}\theta \quad (3.2)$$

Donde:

- D=Diámetro del husillo.
- N=Velocidad del husillo en rpm.
- H=Profundidad del álabe o filete.
- θ =Ángulo del álabe.

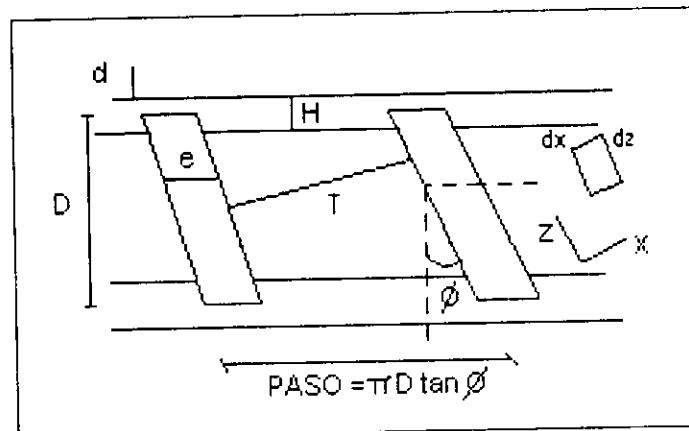


Fig. 3.8 Flujo de arrastre en un tornillo de extrusión.

Por otra parte, la ecuación para determinar el flujo de presión (Q_p) es la siguiente:

$$Q_p = -\left(\frac{\pi D H^3 \text{sen}^2 \theta}{12\eta} \right) \left(\frac{\Delta P}{L} \right) \quad (3.3)$$

Donde :

- ΔP =Presión frontal de la extrusora.
- L=Longitud de la zona de dosificación.
- η =Viscosidad del plástico fundido.

Como se puede apreciar, el flujo de arrastre depende de las dimensiones del husillo y de la velocidad del mismo, mientras que el flujo de presión, además de depender de las dimensiones del husillo, depende de la presión de salida y de la viscosidad del material fundido.



El flujo de fuga (Q_f) se calcula mediante la siguiente expresión:

$$Q_f = - \left(\frac{1}{12} \right) \left(\frac{\Delta P}{e \cos \theta} \right) \left(\frac{\pi D}{\cos \theta} \right) C^3 \quad (3.4)$$

Donde:

ΔP = Gradiente de presión.

e = Ancho del filete.

C = Claro del husillo.

Generalmente, el flujo de fuga es una cantidad muy pequeña que puede despreciarse. Sin embargo, cuando el gasto total de salida es muy bajo es necesario tomarlo en cuenta para determinar pérdidas provocadas por el desgaste del husillo.

Para encontrar el flujo neto o total se realiza un balance de flujo, obteniendo así la siguiente expresión:

Flujo total = flujo de arrastre – flujo de presión – flujo de fuga

Por lo que el gasto total (Q_t) de una extrusora está dado por:

$$Q_t = (0.5\pi^2 D^2 NH \text{ sen } \theta \text{ cos } \theta) - \left(\frac{\pi DH^3 \text{ sen } \theta \Delta P}{12\eta L} \right) \quad (3.5)$$

Para una extrusora dada, los parámetros: D , H , L y θ son constantes, por lo que la ecuación 3.5 se simplifica a:

$$Q_t = (\alpha N) - \left(\frac{\beta \Delta P}{\eta} \right) \quad (3.6)$$

Donde:

$$\alpha = 0.5\pi^2 D^2 H \text{ sen } \theta \text{ cos } \theta \quad (3.7)$$

y

$$\beta = \left(\frac{\pi d H^3 \text{ sen}^2 \theta}{12L} \right) \quad (3.8)$$



Las principales variables en la operación de la extrusora son:

- La velocidad del Husillo. N .
- La presión frontal, P (contrapresión).
- La viscosidad del material fundido, η .

La ecuación 3.6 es válida para las siguientes suposiciones:

- Condiciones isotérmicas en el extrusor.
- Fluido Newtoniano.
- Flujo de fuga despreciable.
- Espesor del álabe despreciable.

Analizando la ecuación 3.6 se puede notar que ésta representa la ecuación de una línea recta con una pendiente igual al término $(-\beta/\eta)$ y con una intersección en el eje de las ordenadas igual a (αN) . Dicha ecuación es muy útil, ya que representa la línea característica de operación del husillo.

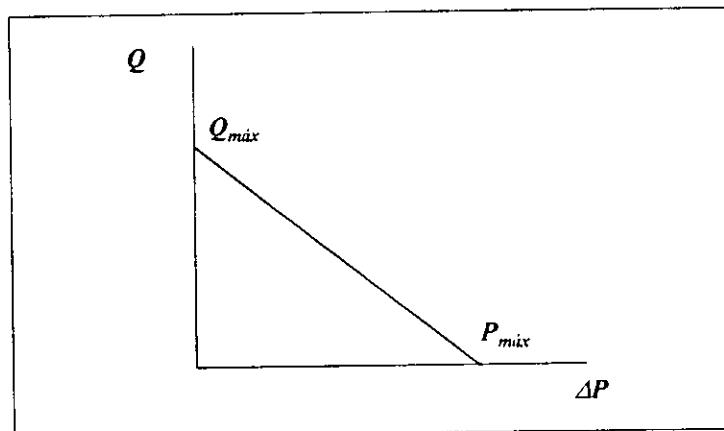


Fig. 3.9 Línea característica de operación del husillo.

Suponiendo que la máquina no tuviera restricciones a la salida, por ejemplo que no hubiera dado ni placa rompedora, la ΔP sería cero y el gasto obtenido sería el máximo:

$$Q_{max} = \alpha \Delta P \quad (3.9)$$

Y si por el contrario, la resistencia al flujo fuera máxima, el gasto tendería a cero y el flujo de arrastre se podría igualar con el flujo de presión. es decir:

$$\alpha N = \frac{\beta}{\eta} \Delta P \quad (3.10)$$

Sustituyendo los valores de alfa y beta en la ecuación 3.6 y despejando para ΔP máxima, se tiene:



$$P_{max} = \frac{6\pi DLN\eta}{H^2 \tan\theta} \quad (3.11)$$

Estos dos puntos Q_{max} y P_{max} representan los extremos de la línea característica del husillo, como se ilustra en la figura 3.9.

3.2.2 Reología del material.

El comportamiento reológico de cualquier material puede determinarse mediante la relación existente entre el esfuerzo que se le aplica y la deformación producida en él.

La reología comprende el estudio del flujo y de la deformación de los materiales. La viscosidad es la propiedad que relaciona el esfuerzo aplicado sobre un cuerpo y la deformación producida en él, por lo tanto, es la característica del material más importante de considerar.¹¹

La ley de la viscosidad de Newton, establece que el esfuerzo de corte (τ) y la velocidad de deformación ($\dot{\gamma}$) son directamente proporcionales:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Donde la constante de proporcionalidad (η) resulta ser la viscosidad del flujo.

De acuerdo con la ley de la viscosidad de Newton, los fluidos pueden clasificarse en fluidos newtonianos (cumplen con esta ley) y los fluidos no newtonianos (cuyo comportamiento difiere de esta ley).^{12,13}

1. Fluidos Newtonianos: Los fluidos newtonianos se caracterizan porque su viscosidad permanece constante, independiente del tiempo y de los esfuerzos de corte y dependiente únicamente de la temperatura.
2. Fluidos No Newtonianos: Este tipo de fluido se caracteriza porque su viscosidad no permanece constante. Se subdividen a su vez en dos diferentes grupos:
 - Fluidos dependientes del tiempo: Cuya viscosidad depende tanto del tiempo como de la velocidad de corte y de la temperatura. En estos fluidos la viscosidad cambia cuando son sometidos durante un tiempo a una esfuerzo o deformación constante.
 - Fluidos independientes del tiempo: En esta clase de fluido, como su denominación lo indica, la viscosidad es independiente del tiempo pero depende de la velocidad de deformación y de la temperatura.

¹¹ Luis Francisco Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*

¹² Robert W. Fox. *Introducción a la mecánica de fluidos*

¹³ Bruce R. Munson, Donald F. Young, Theodore H. Okishi. *Fundamentos de mecánica de fluidos.*



Los polímeros fundidos se comportan como fluidos no newtonianos y particularmente como fluidos pseudoplásticos, es decir, su viscosidad disminuye al aumentar la velocidad de deformación, los esfuerzos de corte y la temperatura. Para predecir su comportamiento al procesarlos, se debe conocer la variación que sufre su viscosidad con respecto a la velocidad de corte y a la temperatura. Esta información se obtiene determinando la viscosidad a diferentes condiciones mediante el uso de un viscosímetro o reómetro (plastómetro). Los reómetros que proporcionan mayor información son los capilares o de extrusión, puesto que someten al plástico a velocidades de corte entre 10 y 10^4 seg^{-1} , cubriendo así el intervalo de velocidad de deformación comprendidas para la extrusión e inyección de plásticos.¹⁴

En el capítulo V se presentará de forma más detallada el principio de flujo en la extrusora.

3.2.3 Hoja de inspección para un husillo.

La hoja de inspección de un husillo contiene los principales parámetros de dicho elemento y es una herramienta para realizar un análisis práctico de su estado físico. Esta hoja de inspección es de gran utilidad sobretodo cuando el husillo ha tenido desgaste por ciertos periodos de trabajo.

Esta hoja está dividida en dos partes; la primera consta de los datos generales de la máquina, seguida de algunas características básicas del husillo y en la parte final se encuentra una serie de recuadros que esquematizan los diámetros exteriores que tiene cada uno de los hilos del husillo. El proceso de llenado de la hoja es rápido y simple: por ejemplo, las mediciones de los diámetros se obtienen con la ayuda de un instrumento de medición denominado micrómetro para exteriores y el apoyo de una regla (paralela) que se coloca entre el instrumento y el hilo del tornillo, así los registros se van tomando y anotando en la hoja técnica. La segunda parte contiene un diagrama con los parámetros esenciales del husillo, así como algunas características de importancia como son: tipo de hilo y acabado superficial

La Simbología utilizada en la hoja técnica de inspección de un tornillo es la siguiente:

LT:	Longitud total del tornillo.	Ds:	Diámetro de la perforación.
Li:	Longitud de la zona de compresión.	Rt:	Zona de adaptación.
Le:	Longitud de zona de transmisión.	Pa:	Paso de Zona de adaptación.
Ld:	Longitud de zona de alimentación.	P:	Paso principal.
Lp:	Longitud perforada de refrigeración.	F:	Ancho del filete.
Lh:	Longitud del cuñero.	Pc:	Profundidad del cuñero.
Lc:	Longitud de compresión.	Ac:	Ancho del cuñero.
Da:	Diámetro del husillo.		

¹⁴ Jhon Vonk. (GE PLASTICS). *Perfil de Materiales*.



HOJA TÉCNICA PARA LA INSPECCIÓN DE UN TORNILLO.

TORNILLO

MODELO DE EQUIPO _____

Extrusión Inyección

DIAM. EXT. : _____

DIAM. INT. : _____

LARGO : _____

L/D: _____

TIPO DE ACERO : _____

CILINDRO

Nuevo

Material Reparado

REL. DE COMP.: _____

Diámetros Exteriores:



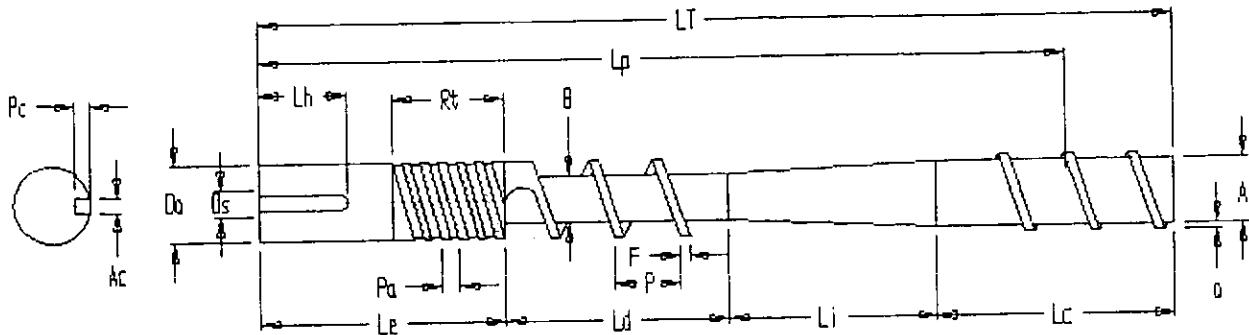
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Diámetros Interiores:



Dimensiones principales de las partes del tornillo:

Dibujo de tornillo.



Especificaciones:

TORNILLO.

Diámetro (D_a): _____

Rectificado: _____

Rectificado

Nitrurado

Tipo de hilo:

Sencillo

Doble

Barrera

Perforado:

Sí

No

LT: _____

Li: _____

Rt: _____

F: _____

Le: _____

Lc: _____

Pa: _____

Pc: _____

Ld: _____

Lh: _____

P: _____

Ac: _____

Lp: _____

Ds: _____

Relación de Compresión: _____



3.2.3.1 Cálculos para el análisis de un husillo.

Los cálculos que se realizan para el análisis de un tornillo y para el chequeo de la relación de compresión en el equipo se presenta a continuación. La relación de compresión es el resultado de las características de diseño del tornillo, considerando el tipo de material que se va a utilizar.

Para realizar los cálculos necesarios se utilizan las siguientes fórmulas:

$$AD = \frac{Q - B}{2} = \text{Zona de Alimentación}$$

$$BD = \frac{Q - A}{2} = \text{Zona de Salida de Material}$$

$$AD = \frac{AD - BD}{2} = \text{Relación de Compresión}$$

Donde:

Q = diámetro exterior nominal del tornillo.

A = diámetro interior. Este valor corresponde al diámetro menor que se tiene entre los tres o cuatro hilos del diámetro interior (ó núcleo del tornillo) al final de la zona de compresión.

B = diámetro interior. Este valor se mide en la zona de alimentación justo entre los tres o cuatro hilos del diámetro interior.

Q = diámetro nominal del tornillo. Es el especificado por el fabricante, aunque en la mayoría de los casos, cuando el tornillo ya tiene un determinado tiempo de servicio llega a desgastarse, pero por lo general se toma el valor del diámetro con el que fue diseñado, para que la relación de compresión sea lo más exacta posible.

AD = diferencia que existe entre el diámetro interior nominal de los tres primeros hilos y el valor del diámetro exterior nominal del tornillo.

BD = diferencia que existe entre el diámetro interior nominal de los tres últimos hilos y el diámetro exterior nominal del tornillo

R.C = relación de compresión. Es la diferencia entre AD y BD que da como resultado la reducción en el volumen de la cámara del husillo, el resultado está expresado a todo el largo del elemento. Dando como resultado un determinado valor de compresión al material.



Con el resultado de estos cálculos se puede precisar las condiciones en las que se encuentra un husillo en servicio, reparación o nuevo. De esta forma se puede determinar el tipo de reparación y/o las modificaciones convenientes que se requieren para un husillo con problemas de eficiencia, de baja compresión, que no plastifica adecuadamente y/o que tiene deficiencias al estar procesando un determinado material.

3.3 Cilindro.

El cilindro es otro de los elementos principales con el que cuenta una extrusora de plástico. Este elemento aloja en su interior al tornillo, el cual está en un movimiento constante, ambos proporcionan una determinada fricción al material plástico. En la superficie del cilindro se transmite el calor al material para que se realice la plastificación.

La longitud del cilindro se considera desde el plato rompedor hasta la parte posterior de la garganta de alimentación. Los cilindros requieren del empleo de materiales de gran duración, es decir, de gran resistencia al desgaste; por lo cual el cilindro es el elemento más importante del equipo, ya que de estos elementos depende una producción eficiente y de primera calidad, que se refleje en un producto sin defectos y que cumpla con las especificaciones requeridas.

Una buena resistencia al desgaste y al roce con los filetes del tornillo, debe cuidarse principalmente con los tornillos que tengan longitudes considerables, ya que el tornillo llega a cabecear debido a lo largo de éste. El acero que se utiliza para el cilindro debe tener una buena resistencia para controlar problemas de abrasión, causados por algunos materiales termoplásticos.

Las cámaras y el tornillo se construyen con aceros de alta resistencia nitrurados, protegiéndose contra la corrosión mediante cromo duro. La protección contra el desgaste se obtiene carburizando la cámara y endureciendo el núcleo del tornillo. El calentamiento y enfriamiento de la cámara se reparte, según el caso, entre tres y siete zonas, calentando cada una eléctricamente o con vapor o enfriando con agua (desmineralizada) o aire comprimido. En la superficie interna de la cámara, lo más efectivo es el calentamiento por inducción, aunque es de mayor costo que por resistencia eléctricas. Se usan también tornillos con cavidades para el control interno de la temperatura con aire, aceite o agua.¹⁵

3.3.1 Hoja de inspección para el cilindro.

Así como en el tornillo, también se desarrolló una hoja técnica de inspección para el cilindro, que sirve como ayuda para identificar las dimensiones principales y partes que lo conforman, así como la ubicación y puntos críticos; que servirán como base para realizar los cálculos del tornillo.

¹⁵ Fermín Capella. "Maquinaria de extrusión".



Esta hoja está dividida en dos partes; la primera consta de los datos generales de la máquina, seguida de algunas características básicas del cilindro y en la parte final se encuentra una serie de recuadros que esquematizan los diámetros interiores que tiene cada uno de los tramos del cilindro que corresponden a la contra parte del tornillo. El proceso de llenado de la hoja es rápido y simple; por ejemplo, las mediciones de los diámetros se obtienen con la ayuda de un instrumento de medición denominado micrómetro para interiores, así los registros se van tomando y anotando en la hoja técnica. La segunda parte contiene un diagrama con los parámetros esenciales del cilindro, así como algunas características de importancia como son: tipo de cilindro, tratamiento térmico, número de resistencias de calentamiento, número de termopares y acabado superficial.

La simbología utilizada en la hoja técnica de inspección de un cilindro es la siguiente:

- Lt: Longitud total del cilindro.
- Li: Longitud de cuerda para brida.
- Le: Longitud de dosificación.
- Ld: Longitud de compresión.
- La: Longitud de alimentación.
- Lh: Longitud de sujeción.
- L₁, L₂, L_n: Longitud entre termopares.
- De: Diámetro exterior de cilindro.
- Dac: Diámetro de adaptación.
- D: Diámetro interior del cilindro.
- Dd: Diámetro de cuerda.
- Dta: Diámetro de adaptación con dado.



HOJA TÉCNICA PARA LA INSPECCIÓN DE UN CILINDRO.

CILINDRO

MODELO DE EQUIPO

Extrusión Inyección

DIAM. EXT. : _____

DIAM. INT. : _____

LARGO : _____

L/D: _____

TIPO DE
ACERO : _____

CILINDRO

Nuevo

Material Reparado

Diámetros Interiores:



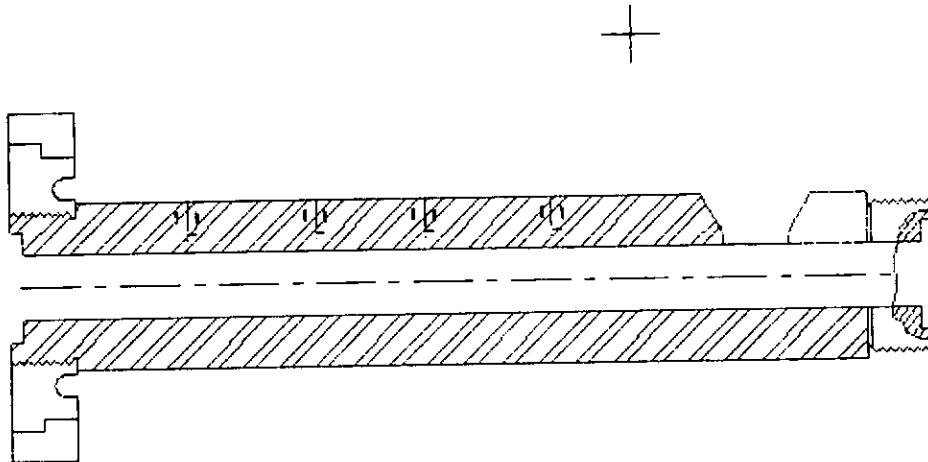
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30

Observaciones :



Dimensionamiento de las principales partes del cilindro:

Dibujo de Cilindro.



Especificaciones

CILINDRO.

Diámetro (D_e): _____

Rectificado	Nitrurado
-------------	-----------

L_t : _____	L_1 : _____	D_t : _____	D_d : _____
L_c : _____	L_2 : _____	D : _____	D_{ta} : _____
L_d : _____	L_n : _____	D_{ac} : _____	D_a : _____
L_a : _____	L_h : _____	D_e : _____	



3.4 Tolva.

La forma más común de tolva de alimentación usada en máquinas de un solo gusano es el tipo cónico de diseño normal. El material se alimenta al gusano simplemente por su propio peso. por lo que a este tipo de tolva frecuentemente se le conoce como de alimentación por gravedad. Por lo general, la tolva está cubierta con una tapa que evita que el material comience a retener humedad del ambiente, así como posibles contaminaciones de polvo. En la base de la tolva casi siempre se instala una compuerta por medio de la cual se puede detener o regular el paso del material al gusano, así como también estos equipos tienen una ventanilla en la parte media para verificar el nivel del material.

Existen algunas máquinas que se les instala una unidad de precalentamiento o secado de material. en la que se sopla aire caliente a través del material. para eliminar la humedad antes de alimentarlo al gusano o en algunos casos para suministrar un material con una temperatura más alta.

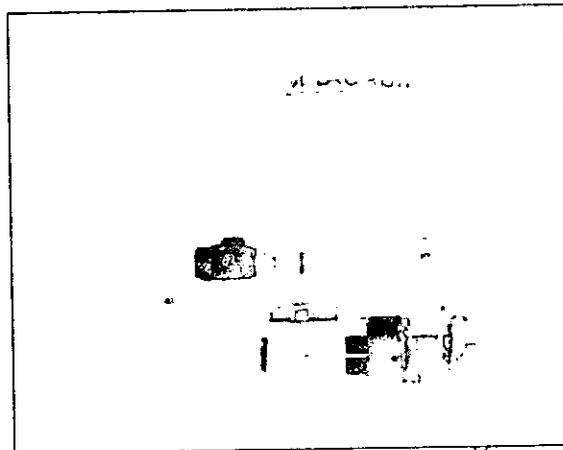


Fig. 3.10 Tolva de cono invertido.¹⁶

La tolva de alimentación es un componente separado con enfriamiento por agua alrededor del cuello de alimentación. Las de una o dos etapas bajo vacío, que pueden calentarse para alimentación neumática, permiten obtener incrementos significativos de cantidad y calidad. El flujo de material puede regularse mediante espirales, elementos de pantalla y agitadores.

El sistema de llenado automático verifica el nivel de la tolva y suministra material sin problemas a la máquina, este tipo de tolvas requiere de equipos más sofisticados y se utiliza en plantas que tienen sistemas manejados por programas de computadora.

La forma más común para las tolvas de alimentación es la de cono invertido, y el grado de ahusamiento debe ser lo más empinado posible de acuerdo con la capacidad, usándose comúnmente ángulos entre 20° y 45°. ^{17,18}

¹⁶ Para mayor información consultar la pág. Web de Cincinnati Milacron.

¹⁷ E.G. Fisher. *Extrusión de Plásticos*.

¹⁸ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Enciclopedia del plástico*



3.5 Equipos de calentamiento.

Los principales métodos de calentamiento que existen en la actualidad para equipos de extrusión son:¹⁹

1. Calentamiento eléctrico.
2. Calentamiento con un fluido.

1. Método de calentamiento eléctrico: es el más importante ya que proporciona grandes ventajas en comparación con otros métodos: mantiene una mayor limpieza del equipo, facilidad de mantenimiento, economía en instalación del dispositivo de calentamiento. El calentamiento se realiza a través de una serie de resistencias, las cuales pueden encontrarse en diferentes formas, como son, de banda, cuadradas, rectangulares y de diseño especial, por lo general estos calentadores son instrumentos muy sensibles, por lo cual requieren un manejo delicado. Los calentadores pueden encontrarse para diferentes voltajes, así como también pueden mantener diferentes temperaturas, por lo que deben integrarse elementos llamados termopares o bulbos. Las resistencias de banda, que asemejan a una abrazadera, cubren al cilindro por secciones, son utilizadas con mayor frecuencia en los cilindros de la mayoría de las máquinas de extrusión, son generalmente fabricadas con alambre aislado con cintas de mica, con aislantes de cerámicos y últimamente se utilizan bloques de aluminio de forma plana o semicircular, que se fabrican según diseño. Éstas presentan un fácil montaje y desmontaje para reparación o cambio, así como también en lo que se refiere a trabajos de mantenimiento y los costos de estos equipos no son muy elevados.

2. Método de calentamiento por medio de algún fluido: es otro de los utilizados en la actualidad, pero en menor escala. Se utiliza por lo general como fluido de calentamiento aceite, ya que debe contar con ciertas propiedades especiales, tales como no producir incrustación o tapar los tubos de conducción. El sistema de calentamiento consiste de un tanque de almacenamiento o suministro, un filtro, una bomba de circulación, un conjunto de válvulas tubería, y los canales de transferencia de calor en el barril de la máquina. En este método es necesario que los equipos que lo componen se encuentre a una cierta distancia de la extrusora. Para lograr que el equipo mantenga la temperatura constante es necesario tener una variación de la velocidad del fluido a través de los canales de calentamiento, o en algunos casos es necesario incorporar un sistema adicional de enfriamiento con agua o con aire.

3.6 Equipo de refrigeración.

Las máquinas extrusoras desarrollan un alto esfuerzo cortante en las diferentes zonas del material que se está procesando, los cilindros contienen largas zonas y los tornillos operan a altas temperaturas, por lo que los sistemas de enfriamiento deben ser lo más eficientes posible. Ya que estos sistemas son más importantes que los de calentamiento, los sistemas de enfriamiento evitan el aumento de la temperatura excesiva en algunos componentes de la máquina.

¹⁹ E.G. Fisher. *Extrusión de Plásticos*.



Los sistemas de enfriamiento que por lo general se utilizan en los equipos de extrusión son:²⁰

1. Enfriamiento del gusano
2. Enfriamiento del barril
3. Enfriamiento en la caja de transmisión

3.6.1 Enfriamiento del gusano (husillo).

El enfriamiento en este elemento se realiza debido al coeficiente de fricción tan alto del material sobre el gusano y sobre la pared del barril. La fuerza de fricción que se genera entre el cilindro y el tornillo, nos lleva a que la temperatura del cilindro se mantenga más alta y tratando de mantener preferiblemente más baja la temperatura del tornillo. Por lo que debe mantenerse un equilibrio, ya que el tornillo tiene un esfuerzo cortante con el material, muchas veces éste alcanza una temperatura mayor a la del cilindro debido a este esfuerzo.

Este enfriamiento se realiza perforando el tornillo de la parte contraria a la punta, en dicho orificio se le introduce un tubo alimentador, el cual proporcionará el agua fría permanente mente para enfriar el tornillo.

Algunos fabricantes utilizan como líquido circulante aceite, para evitar problemas de corrosión e incrustación de partículas generadas por el agua que ocasionen que el conducto se tape.

3.6.2 Enfriamiento del cilindro.

El cilindro genera grandes cantidades de calor, que en ocasiones llegan a ser excesivas, provocando que el material que se está procesando se degrade en el interior del cilindro, por lo que es necesario eliminar este exceso de calor por algún medio. Con algunos materiales se requiere un control muy precisó de la temperatura como es el caso del PVC flexible.

Los métodos que se utilizan para el enfriamiento de estas zonas son: enfriamiento con líquido y enfriamiento con aire circulante.

El enfriamiento con aire circulante. Es el más popular actualmente para los cilindros de las máquinas de extrusión, en este método se instalan varios ventiladores, uno en cada zona regulada, localizados debajo del barril en forma tal que soplen el aire a la temperatura ambiente sobre el barril y sobre el medio de calentamiento. Estos ventiladores se activan independientemente cuando la temperatura de una zona excede el punto pedido por el instrumento de control.

3.6.3 Enfriamiento de la caja de transmisión.

El enfriamiento que se utiliza en esta zona se realiza para evitar el calentamiento excesivo que pueda generarse en los rodamientos de la máquina, el anillo de empuje y las chumaceras del gusano de la máquina. Este enfriamiento se realiza al hacer circular aceite, el cual va a proporcionar una lubricación constante y un enfriamiento a los elementos de la caja de

²⁰ E.G. Fisher. *Extrusión de Plásticos*.



transmisión. Estos sistemas de enfriamiento son más sofisticados para máquinas de varios tornillos.

3.7 Transmisión de la máquina extrusora.

La extrusora cuenta con elementos mecánicos necesarios para hacer girar el tornillo y lograr el transporte del material a todo lo largo del cilindro.

La tabla 1.2 contiene los principales elementos que integran el sistema de transmisión de la máquina de extrusión.

ELEMENTOS DEL SISTEMA DE TRANSMISIÓN
Elementos de acoplamiento
Caja de transmisión
Sistema de cojinetes
Transportadores de energía
Motor

Tabla 1.2 Elementos de transmisión de la extrusora.

3.8 Controladores eléctricos.

Los sistemas de control de un equipo de extrusión, están basados en un sistema eléctrico y un sistema de control de los elementos de la máquina.

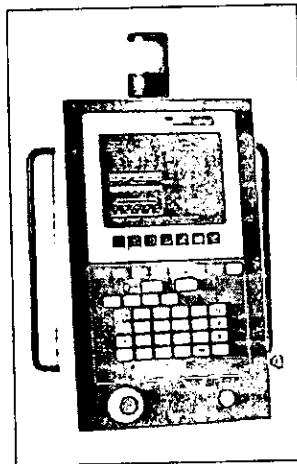


Fig. 3.11 Computadora de control.

El sistema eléctrico en casi todas las extrusoras modernas, contiene una computadora que controla todas las variables de la máquina, como son: la velocidad del motor, control de la carga, sistemas de calentamiento y de enfriamiento de algunas zonas de la extrusora, así como otros sistemas que se le puedan implantar al equipo.

Mientras que el sistema de control es el encargado de medir todas estas variables, y registrarlas en un display con resultados. Estos elementos por lo general lo constituyen; controles de



temperatura, velocidad, presión, amperímetros, y carga como medios de control más comunes en estas máquinas.

En el diagrama eléctrico de una máquina de extrusión se puede encontrar la distribución de los dispositivos de control, número de zonas de calentamiento, así como de los termopares que registran las temperaturas de cada una. el tipo de motor general del equipo, como la conexión y las zonas de enfriamiento en el caso que se utilicen ventiladores.

3.9 Sistemas auxiliares o periféricos del proceso de extrusión.

El complemento de una extrusora, son los elementos externos para la transformación de la materia plástica. Estos equipos son tan importantes como la máquina misma, ya que si no se cuenta con los elementos auxiliares adecuados no se puede tener una producción constante y con una calidad adecuada del producto.

Los equipos auxiliares del proceso de extrusión se dividen en:²¹

- **Equipos primarios:** son los equipos que conforman la continuación de la máquina de extrusión, es decir, son aquellos equipos que recibirán el polímero en estado viscoso, plastificado, al cual se puede modificar las características antes de que el material comience a solidificarse. La tabla 1.3 contiene algunos de los equipos auxiliares más utilizados en el proceso de extrusión.

EQUIPOS AUXILIARES PRIMARIOS
Cabezales de ángulo
Cabezales de espiral
Cabezales rectos
Cambia mallas manual y semiautomático
Formadores de vacío
Dados laminadores
Equipo de secado
Mezcladores simples

Tabla 1.3 Equipos auxiliares primarios para extrusión.

- **Equipos secundarios:** son aquellos que se utilizan como complemento de la máquina de extrusión. Estos equipos tienen la característica de hacer que el producto alcance las características y condiciones estipuladas (buena presencia física, calidad, temperatura ambiente, etc.) además de que presente un fácil manejo para su traslado. Los equipos secundarios dependen del producto a fabricar (tabla 1.4 y tabla 1.5).

²¹ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Enciclopedia del plástico.*



EQUIPOS AUXILIARES SECUNDARIOS PARA EXTRUSIÓN DE TUBO Y PERFIL
Tinas de vacío y de enfriamiento (o viajera)
Jalador de perfil
Corrugadoras de tubo
Embobinadores
Cortadora, Troqueladora y Peletizadora

Tabla 1.4 Equipos auxiliares secundarios para tubo.

EQUIPOS AUXILIARES SECUNDARIOS PARA EXTRUSIÓN DE PELÍCULA SOPLADA
Torres de película (bolsa)
Sistema para embobinado
Jaladores de película
Sistema de soplado de película
Cortadoras

Tabla 1.5 Equipos aux. secundarios para película plástica.

3.9.1 Obtención de manguera plástica.

En la figura 3.12 se ilustran los componentes básicos de una instalación típica para fabricar tubos, varillas o mangueras.

Las tinas de vacío y de enfriamiento sirven de equipos enfriadores para el material que está siendo extruido. En estos equipos el material se va enfriando paulatinamente, por las diferentes zonas que integran la tina, hasta lograr la forma adecuada y la rigidez necesaria.

Básicamente, el proceso de refrigeración consiste en un baño desplazable independiente con agua circulante, por el cual pasa el tubo o manguera extruida. Los lados frontales del baño están debidamente cerrados por unos aros de goma que empaquetan el área, provistos de agujeros para dar paso al tubo. El dispositivo de estirado llevan cuatro pares de rodillos cónicos revestidos de goma.

La velocidad mínima de estirado suele ser de 0.5 a 1.1 m/min. Este dispositivo por lo general cuenta con un variador adecuadamente diseñado para asegurar el cambio suave de la velocidad, y donde la potencia de todo el sistema está dada por un motor.

Para el estirado del tubo en algunos casos se emplean dispositivos de oruga de sujeción mecánica, hidráulica y neumática, éstos se utilizan hasta para tubos de 300mm de diámetro. Mientras que para el estirado de artículos perfilados, por lo general, se emplean transportadores de cinta. Sin embargo, para el de artículos de perfil muy pronunciado se emplean dispositivos combinados formados por una oruga y varios rodillos.

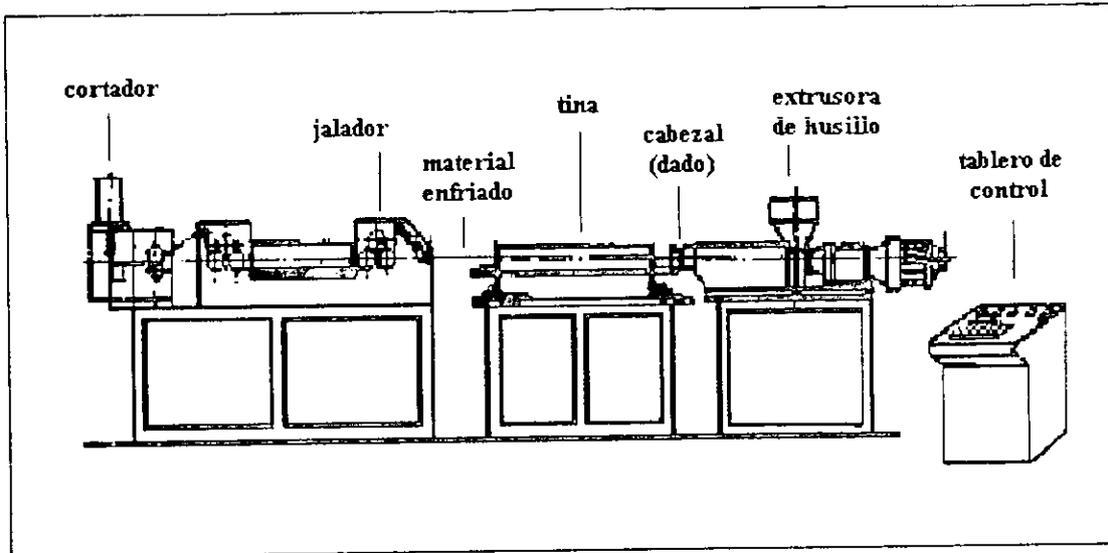


Fig. 3.12 Proceso de obtención de manguera.

En la actualidad se cuenta con una gran variedad de dispositivos para realizar el corte de los tubos o mangueras, siendo uno de los métodos más utilizados por medio de una sierra de disco de movimiento planetario, que se desplaza a la misma velocidad que el tubo y vuelven a su posición inicial una vez realizado el corte.

3.9.2 Torres de película.

En la producción de película tubular, el polímero es plastificado en una extrusora y forzado a pasar a través de un dado anular. El tubo formado es inflado al dejar el dado y es jalado a una velocidad mayor que la de salida del dado. La burbuja producida por este método, es intensamente enfriada por una corriente de aire a temperatura por debajo del punto de cristalización. Las condiciones están diseñadas para garantizar burbujas de circunferencia deseada y películas con el calibre requerido.

En la gran mayoría de las extrusoras, el tornillo (husillo) desplaza el polímero fundido horizontalmente y lo desvía a un ángulo de 90° antes de entrar al dado de película soplada. El fundido no requiere ser desviado un ángulo en extrusoras de tornillo vertical. El arreglo de estas extrusoras en la instalación total reduce la sección requerida para el enfriamiento de la burbuja. Su diámetro de cilindro máximo es de 90 mm. En consecuencia, son muy compactas, y pueden ser montadas en una plataforma rotatoria. Por lo tanto, no se requiere de otra parte giratoria para asegurar que la película se enrollará satisfactoriamente. Debido al tamaño pequeño de la extrusora y a la dificultad de guiar los pellets en la sección de alimentación, los rendimientos son relativamente bajos.

Existen tres métodos para la extrusión de películas tubulares con enfriado por aire a presión (soplado): descendente, ascendente y horizontal.²²

²² Basf. *Film extrusión*.



Descendente: esta técnica de producción está limitada a líneas de extrusión pequeñas. Es conveniente cuando la instalación puede ser fácilmente puesta en marcha, pero tiene la desventaja de que el peso de la burbuja fría debe ser soportada por el fundido que aún no ha solidificado, presentando así una tendencia a colgarse, por esta razón, la técnica se restringe a líneas de película de baja producción.

Ascendente: esta técnica ha sido bien aceptada en la práctica común para la producción de película de todas dimensiones y en líneas de extrusión de todas capacidades. Tiene la ventaja de no requerir una instalación tanto de la extrusora como de los dispositivos de recepción y enrollado en diferentes pisos del edificio o el montaje de la extrusora sobre plantas especialmente elevadas. Si la burbuja tiene paredes gruesas y es por tanto pesada, su peso será llevado por la película que ya ha solidificado.

Una torre de película (fig. 3.1) es un equipo secundario, ya que se utiliza como complemento de la máquina de extrusión para fabricar película tubular. Cuenta con las siguientes partes: 1) Rejillas de orientación de la película, 2) Sistema de regulación de gasto, 3) Horno de torre, 4) Sistema de embobinado, 5) Estructura de la torre, 6) Rodillos desarrugadores y 7) Reguladores del ancho de película plástica.

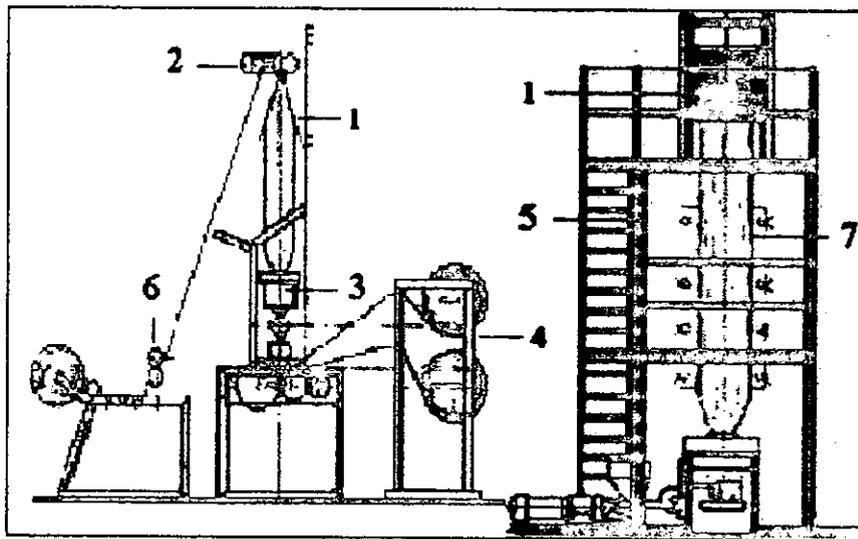


Fig. 3.13 Torre para película plástica.

Las torres de película son equipos que funcionan como un sistema de enfriamiento de material plástico, en las que se tiene un control de la película por medio de los sistemas de rodillos y rejillas reguladoras. Consta de un armazón que soporta a un par de rodillos jaladores (nip rolls) localizados verticalmente arriba del dado, y también soporta un carrete de enrollar en el que se enrolla el tubo aplanado. Normalmente uno de los rodillos es de acero con la superficie maquinada y pulida, y el otro por lo general es de hule. Las rejillas de orientación o guías de la burbuja permiten que la ésta permanezca alineada antes de entrar a la torre de arrastre.

La torre de arrastre (torre de jalado) consta de los rodillos jaladores y de un par de cortinas (también conocidas como pantalla o marcos colapsadores). Se usan dos tipos de cortinas, ya sea



de hojas metálicas planas o bien de pequeños rodillos de madera, plástico o metal. Estos últimos son los más utilizados y el objetivo del diseño es evitar que el aire caliente que sale de la máquina quede atrapado entre las cortinas; además se reduce la fricción que pueda producirse entre la película y las cortinas.

Resumiendo, el aire se suministra con cierta sobrepresión a través del orificio central del mandril. La película tubular al salir del cabezal (dato) se infla a la medida necesaria. A continuación las placas inclinadas o rejillas recogen la película y los rodillos que se encuentran en la parte superior de la torre la comprimen debidamente. Una vez alcanzado el diámetro requerido de la película, el espesor se regula definitivamente ajustando el estirado longitudinal. La película en forma de una cinta doble se enrolla en el tambor de almacenamiento para posterior procesamiento, o se le puede conectar a una máquina en línea y transformarla, por ejemplo, en bolsa; o bien, el embobinado puede realizarse ya sea en uno o en dos rodillos, esto último se logra por corte de las orillas de la película y se enrolla cada capa por separado y simultáneamente.

Puesto que en el interior de la película se mantiene constantemente la misma cantidad de aire se pueden obtener películas de diámetro y espesor constante. Por ejemplo para la fabricación de película de polietileno el grado de alargamiento (estirado longitudinal) oscila entre 5 y 6 veces de relación de estirado, y el grado de ensanchamiento (estirado transversal) entre 1.5 y 2.5. El grado de alargamiento depende de la velocidad de los rodillos. En las extrusoras modernas la velocidad de extracción o estirado, en dependencia de la anchura y espesor de la película y del material a transformar suele oscilar entre 10 y 16 m/min.

Es muy importante, para obtener película de espesor uniforme y sin inclusiones mantener una alimentación uniforme. Con este fin los husillos tienen la zona de extrusión larga con el canal helicoidal pequeño, por lo que delante del cabezal perfilador se colocan unas rejillas provistas de varias mallas filtrantes, llamadas cambia mallas, que pueden cambiarse sin pasar la máquina cuando la presión de la masa aumenta excesivamente. Por otro lado, la presión de la masa puede regularse con una válvula especial de mariposa, ubicada entre las mallas filtrantes y el cabezal. La presión de la masa, controlada mediante unos manómetros especiales, puede mantenerse constante con la misma velocidad.

Existen torres de película de PVC y polipropileno de capacidades de 200 mm, 600 mm, 1200 mm y diseños especiales para uso industrial. Las capacidades anteriores para torres de película son los más utilizados para uso comercial en la industria del plástico.²³

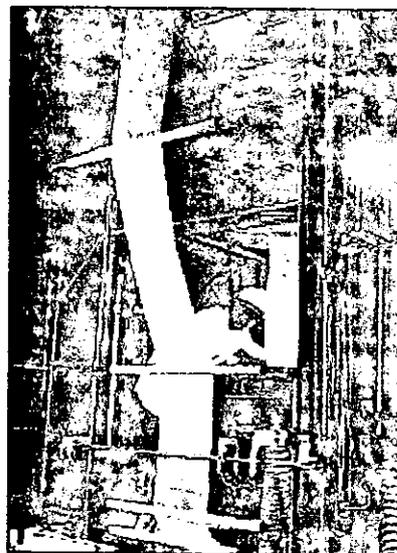


Fig. 3.14 Soplado de bolsa plástica.

²³ Instituto Mexicano del Plástico Industrial. Enciclopedia del plástico.



CAPÍTULO IV

DADOS PARA EXTRUSIÓN DE PLÁSTICOS.

4.1 Disposición del dado en la máquina extrusora.¹

El dado no es un componente de la extrusora, sino una herramienta especial que se encuentra situada a la salida de la extrusora. Su función es darle forma, de acuerdo a la sección requerida, al material suministrado por el tornillo. Por lo tanto, el perfil del canal del dado cambia a lo largo del cuerpo del mismo, propiciando que el material fundido proveniente del husillo sea forzado a fluir a través de él, adoptando así la forma requerida.

Dependiendo de los requisitos del proceso, los dados se pueden unir a la máquina de extrusión en tres formas diferentes: paso directo, cabezal cruzado y cabezal descentrado.

4.1.1 Dados de paso directo.

Son aquellos cuyos ejes están perfectamente alineados con la dirección de suministro de material fundido que proporciona la extrusora. Estos dados normalmente se usan para la extrusión de tubo, perfiles, láminas y con la ayuda de un conductor de alimentación curvo se usan para película plana y tubular.

4.1.2 Dados de cabezal cruzado.

Estos tienen sus ejes en un ángulo con relación al suministro de material, generalmente son de 90°, aunque en casos especiales se llega a dar de 45° y 30°. Estos dados son utilizados para la producción de cables, alambres aislados y filamentos.

4.1.3 Dados de Cabezal descentrado.

Estos son desarrollados a partir de los cabezales cruzados y de paso directo. El arreglo hace que el material cambie de dirección dos veces, si se pudiera realizar un corte longitudinal a lo largo del cabezal se apreciaría la trayectoria del material formándolo con la forma de una "S". Estos dados son utilizados en la obtención de tubos, perfiles, mangueras y bolsa.

Cabe aclarar que los términos: paso directo, cabezal cruzado y cabezal descentrado, se refieren únicamente a la disposición angular del cuerpo del dado con relación a la posición de alimentación, es evidente que cualquiera de los tres sistemas se puede adaptar a la producción de cualquier tipo de material extruido.

La decisión respecto a qué tipo se debe usar en un caso particular, depende normalmente de la conveniencia, espacio disponible, disponibilidad del equipo y de la experiencia previa del

¹ Ramón Anguita Delgado. Extrusión de plásticos.



operador. Por ejemplo, es posible, pero inconveniente, usar un sistema de dado de paso directo para el recubrimiento de cable y un sistema de cabezal descentrado se podría adaptar fácilmente para este trabajo. En forma similar tubo, perfil y otros productos, se pueden extruir sin problemas en sistemas de cabezal cruzado. Con excepción de los dados para recubrir alambre, los cuales casi invariablemente son del tipo de cabezal cruzado, la mayoría de los dados se encuentran disponibles en formas adecuadas para cualquiera de los tres sistemas.

4.2 Partes de un dado.

Las principales partes que conforman un dado de extrusión de plásticos (fig. 4.1), son:²

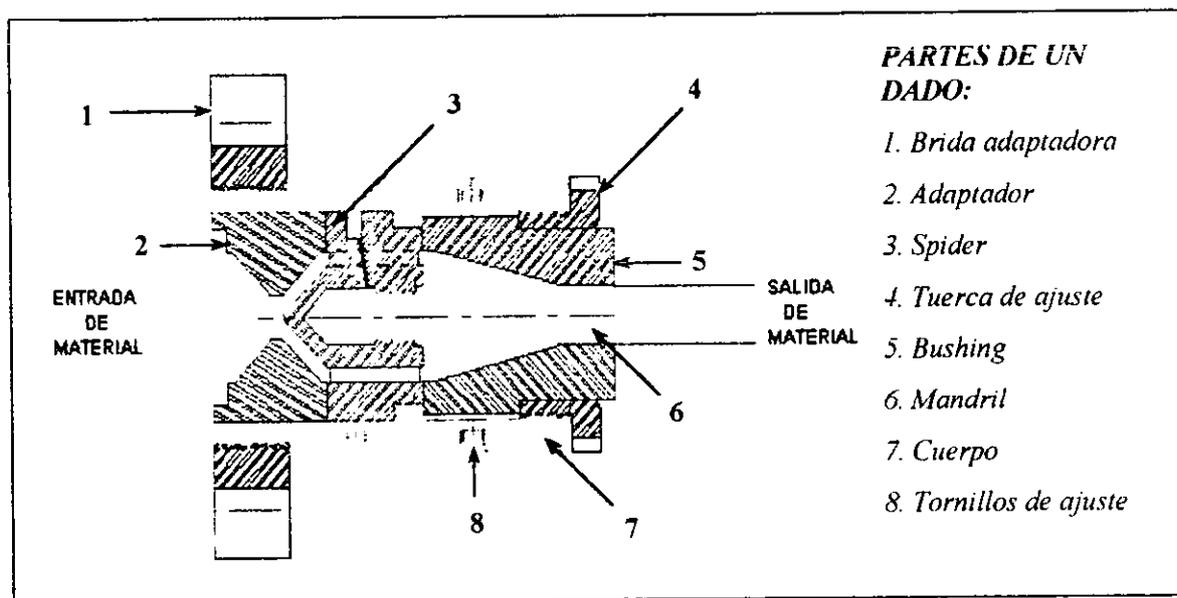


Fig. 4.1 Dado para extrusión de plásticos.

1. *Brida adaptadora:* Es la parte que se encarga de realizar la unión de las piezas de modo permanente o semipermanente entre el dado de extrusión y la máquina. Esta brida debe contar con una unión perfecta con la brida de la máquina para evitar que por esta zona se tengan fugas de material o que se tengan espacios para la acumulación de material que provoquen la degradación. Es muy importante que estas bridas cuenten con orificios a cada 45°, para poder ajustar perfectamente la alineación entre ambas.³
2. *Adaptador:* Es la zona que recibe el material después de salir de la extrusora y es la parte que se encarga de guiar al material al centro del dado. Esta zona generalmente tiene forma de embudo, ya que recibe una cantidad considerable de material y se reduce para entrar al centro del dado con un diámetro menor.⁴

² Luis F. Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos.*

³ Nicola Anklam. *Compendio de la técnica de los plásticos.*

⁴ *Ibidem.*



3. *Spider o Araña:* Esta es una de las partes más importantes del dado. Es la continuación del adaptador y se encarga de distribuir el material por medio de una estrella que sirve de coladera. Esta parte cuenta con tornillos centradores, los cuales sobresalen hasta el cuerpo para poder ajustar la concentricidad del Mandril con el Bushing, sirve como una especie de guía del material fundido.⁵
4. *Tuerca de ajuste:* Esta parte se encarga de mantener en posición al Bushing conforme al cuerpo, evitando con esto que la parte salga desplazada. Este tipo de tuerca tiene un ajuste con el cuerpo del dado. Generalmente estas son partes de sacrificio en un dado, ya que es más fácil la sustitución de este tipo de partes.
5. *Bushing:* Es el anillo externo del dado que moldea la superficie externa de un tubo. Esta es una de las zonas más críticas del dado, ya que esta parte determina el diámetro o superficie exterior de la pieza. Está en contacto con el Spider y el cuerpo, siendo la contraparte del Mandril.
6. *Mandril:* Es el núcleo usado en el proceso de extrusión para formar tubería y película. Es la contraparte del Bushing, ya que proporciona el diámetro interior del tubo. Esta pieza se sujeta con el Spider y su ajuste se realiza con los tornillos que se encuentran distribuidos a 45° en el Spider. Es la parte más importante del dado ya que de ésta depende en gran medida la calidad de la pieza.
7. *Cuerpo:* Es la camisa del dado, ya que en su interior aloja al Spider, Adaptador, Bushing y Mandril. Es la continuación de la brida adaptadora. Esta parte presenta una alta resistencia, con objeto de soportar la temperatura del material en estado plastificado, esto es muy importante para obtener un producto de excelente calidad. Para mantener esta temperatura el cuerpo cuenta con termopares que están instalados en zonas claves para captar la energía calorífica con más precisión del material que se procesa.
8. *Los tornillos de ajuste:* Estos permiten el ajuste del bushing, sujetarlo y darle una calibración para evitar que la pieza extruida salga con irregularidades o desplazamientos de espesor de pared.

4.3 Funciones del dado.⁶

Las principales funciones de un dado para extrusión son:

- *Dar al material plastificado la forma deseada y con las características necesarias para la formación de un producto terminado de excelente calidad.*

⁵ Chapman E Hall. *Plastics Engineering Handbook of the society of the plastic Industry.*

⁶ Morton Jones. *Procesamiento de Plásticos.*



- En el dado se pueden modificar o mantener los parámetros de temperatura y velocidad de la masa plastificada que sale de la extrusora.
- En el dado se puede mantener la presión constante, logrando con esto evitar las variaciones dimensionales que se pudieran ocasionar por oscilaciones en la presión de salida de la máquina.

4.4 Tipos de dados.

Un dado de extrusión es un dispositivo de formado simple, con un orificio aerodinámico que reduce el flujo proveniente de la extrusora y crea una forma particular. La abertura del dado controla el espesor y ancho de la pieza extruida. Existen diversos tipos de dados, pero en general se pueden dividir de acuerdo al producto que fabrican en:

- Dados para perfiles sólidos.
- Dados para perfiles huecos (tubos).
- Dados para recubrimiento de cable y alambre.
- Dados para láminas y películas.
- Dados para filamentos.

4.4.1 Dados para perfiles sólidos.⁷

La forma de los perfiles es ilimitada, pero un perfil con espesor de pared uniforme a lo largo de su sección transversal es el más fácil de producir. Los dados para perfiles sólidos cilindricos (fig. 4.2), son utilizados para formar barras plásticas de $\frac{1}{8}$ " a $\frac{1}{4}$ " para el proceso de peletizado.

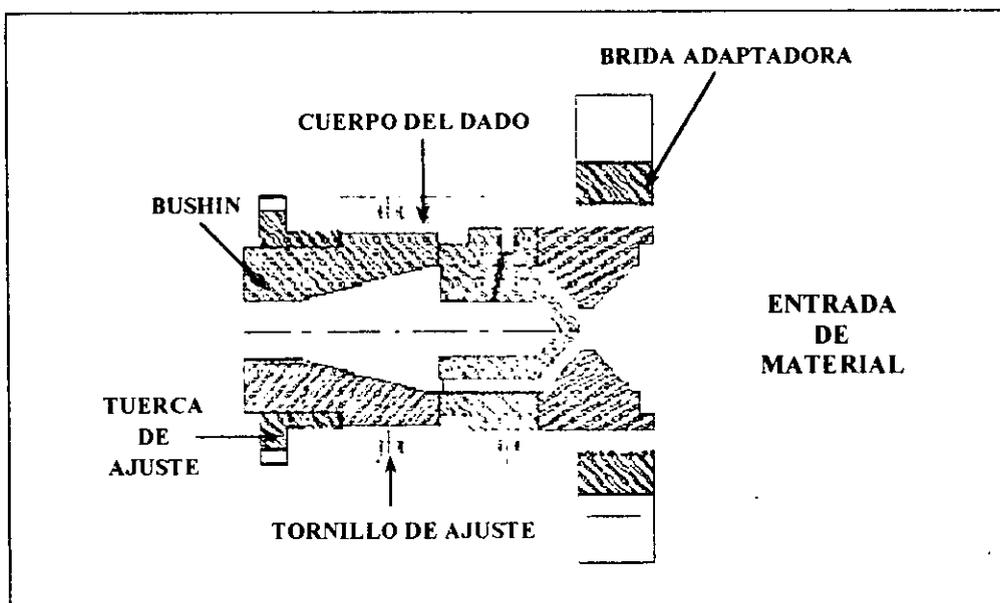


Fig. 4.2 Dado para varilla.

⁷ Walter Michaeli. *Extrusión dies for plastics and rubber.*



Los dados para perfil se construyen como un dado de plato o un dado de entrada aerodinámica. El dado de plato es el más fácil de construir, consiste en una placa de acero que tienen el perfil maquinado sobre ella. Tiene la desventaja de crear turbulencia y áreas de estancamiento que crean la degradación del material, el cual puede integrarse posteriormente al flujo de polímero fundido y causar manchas y por consiguiente, rechazo de productos. Para superar el estancamiento y degradación del material se construye una sección de transición aerodinámica. El dado de entrada aerodinámica se prefiere porque estabiliza el hinchamiento del extruido y la fractura del fundido. Sin embargo, su costo de construcción es mucho mayor que el del dado de plato. Este dado tiene una sección de transición para prevenir el estancamiento del material.

4.4.2 Dados para perfiles huecos (tubos).⁸

Los dados para tubo (fig. 4.3) son capaces de formar tubos plásticos tan grandes como 32 pulgadas de diámetro o tan pequeños como un tubo muy fino, por ejemplo un catéter médico.

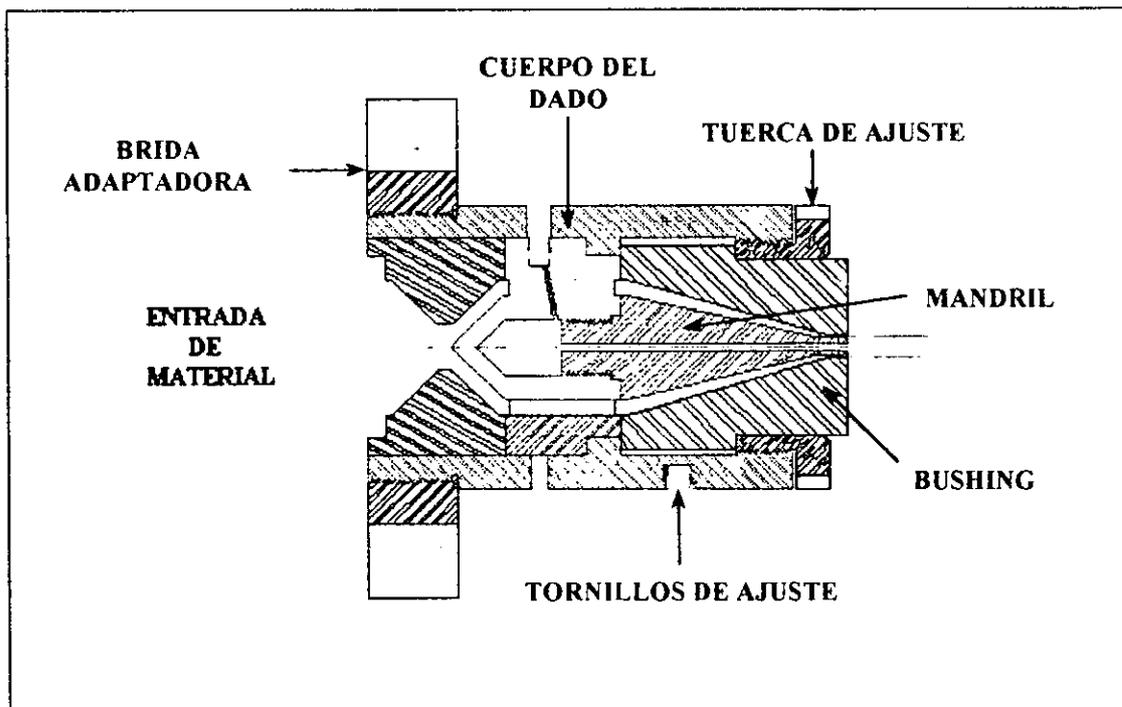


Fig. 4.3 Dado para tubo.

El dado típico para extrusión de tubo con materiales rígidos y semirrígidos, está integrado básicamente por un cuerpo que soporta a la estructura principal, la cual consta de Bushing, Mandril y Spider, que en conjunto dan las dimensiones del orificio.

La extrusión de perfiles huecos, como tubos, ductos, mangueras y otras secciones similares, requiere un mandril para dar la forma hueca.

⁸ Luis F. Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*.



El mandril está soportado por el spider, formándose un espacio o luz entre el mandril y el bushing, por donde pasa el plástico fundido. El ajuste de la concentricidad del tubo se realiza con la ayuda de tornillos de ajuste que se encuentran distribuidos en el cuerpo del dado para realizar el centrado entre el bushing y mandril. Este tipo de dado utiliza un conducto de aire para el formado del tubo, que se localiza en el centro del mandril y se conecta con un orificio a través del centro de una o más de las patas del spider, para alimentar el aire comprimido el cual se controla la debida precisión y que pasa continuamente al interior del tubo que está extruyendo. Además contiene una resistencia de banda la cual se instala alrededor del exterior del dado para mantener una temperatura constante del material al pasar por el dado, generalmente esta temperatura se controla con la instalación de uno o más termopares.

El polimero fundido fluye alrededor de las patas que soportan el mandril para volver a reunirse, formando la pared monolítica del tubo. El mandril incluye frecuentemente un canal a través del cual se sopla aire para mantener la forma hueca de la extrusión durante el endurecimiento. Los tubos y conductos se enfrían usando cubas abiertas de agua o jalando la extrusión suave mediante tanques llenos de agua con mangas calibradoras que limitan el diámetro exterior del tubo, mientras se mantiene la presión de aire en el interior.

4.4.3 Dados para recubrimiento.⁹

El recubrimiento de alambre y cable es uno de los procesos de extrusión de polímeros más importante. En la figura 4.4 se muestran las principales partes de un dado para recubrimiento de alambre.

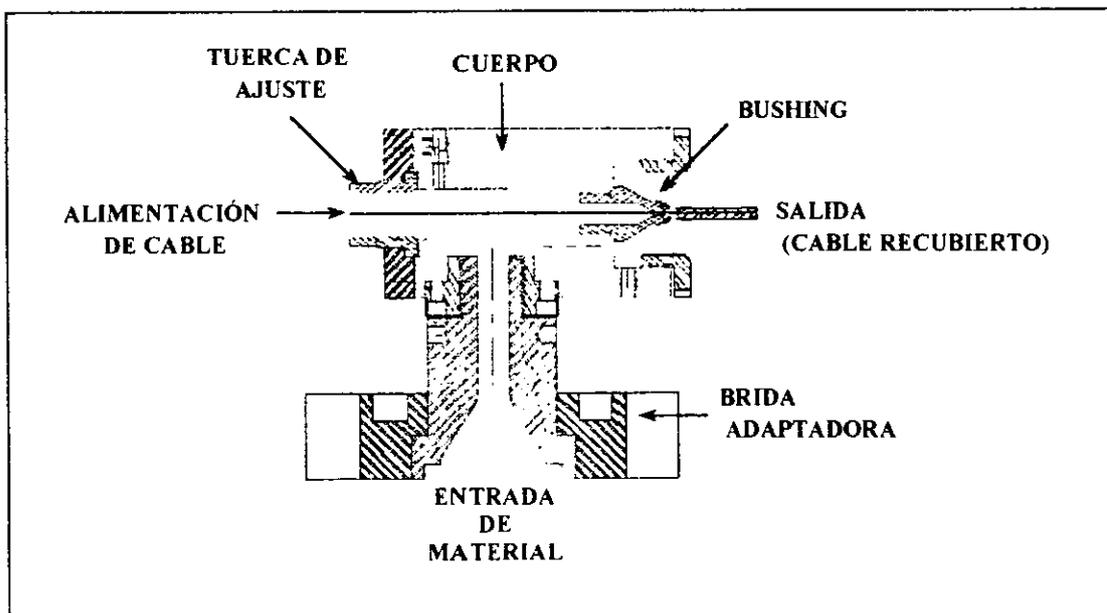


Fig. 4.4 Dado para recubrimiento de alambre.

⁹ Walter Michaeli. *Op. cit.*



El polímero fundido se aplica al alambre desnudo, mientras éste pasa a alta velocidad a través del dado. Se aplica un ligero vacío entre el alambre y el polímero para propiciar la adición del recubrimiento. El alambre provee la rigidez necesaria durante el enfriamiento, al pasarlo ya recubierto a través de una cuba de agua. El producto se enreda en grandes carretes a velocidades hasta de 10 000 pie/min (50m/seg).

Este tipo de dado utiliza el principio de cabezal cruzado, en el cual se maneja un ángulo entre el suministro del material plástico y el material a recubrir.

El material al pasar por el plato rompedor o paquete de mallas, es obligado a pasar por un orificio que comunica al bushing y al mandril el cual tiene una forma tal, que el material fluye alrededor del mismo para pasar por una parte recta donde se une con el material a recubrir, que se alimenta en la parte opuesta del mandril-bushing. En este tipo de dado se debe de cuidar que el recubrimiento plástico sea concéntrico con el alambre.

4.4.4 Dados para Lámina y Película.

Los dados para películas delgadas son esencialmente los mismos que para dados para extrusión de hojas. La diferencia entre hoja y película es básicamente el espesor. Cuando el espesor es de menos de 0.5 mm generalmente se llama película; mientras que con un espesor de más de 0.5 mm generalmente se llama hoja (lámina).

4.4.4.1 Dados para Película Soplada.¹⁰

En el proceso de extrusión de película soplada se utiliza un dado con características muy especiales, el dado tubular consta principalmente de un cuerpo interior, o corazón y de uno exterior que dejan entre ambos, por diferencia de diámetros un conducto anular por donde sale el material fundido, en forma de un tubo que se infla con aire, que se inyecta desde el exterior. Este material fundido se enfría con aire que se reparte uniformemente alrededor por medio de un anillo distribuidor. La burbuja así formada es tirada por unos rodillos en la parte superior de una estructura previo aplastamiento mediante unas placas o cortinas en ángulo. Por medio de rodillos guías se baja este material ya plano a un sistema donde se embobina. El calibre uniforme en la película se logra centrando el corazón del dado mediante tornillos de ajuste. Algunos dados son rotatorios, giran sobre su eje vertical y distribuyen cualquier irregularidad del calibre a lo ancho de la película. En ocasiones el anillo del aire gira con el dado.

Estos dados pueden utilizar diferentes tipos de bushing-mandril, dependiendo principalmente del material a utilizar en el proceso. El proceso empieza con la extrusión de un tubo que se estira inmediatamente hacia arriba, y aún fundido, se expande inflado de aire a través del mandril del dado. Por medio de estos dados se hacen películas delgadas de polietileno y polipropileno para material de empaque, como envolturas, bolsas para abarrotes y bolsas para basura, en paquetes de papas fritas y en el exterior de paquetes de té y tabaco.

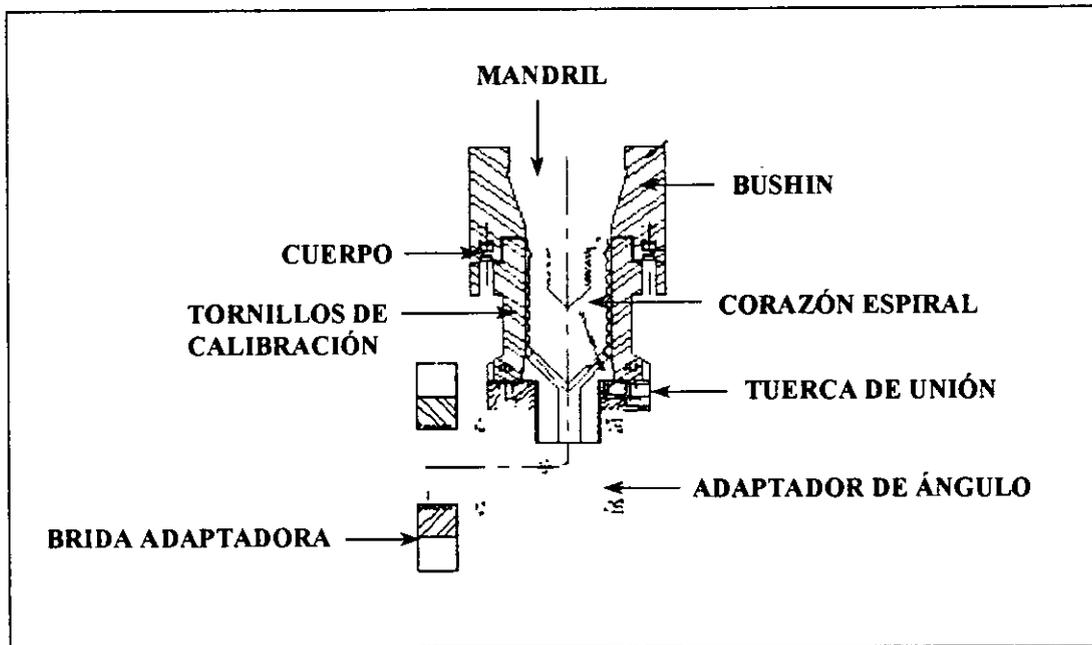
¹⁰ Chapman E Hall. *Plastics Engineering Handbook of the society of the plastic Industry.*



Existen dos tipos principales de dado para película soplada:

1. *Dado con mandril en espiral.*¹¹

El dado con mandril en espiral (fig. 4.5) se alimenta a través de un orificio barrenado en el centro del plato base. El flujo pasa a través de orificios que están uniforme y radialmente distribuidos en la periferia. Cada uno de los orificios termina en el canal espiral, la anchura y profundidad se reduce en la dirección del flujo. Así algo de fundido se desplaza en el canal y fluye axialmente sobre el espacio existente entre los canales. En el caso ideal, el contenido total de un canal sería desviado en la dirección axial y distribuido en la dirección periférica. Por este medio, un nuevo sobreflujo pasa una capa de fundido sobre el cual otra corriente ya ha fluido. Así de tres a cinco corrientes de fundido, el número real depende del diseño del espiral, pueden superponerse para formar un compuesto. Si la geometría se ha diseñado bien, pueden restringirse diferencias en la medida de la película a valores muy bajos en la dirección periférica.



4.5 Dado con mandril en espiral.

2. *Dado tipo araña.*¹²

En el dado tipo araña el flujo es transformado en un patrón anular por medio de un torpedo, que es la parte delantera del spider y que tiene por función guiar al material y facilitar su flujo. Las fuerzas resultantes de la presión de extrusión son soportadas por las patas de la araña a través de las cuales el aire circula en la burbuja.

¹¹ Basf. Film extrusión.

¹² Ibidem.



Por razones asociadas con la fuerza mecánica, este diseño se restringe a dados pequeños. Las patas de la araña son aerodinámicas para evitar zonas muertas en las que el polímero puede degradarse térmicamente. La sección transversal tiene una área tan pequeña que no pueden instalarse dispositivos internos de enfriamiento. Una fusión pobre se manifiesta en la forma de marcas (líneas) producidas por la araña en la película, las cuales pueden ser medidas por un gauge de espesor. Los cambios periódicos de espesor en la dirección periférica corresponden al número de patas en la araña.

La distribución de espesor puede ser mejorada instalando bloques de mallas y platos rompedores detrás de la araña. En este caso, el perfil de espesor muestra las perforaciones del plato rompedor y no las marcas producidas por la araña. Ya que las perforaciones son muy numerosas, las irregularidades en el área transversal son, por necesidad, pequeñas.

4.4.4.2 Dados para lámina.^{13,14}

Estos dados son utilizados para la extrusión de láminas o en algunos casos se utilizan para obtención de pellet. Consisten de un dado ranurado y un cuerpo, el cual consta de una parte de ingreso de material (fig. 4.6). El cuerpo del dado se mantiene a una temperatura adecuada con la ayuda de un sistema de calentamiento, por medio de resistencia, y por un sistema de control por medio de uno o varios termopares.

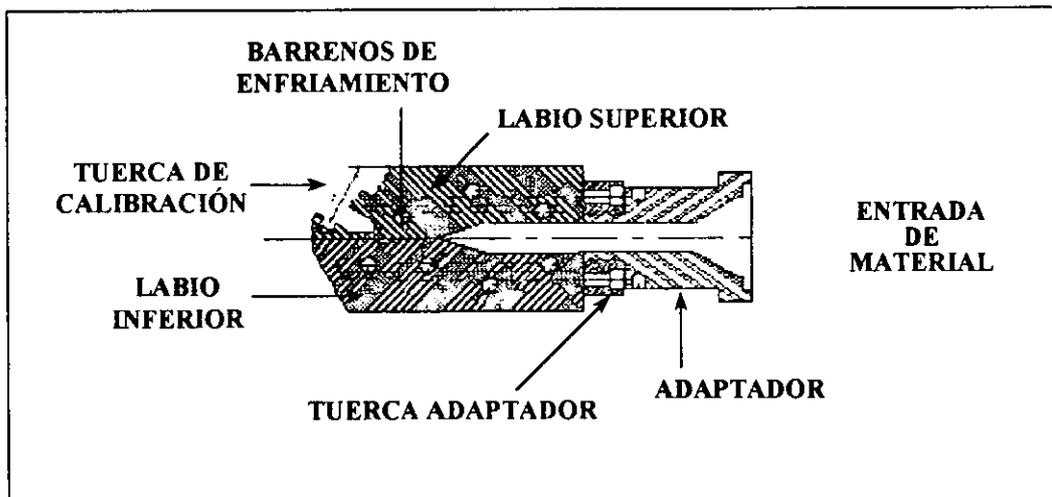


Fig. 4.6 Dado para lámina

Debido a las altas fuerzas de separación que se desarrollan en dados de este tipo, frecuentemente se instala un sistema de mordazas externas que soportan la carga de expansión, tal sistema es conocido como "anillo de presión", el cual consiste de un miembro de acero resistente que rodea al dado y del cual sobresale un cierto número de tornillos.

¹³ Chapman E Hall. *Plastics Engineering Handbook of the society of the plastic Industry.*

¹⁴ E.G. Fisher. *Extrusión de Plásticos.*



Las láminas se producen, usando un dado cuya abertura tiene la forma de una rendija delgada. La rendija puede tener hasta 10 pies (3m) de largo con un ancho cercano a 0.015 pulg. (0.04mm). En la figura 4.6 se ilustra una configuración posible del dado.

Los dados para lámina tienen diferentes tipos de configuración dependiendo del espesor de la hoja a extruir. Para una hoja muy delgada ($<0.040''$) tiene una longitud paralela larga con un extremo móvil llamado labio flexible. Para cambiar la geometría del canal de flujo se ajusta el labio flexible por varios tornillos dispuestos en todo el ancho del dado, permitiendo así un cierre local del ancho de la rendija (orificio final), los ajustes pueden ser tanto como 1mm o más.

Dados para lámina con más de $0.25''$ de espesor incluyen una varilla ahogadora en la longitud paralela antes de que el material entre al labio. El ajuste trabaja de forma similar: la varilla ahogadora puede ser deformada localmente por varios tornillos localizados en todo el ancho del dado. La deformación causa un cambio en la altura del canal de flujo.

El diseño de dados para producción de láminas o películas tienen ciertos problemas. Una dificultad del método de extrusión es la uniformidad del espesor a lo ancho del material. Esto se debe al cambio drástico, que experimenta la fusión del polímero durante su paso a través del dado y a las variaciones de la temperatura y de la presión del dado. La necesidad básica es modificar la forma fundamentalmente cilíndrica del material fundido a medida que entra a la zona del dado hasta lograr la forma más delgada, más ancha y mantener a la vez uniformes el calor existente y los perfiles de presión y temperatura.

En dados para láminas, se usan tres geometrías básicas de canal de distribución.¹⁵

1. **Dado en T**, (fig. 4.7). Es el más barato y sencillo debido a que la geometría del canal de flujo es simple y fácil de maquinar, pero no distribuye bien el material fundido ni permite un flujo fácil. No es muy conveniente para materiales fundidos de alta viscosidad o que se degradan fácilmente. El dado T se usa en aplicaciones de recubrimiento.

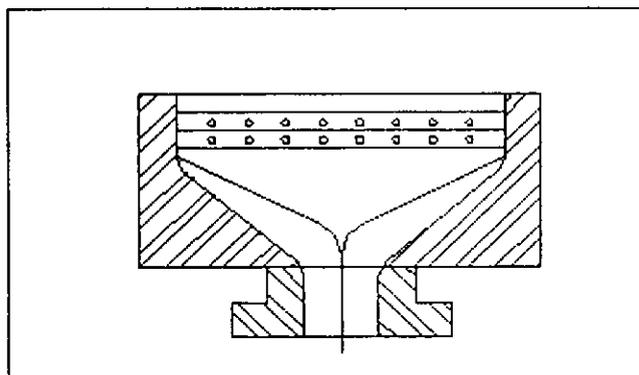


Fig. 4.7 Dado en T.

¹⁵ Walter Michaeli. *Extrusion dies for plastics and rubber.*



2. **Dado de cola de pescado**, (fig. 4.8). En este diseño se distribuye mejor el material fundido, pero es difícil usarlo para láminas anchas o gruesas, ya que es bastante pesado y contiene una gran masa de polímero que puede degradarse y generar problemas de temperatura.

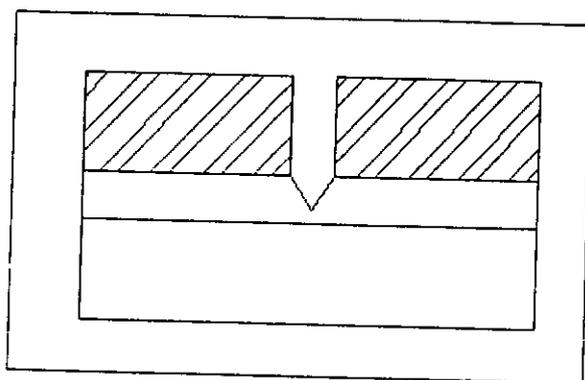


Fig. 4.8 Dado de Cola de pescado.

3. **Dado en forma de gancho de ropa**, (fig. 4.9). Este diseño es el que se utiliza más, es el más difícil de maquinar y, en consecuencia, el más caro, pero con él se obtiene una buena distribución del material fundido. El aspecto característico es un canal de distribución que alimenta la salida, que parece un gancho común para colgar ropa con sección transversal circular.

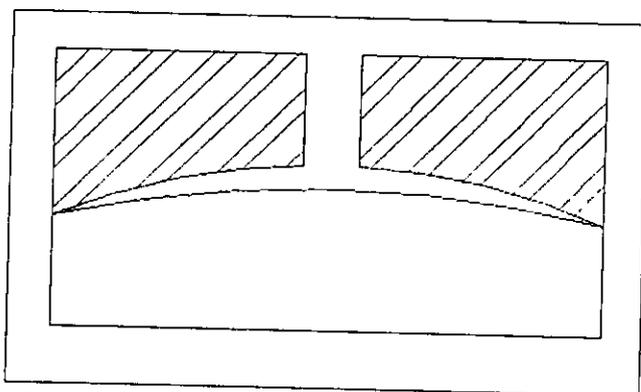


Fig. 4.9 Dado Gancho de Ropa

4.4.5 Dados para filamentos.^{16,17}

Los dados para filamento son capaces de producir al mismo tiempo varios filamentos, se pueden obtener diámetros de 2, 3, 4 y 5 mm.

¹⁶ Muccio Edward A. *Plastics Processing Technology*.

¹⁷ Chapman E Hall. *Plastics Engineering Handbook of the society of the plastic Industry*.

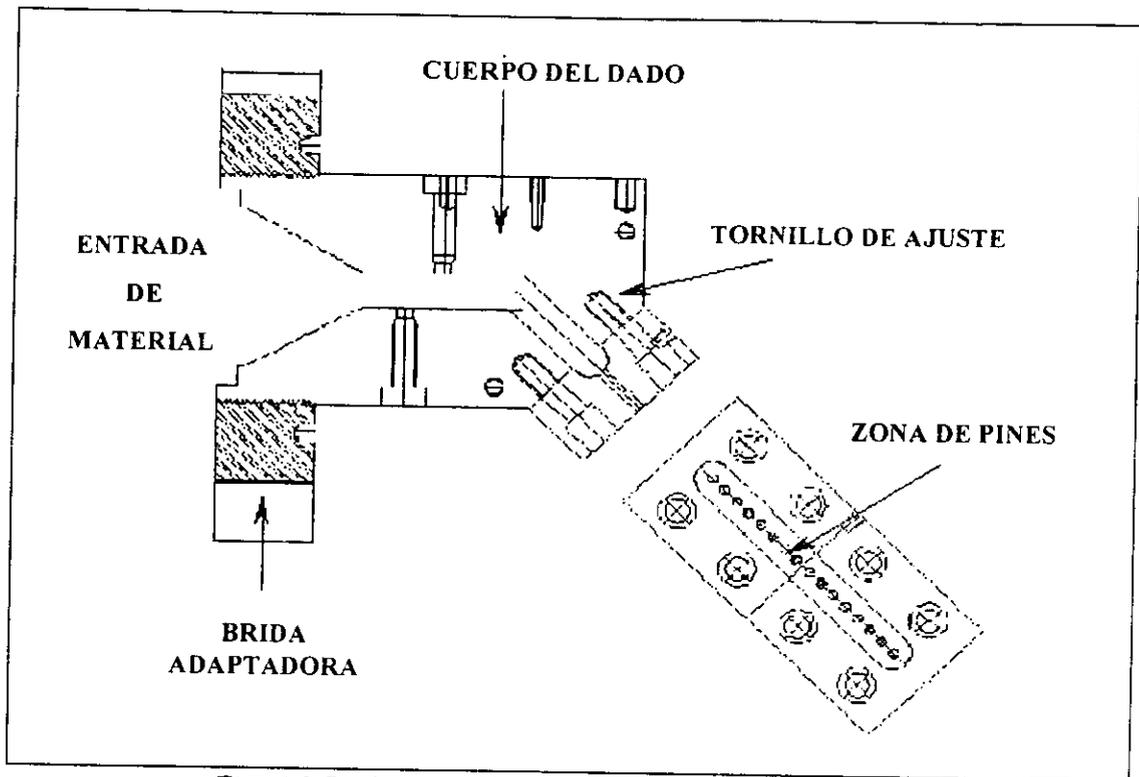


Fig. 4.9 Dado para filamento.

Por lo general, estos dados cuentan con 12, 16, 20, 24, 28 o 32 orificios por donde sale el material para más tarde ser pasado por una tina de enfriamiento donde es solidificado el filamento.

El dado para filamento se utiliza para la fabricación de pellet o gránulos de material, ya sea para obtención de material virgen que se utiliza en otros procesos como inyección o extrusión así como para la fabricación de materiales concentrados de color llamados master bach. Otra aplicación para este tipo de dados es para la fabricación de cerdas para cepillos, peines, escobas y otras tantas aplicaciones en la industria del plástico.

El dado cuenta con una zona de pines a todo lo largo del dado (fig. 4.9), este tipo de diseño se realiza con el fin de que todos los filamentos se encuentren del mismo diámetro y tengan las mismas condiciones de procesamiento.

4.5 Dado para Tubo y Bolsa para equipo médico.

Para la elaboración de tubo plástico flexible se utiliza como único medio de obtención el dado para tubo, por el cual se pueden obtener una infinidad de tubos de diferentes características, acabados y con diferentes espesores de pared.



En este tipo de dados se puede aplicar casi en su totalidad cualquier tipo de resina para ser procesada, sin tener ningún tipo de problema para obtener un producto con las características requeridas.

En el caso de la película plástica flexible para formar bolsa de grado médico se pueden utilizar dos tipos de proceso: uno de ellos es por medio de extrusión de película plana y el otro es por extrusión de película soplada. Los dos son muy utilizados en la industria médica.

La diferencia que marca la utilización entre un tipo de dado y otro, son los equipos auxiliares que se requieren posteriormente para la obtención de la película, que formará una bolsa que cumpla con los requerimientos que solicitan las normas. Siendo muy importante el espesor de pared, el largo y el ancho de la bolsa.

El dado para película plana está formado por dos piezas del largo de lo que será el ancho de la película. Un dado de película plana requiere un sistema de rodillo y jaladores que ayudan a la película para que se pueda formar, así como un sistema de calandrado que facilita el estirado de la película después que ésta sale del dado plano.

Mientras que en un dado de película soplada es necesario un anillo soplador que tendrá la función de proporcionar aire a presión constante para que se forme la burbuja de película, que será jalada por un sistema de rodillos guías que se encuentran en una torre de película, en la cual se almacenará con la ayuda de un par de rodillos.



CAPÍTULO V

PRINCIPIOS PARA EL DISEÑO DE DADO PARA TUBO Y BOLSA.

El objetivo de un dado de extrusión es distribuir el polímero fundido en su canal de flujo, de tal forma que se obtenga una salida de material con velocidad uniforme. La distribución real está determinada por las propiedades de flujo del polímero, la geometría del canal de flujo, la velocidad de flujo a través del dado y el campo de temperatura en el dado.

Tanto el diseño del dado como el análisis de flujo en el dado son dos de los elementos más complicados de la ingeniería de proceso de polímeros, ya que no puede asumirse que la fusión del polímero es completamente viscosa. Aún cuando se asuma este hecho, el análisis se complica porque muchos dados tienen canales de flujo de forma compleja. Existen sólo dos geometrías básicas de canal de flujo que son más sencillas de analizar: el canal de flujo circular y el canal de flujo de boquilla plana.¹

5.1 Diseño básico de un dado para varilla.²

En el diseño básico de un dado para extruir varilla sólida se maneja únicamente un diámetro de entrada, el cual corresponde al diámetro proporcionado por la máquina extrusora y que es conocido como diámetro del husillo, y un diámetro de salida del dado que corresponde al diámetro de la varilla sólida. El diseño básico de un dado para varilla sólida se muestra en la figura 5.1.

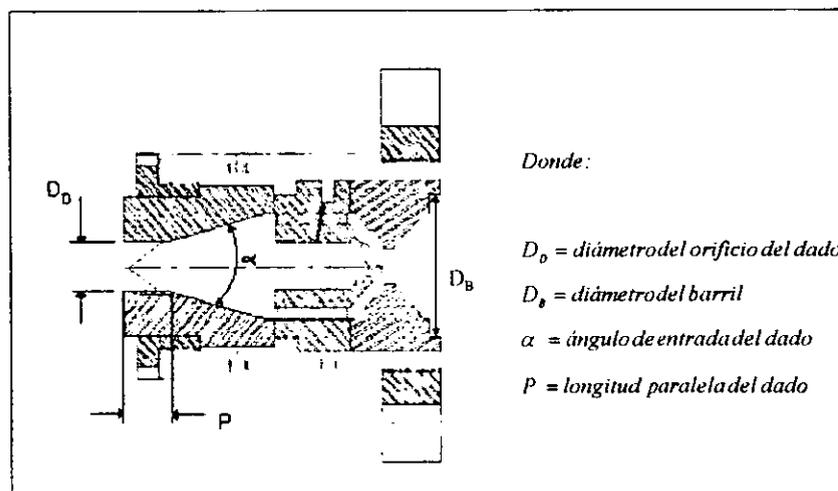


Fig. 5.1 Dado para varilla sólida.

¹ Chris Rawnsdal. *Polymer Extrusion*.

² Luis F. Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*.



La presión a la entrada del dado que corresponde al final del husillo de la extrusora, es una alta presión y la presión a la salida del dado es baja (atmosférica). Es importante mantener una presión alta en el interior del dado para consolidar el plástico fundido antes de que salga del dado. Esto se logra al diseñar restricciones al flujo en el interior del dado. Ya que la relación entre el diámetro del orificio del dado y el diámetro del barril (D_D/D_B) debe ser menor que 1, y en la práctica ésta siempre es menor que $\frac{1}{2}$. Una mayor restricción puede obtenerse al aumentar el área de la longitud paralela del dado (P).

El ángulo de entrada del dado (α) variará dependiendo de la viscosidad del material plástico a procesar; entre más viscoso sea el plástico fundido menor será el ángulo de entrada del dado, ésto para lograr un flujo suave y constante. En la figura 5.2 se puede observar esta condición con dos materiales diferentes: un plástico como el PVC que es de alta viscosidad (η alta) y un plástico como el Nylon que es de baja viscosidad (η baja).

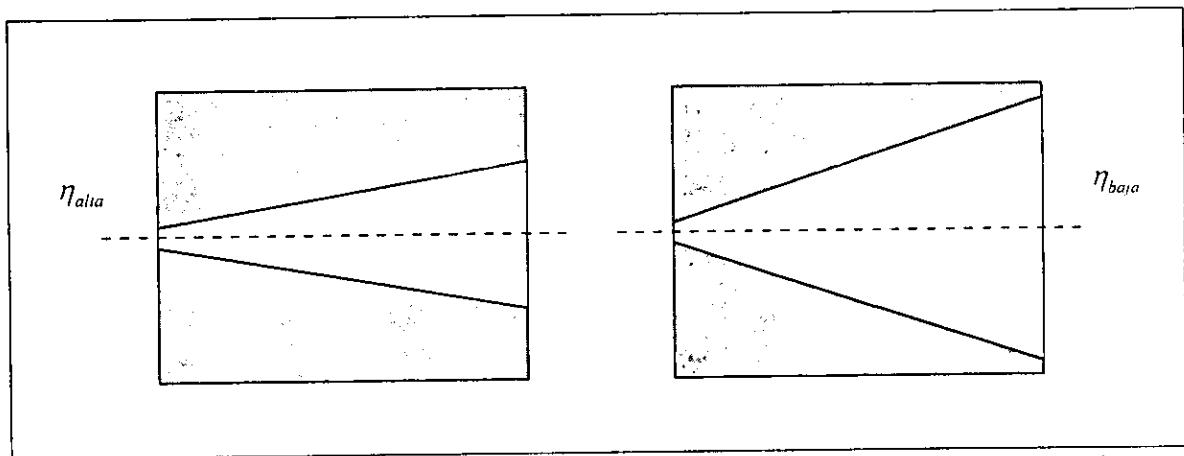


Fig. 5.2 Variación del ángulo de entrada dependiendo la viscosidad del material.

5.2 Principios básicos para el diseño de dados.

5.2.1 El hinchamiento del extruido.³

Las moléculas del plástico consisten de largas cadenas que tienden a tomar una configuración al azar en forma de ovillo (semejante a un plato de espagueti). Sin embargo, cuando estos materiales fluyen a través de un canal, las moléculas tienden a orientarse, es decir, a quedar alineadas en la dirección del flujo. Así, cuando el plástico fundido sale del dado, muchas de sus moléculas habrán sido orientadas en la dirección del flujo. A la salida, las moléculas tienden a tomar de nuevo una configuración al azar en forma de ovillo, causando así una contracción en la dirección longitudinal paralela al flujo y una expansión en la dirección radial, conocida como hinchamiento del extruido.

³ Morton Jones. *Procesamiento de Plásticos*.



Uno de los principales problemas con el hinchamiento, es que generalmente no se distribuye uniformemente a lo largo del extruido. Esto significa que algunas áreas del extruido se hinchan más que otras. Si la geometría de la salida del canal de flujo del dado se hace igual a la geometría del producto requerido, el hinchamiento desigual causará una distorsión en el extruido y la geometría del producto requerida no podrá obtenerse. Por consiguiente, la geometría de la salida del canal de flujo generalmente debe ser diferente de la geometría del producto requerido. Por ejemplo, no es posible obtener un extruido perfectamente cuadrado con un canal de flujo perfectamente cuadrado. Para eliminar este problema se tiene que modificar la forma del canal de flujo para compensar el hinchamiento en el extruido. Ésta es una tarea difícil, por lo que la determinación de la geometría del canal de flujo es hecha a menudo por un proceso de prueba y error.

El grado de hinchamiento depende de la naturaleza del material. Algunos polímeros presentan considerable hinchamiento (100 a 300%), como ejemplo están los polietilenos; otros polímeros presentan un mínimo de hinchamiento, como ejemplo está el PVC. Cuando el PVC es extruido a temperaturas relativamente bajas (165 a 175 °C), los rangos de hinchamiento van del 10 al 20% solamente. Esta es una de las razones por las que este material es tan popular en la extrusión de perfiles.⁴

Bajo circunstancias normales, el hinchamiento del extruido puede reducirse de la siguiente forma:

- Disminuyendo la velocidad de extrusión.
- Aumentando la temperatura del plástico fundido.
- Aumentando la longitud paralela del dado.
- Aumentando la velocidad de jalado del extruido.

5.2.2 Inestabilidades de flujo.⁵

En extrusión, ciertas inestabilidades de flujo pueden ocurrir, afectando en serio a todo el proceso de extrusión y generando un producto de extrusión inaceptable. Las dos principales inestabilidades de flujo son: la superficie rugosa y la fractura del fundido.

La superficie rugosa o también llamada piel de tiburón se manifiesta como una distorsión regular de la superficie, con fisuras o grietas muy pequeñas que corren perpendicularmente a la dirección de extrusión. Se piensa que esta inestabilidad de flujo es formada en la longitud paralela o a la salida del dado. Es principalmente dependiente de la temperatura y la velocidad de extrusión. El mecanismo de formación de la piel de tiburón es causado por una aceleración rápida de las capas superficiales del extruido cuando el polímero sale del dado. Si la velocidad de jalado es demasiado alta, la capa de la superficie del polímero puede fallar y puede formar la rugosidad característica de la superficie de piel de tiburón.

⁴ Chris Rauwendaal. *Polymer extrusion*.

⁵ *Ibidem*.



El problema de piel de tiburón puede ser disminuido reduciendo la velocidad de extrusión e incrementando la temperatura en el dado, particularmente en la sección de la longitud paralela (L). Usar un lubricante externo también puede reducir el problema, esto se logra añadiendo un aditivo al polímero o co-extruyendo una capa exterior delgada y de viscosidad baja.

5.2.3 Principio de flujo en la extrusora.

Es necesario analizar el flujo del material en la extrusora, ya que su función principal es proporcionar al dado una fusión homogénea (en términos de temperatura y consistencia) del polímero a la proporción requerida. Como se recordará, el husillo, al igual que el barril, está dividido en tres zonas: Zona de Alimentación, Zona de Compresión y Zona de Dosificación. Para efectos de análisis matemático se considera que el material fluye completamente fundido en la última zona del husillo (zona de dosificación) y a través de un canal de sección transversal rectangular constante.⁶

El flujo neto (Q_n) a través de una extrusora es igual a la suma algebraica del flujo de arrastre (Q_d), el flujo de presión (Q_p) y el flujo de fuga (Q_f). Por lo que el flujo neto da como resultado:

$$Q_n = Q_d - Q_p - Q_f \quad (5.1)$$

El flujo o gasto total de la extrusora está regido según la ecuación 3.6:

$$Q_i = \alpha N - \beta \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \quad (5.2)$$
$$\alpha = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 H \operatorname{sen} \theta \cos \theta$$
$$\beta = \frac{1}{12L} \pi D H^3 \operatorname{sen}^2 \theta$$

Donde:

- Q_i = flujo total de la extrusora
- N = velocidad de rotación del husillo
- ΔP = gradiente de presión a lo largo del barril
- η = viscosidad del flujo
- H = profundidad del canal (zona de alimentación)
- D = diámetro del cilindro de la extrusora
- L = longitud del tornillo

⁶ Luis F. Ramos de Valle. Extrusión de plásticos.



5.2.4 Principios de flujo en el dado de extrusión.^{7,8}

Hasta ahora se ha considerado solamente el comportamiento del fluido a lo largo del canal del husillo. Sin embargo, la operación de una extrusora depende tanto del husillo como del dado. Considerando ahora el flujo a través del dado, se tiene que la velocidad de flujo de un fluido newtoniano es directamente proporcional a la caída de presión e inversamente proporcional a la viscosidad del fluido, teniendo así:

$$Q_D = K \frac{\Delta P}{\eta} \quad (5.3)$$

Donde:

Q_D = flujo a través del dado

K = constante de proporcionalidad (depende de la geometría del dado)

η = viscosidad del flujo

ΔP = gradiente de presión a lo largo del barril

Aunque la ecuación 5.3 supone un fluido newtoniano en condiciones isotérmicas, es una ecuación muy útil para hacer un análisis semicuantitativo de un dado. Al graficar Q_D contra ΔP (fig. 5.3) se obtiene una línea recta con pendiente igual a K/η y con intersección en el eje de las ordenadas igual a cero. La pendiente de esta línea recta se incrementa al aumentar K y al disminuir η .

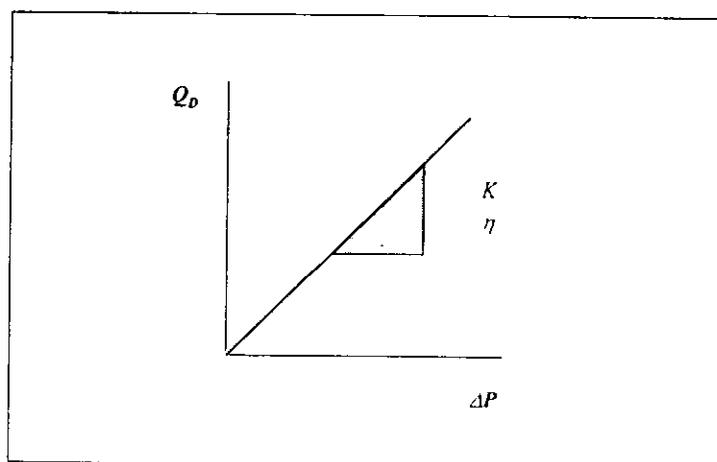


Fig. 5.3 Línea característica del dado.

⁷ Luis F. Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*.

⁸ Morton Jones. *Procesamiento de Plásticos*.



Al comparar gráficamente (fig. 5.4) dos dados con diferente geometría, es decir con diferente K , se observa que para un determinado valor de presión existe un aumento en el valor de la constante K (desde K_1 hasta K_2), produciendo un aumento en la velocidad de flujo (desde Q_1 hasta Q_2). De igual forma una disminución en la viscosidad del fluido producirá un aumento en la velocidad de flujo.

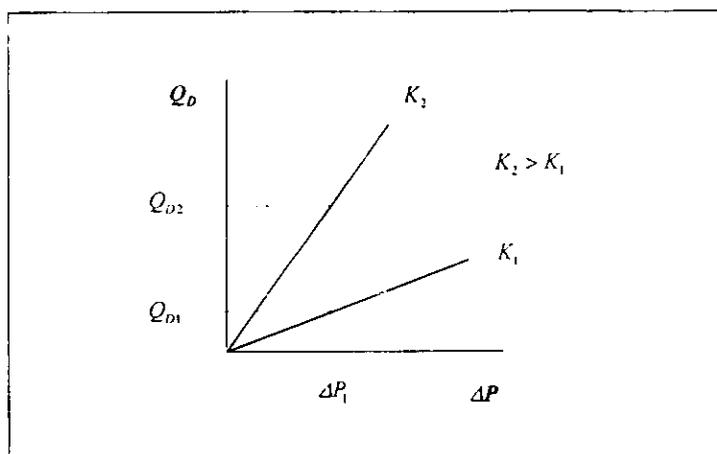


Fig. 5.4 Dados con diferentes constantes.

5.2.5 Análisis de flujo en el dado.^{9,10}

Partiendo de la ecuación del flujo a través del dado (ecuación 5.3), como base para desarrollar las ecuaciones correspondientes para una sección transversal circular, rectangular y anular. Así, para el flujo newtoniano a través de un canal de sección transversal circular se tiene:

$$K = \frac{\pi R^4}{8L} \quad (5.4)$$

$$Q = \frac{\pi R^4}{8L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \quad (5.5)$$

Donde:

- R = radio del tubo o varilla extruido
- L = longitud que se desarrolla dentro del dado
- ΔP = gradiente de presión a lo largo del barril
- η = viscosidad del fluido
- K = constante de proporcionalidad

⁹ Marton Jones. *Procesamiento de Plásticos*.

¹⁰ Luis F. Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*.



En el caso de flujo newtoniano a través de un canal de sección transversal rectangular se tiene:

$$K = \frac{WH^3}{2L} \quad (5.6)$$

y

$$Q = \frac{WH^3}{2L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \quad (5.7)$$

Donde:

W = ancho de la pieza extruida

H = espesor de la pieza extruida

L = longitud que se desarrolla dentro del dado

η = viscosidad del fluido

K = constante de proporcionalidad

De las ecuaciones 5.4 y 5.6 se observa que K aumenta al incrementar el área de paso a través del dado o al disminuir la longitud del dado.

En el caso de flujo newtoniano a través de un canal de sección transversal anular, la constante dimensional K depende principalmente del diámetro interior y exterior de la pieza final:

$$K = \frac{\pi D_e d_0^3}{12L} \quad (5.8)$$

y

$$Q = \frac{\pi D_e d_0^3}{12L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \quad (5.9)$$

Donde:

D_e = radio del tubo extruido

d_0 = espesor de pared del tubo extruido

L = longitud que se desarrolla dentro del dado

ΔP = gradiente de presión a lo largo del barril

η = viscosidad del fluido

K = constante de proporcionalidad



La tabla 5.1 contiene las ecuaciones generales para dados de sección transversal circular rectangular y anular para fluidos newtonianos.¹¹

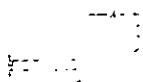
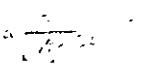
TIPO DE CONDUCTO	FLUJO A TRAVÉS DEL DADO
CIRCULAR 	$Q = \frac{\pi R^4}{8L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right)$
RECTANGULAR 	$Q = \frac{\pi H^4}{12L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right)$
ANULAR 	$Q = \frac{\pi D_o d_o^4}{12L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right)$

Tabla 5.1 Ecuación características del dado.

5.2.6 Flujo volumétrico en la extrusora.¹²

Los parámetros de funcionamiento más importantes del proceso de extrusión son la velocidad y par del tornillo, el perfil de temperatura a lo largo de la cámara hasta el dado, y la tasa de suministro del material y su temperatura. Éstos determinan la presión del fundido y la temperatura en la cabeza del tornillo y, conjuntamente con el equipo corriente adelante del dado, determinan la calidad del producto.¹³

Como se aprecia en la ecuación 5.2, el flujo (Q) de una máquina extrusora para condiciones de fluido newtoniano depende de las variables: D , L , H , θ_1 , N_1 , ΔP y η . Las cuales son, junto con Q , los parámetros más importantes a tomar para la selección de una extrusora, así se tiene:

1. Dimensiones del equipo.

D = Diámetro del cilindro de la extrusora (mm)

L = Longitud del tornillo (mm)

θ_1 = Ángulo entre la hélice y la dirección perpendicular al tornillo (grados)

H = Profundidad del canal en la zona de alimentación (mm)

¹¹ Luis F. Ramos de Valle. *Extrusión de plásticos*

¹² *Ibíd.*

¹³ Fermín Capella. "Maquinaria de extrusión".



2. Especificaciones de operación del equipo.

- N_1 = Velocidad de rotación del husillo (rpm).
 ΔP_1 = Gradiente de presión a lo largo del cilindro (dinas/cm²).
 Q = Gasto o flujo volumétrico (cm³/seg.)

3. Especificaciones del material a extruir.

- η = Viscosidad del flujo (dinas seg/cm² = poises).

Con el objeto de analizar el comportamiento del flujo con la variación de los parámetros de la extrusora, se supondrán tres máquinas con diámetro del cilindro (D) de 30, 60 y 90 mm, respectivamente, con iguales condiciones dimensionales (L, H, θ_1), con iguales condiciones de operación (N_1 , ΔP) y con igual característica de material (η). A continuación se realizará únicamente el cálculo para la extrusora de D=30m:

Partiendo de la ecuación 5.2:

$$Q = \alpha N - \beta \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \quad (5.2)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 H \text{ sen } \theta \text{ cos } \theta$$

$$\alpha = \frac{1}{2} (3.1416)^2 (30)^2 (5) \text{ sen}(17.7^\circ) \text{ cos}(17.7^\circ) = 6.4312 \text{ cm}^3$$

$$\beta = \frac{1}{12L} \pi D H^3 \text{ sen}^2 \theta$$

$$\beta = \frac{1}{12(1200)} (3.1416)(30)(5)^3 \text{ sen}^2(17.7^\circ) = 0.075 \times 10^{-3}$$

$$Q = (6.4312)(100) - (0.075 \times 10^{-3}) \frac{200 \times 10^6}{166.66} = 553.11 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Donde:

- $D = 30 \text{ mm.}$
 $H = 5 \text{ mm.}$
 $\theta_1 = 17.7^\circ$
 $L = 1200 \text{ mm}$
 $N = 100 \text{ r.p.m.}$
 $\Delta P = 200 \text{ Kg/cm}^2$
 $\eta = 10,000 \text{ dinas seg/cm}^2$
 $= 166.66 \text{ dinas min/cm}^2$



La tabla 5.2 muestra los resultados obtenidos para el flujo volumétrico de cada máquina extrusora.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	Condición 1	Condición 2	Condición 3
	Extrusora 30 mm	Extrusora 60 mm	Extrusora 90 mm
D (mm)	30	60	90
H (mm)	5	5	5
θ_1 (grados)	17.7°	17.7°	17.7°
L (mm)	1200	1200	1200
ΔP_1 (dinas/cm ²)	200	200	200
N_1 (rpm)	100	100	100
η (dinas seg/cm ²)	10000	10000	10000
α (cm ³)	6.4312	25.7152	57.85
β (cm ³)	0.075×10^{-3}	0.1511×10^{-3}	0.2267×10^{-3}
Q_m (cm ³ /min)	553.11	2390	5512.95

Tabla 5.2 Flujo volumétrico en una máquina extrusora.

Como se puede ver en la tabla anterior, el flujo volumétrico de la extrusora aumenta en proporción a la capacidad de la máquina extrusora, esto quiere decir que entre más grande sea el diámetro del cilindro de la máquina extrusora mayor será el flujo volumétrico que se obtenga.

Tomando en cuenta que uno de los requisitos a cumplir para la producción de tubo y película flexible, es que el flujo másico del material (PVC) a través de la extrusora debe ser de 120 Kg/h, la máquina de diámetro de husillo (D) igual a 30mm es automáticamente descartada por no alcanzar el flujo requerido. Por lo que respecta a la máquina de diámetro de husillo igual a 90mm, se observa que éste es un equipo de alta producción, superando a la extrusora de $D=60$ mm; obviamente éste no es un equipo adecuado, ya que su utilización representa costos excesivos de mantenimiento y operación, es decir, se tendría un equipo sobrado. De acuerdo a la capacidad, la mejor selección es la extrusora con diámetro de husillo igual a 60mm.

Por otra parte, es importante considerar el comportamiento del flujo para diferentes condiciones de operación y diseño del husillo de la máquina. Para lo cual, en el siguiente ejemplo, se utilizó la máquina extrusora con diámetro de husillo igual a 60 mm, con las siguientes condiciones:

- Condición 1: Profundidad mayor en el canal del husillo.
- Condición 2: Ángulo más grande al recomendado para la hélice del husillo.
- Condición 3: Aumento en la velocidad de rotación del husillo.
- Condición 4: Aumento en el gradiente de presión a lo largo del barril.
- Condición 5: Viscosidad mayor (considerando otro material).



La tabla 5.3 muestra los resultados obtenidos para el flujo volumétrico de la máquina extrusora con diámetro del husillo igual a 60 mm.

CARACTERÍSTICAS GENERALES	Condición 1	Condición 2	Condición 3	Condición 4	Condición 5
	Extrusora de 60 mm				
D (mm)	60	60	60	60	60
H (mm)	8	5	5	5	5
θ_1 (grados)	17.7°	25°	17.7°	17.7°	17.7°
L (mm)	1200	1200	1200	1200	1200
ΔP_1 (dinas/cm ²)	200	200	200	300	200
N_1 (rpm)	100	100	150	100	100
η (dinas seg/cm ²)	10000	10000	10000	10000	50000
α (cm ³)	41.1443	34.0207	25.7152	25.7152	25.7152
β (cm ³)	0.6192×10^{-3}	0.292×10^{-3}	0.1511×10^{-3}	0.1511×10^{-3}	0.1511×10^{-3}
Q_m (cm ³ /min)	3371.60	3051.42	3875.96	2299.53	2535.25

Tabla 5.3 Flujo volumétrico de la máquina extrusora con $D=60$ mm.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se concluye lo siguiente:

- Al aumentar la profundidad (H) en el canal del husillo se obtiene un flujo mayor, sin embargo, se debe tener presente que con una profundidad excesiva se puede tener degradación y/o deficiencia de plastificación del material, debido a que aumenta la cantidad de material entre el husillo y el cilindro.
- Como regla general, la mayoría de los husillos tienen paso cuadrado, es decir, la longitud de campo (longitud entre el inicio de una hélice y el inicio de la siguiente hélice) es igual al diámetro del cilindro; por lo que, para la mayoría de las extrusoras se ha adoptado un ángulo de 17.7°, teniendo la extrusora una eficiencia de alrededor de 45.4% de la máquina. Por otra parte, un ángulo de hélice del husillo menor, suaviza el trayecto del flujo y solamente eleva la eficiencia hasta un 48.5% de la máquina y disminuye la capacidad de tener una presión frontal en el dado. Un ángulo de hélice elevado da una mayor resistencia a la contrapresión en la extrusora, pero la eficiencia se ve afectada drásticamente.
- Al aumentar la velocidad de rotación (N) del husillo aumenta el gasto. Sin embargo, se debe tener cuidado en que no se vea afectada la plastificación del material, ya que éste tiene un menor tiempo de residencia en la extrusora.
- Con un mayor gradiente de presión (ΔP) disminuye el gasto en la extrusora. Se debe tener cuidado con esta situación, ya que el aumento de presión ocasiona un aumento de temperatura, provocando con esto degradación del material y cambios en el flujo (flujo turbulento).



Al variar la viscosidad del material se ve afectado el gasto de la extrusora. De acuerdo a la ecuación 5.2, el término $(-\beta/\eta)$ representa la pendiente de la recta y el término (αN) representa la intersección de la recta con el eje de las ordenadas (fig. 5.5).¹⁴

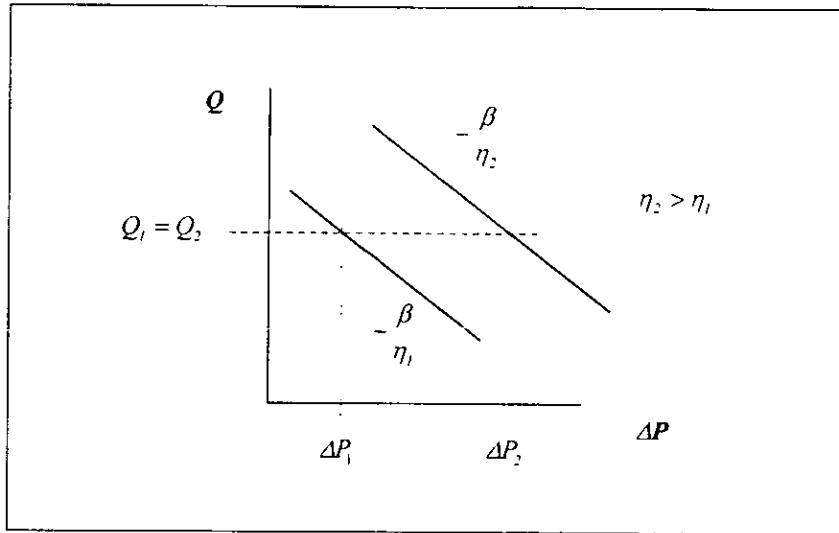


Fig. 5.5 Variación del flujo con respecto a la viscosidad.

En conclusión, la forma de aumentar el gasto es:

- Aumentando las revoluciones del husillo (N).
- Aumentando el diámetro del husillo (D).
- Aumentando el ángulo de la hélice del husillo (θ_1).

Pero en realidad el cambio en alguna de las variables puede a su vez producir cambios en otras variables. Por ejemplo, un aumento en N incrementará a ΔP , seguido de una disminución de η .

5.2.7 Flujo volumétrico en el dado de extrusión.

Como se aprecia en la ecuación 5.3, el flujo (Q) a través de un dado de extrusión para condiciones de fluido newtoniano depende de las variables: gradiente de presión a lo largo del barril (ΔP), viscosidad del material (η) y de la geometría propia del dado. Con el objeto de analizar la dependencia de la variación del flujo en el dado con respecto a su geometría, se realizarán los cálculos para un dado con canal de sección transversal circular (ecuación 5.5), a continuación se muestra únicamente el desarrollo para el caso cuando el radio de la varilla extruida (R) es igual a 0.20 mm y la longitud que se desarrolla dentro del dado (L) es igual a 0.60 mm, con las condiciones de la extrusora de 60 mm de diámetro de husillo. Los resultados se muestran en la tabla 5.4.

¹⁴ Luis F. Ramos de Valle. Extrusión de plásticos.



$$Q_a = \frac{\pi R^4}{8L} \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right) \quad (5.5)$$

$$Q_a = \frac{(3.1416)(0.20)^4}{8(0.60)} \left(\frac{200 \times 10^6}{166.66} \right)$$

$$Q_a = (1.0471 \times 10^{-3})(1200048.002) = 1256.57 \text{ cm}^3 / \text{min}$$

Donde:

- R = radio del tubo o varilla extruido
- L = longitud que se desarrolla dentro del dado
- ΔP = gradiente de presión a lo largo del barril
- η = viscosidad del fluido

CARACTERÍSTICAS GENERALES	Condición 1	Condición 2	Condición 3	Condición 4	Condición 5
	Extrusora de 60 mm				
R (mm)	0.20	0.40	0.60	0.80	1.20
L (mm)	0.60	0.80	1.00	1.20	2.00
Q_a (cm ³ /min)	1256.69	15080.25	61075.00	160855.98	488600.03

Tabla 5.4 Variación del flujo en el dado de extrusión con respecto a la constante de proporcionalidad (K).

Como era lógico, se encuentra que al aumentar el valor de la constante de proporcionalidad (K) aumenta el gasto.

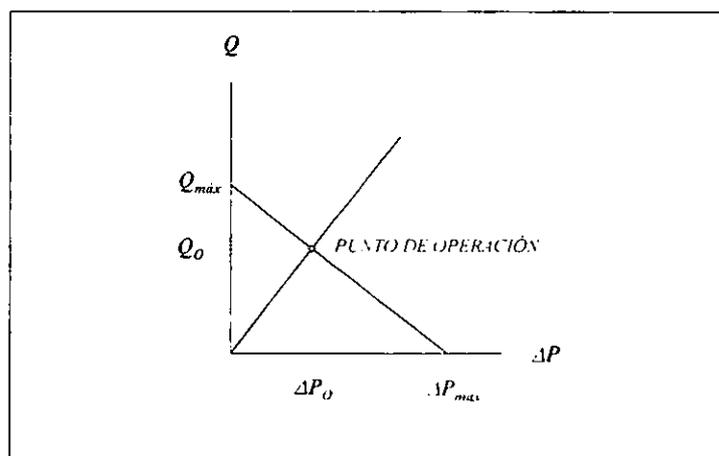


Fig. 5.6 Punto de operación del sistema extrusora-dado.



El punto de intersección entre la línea característica del dado y la línea característica de la extrusora es el punto de operación (fig. 5.6), donde se hallan las condiciones óptimas de funcionamiento de la extrusora. Aplicando el principio de conservación de la masa en el sistema extrusora-dado, se puede obtener el punto de operación ($Q_0, \Delta P_0$) resolviendo el siguiente sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas:

$$Q_{\text{extrusora}} = Q_{\text{dado}}$$

$$Q_{\text{extrusora}} = \alpha N - \beta \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right)$$

$$Q_{\text{dado}} = K \left(\frac{\Delta P}{\eta} \right)$$

Por lo tanto se puede decir que las variables que afectan en forma considerable el flujo volumétrico de la máquina de extrusión y el dado son:

1. Las revoluciones por minuto (N) a las que trabaja la máquina extrusora, ya que a un mayor número de revoluciones mayor gasto. Cabe señalar que el gradiente de presión (ΔP) aumenta en relación con los incrementos en las revoluciones por minuto.
2. La viscosidad del material (η) es otro factor importante que afecta al flujo principalmente en el dado, ya que entre mayor sea la viscosidad existirá un aumento de presión (ΔP) en el interior de la máquina y el dado.
3. El otro factor que afecta considerablemente el flujo del sistema extrusora-dado es el diámetro y espesor del tubo a fabricar. Ya que entre mayor sea el diámetro y el espesor de salida, en el dado se tendrá un mayor flujo volumétrico y una presión (ΔP) menor en el interior de la máquina. En el caso contrario el flujo volumétrico será menor y la presión (ΔP) será mayor.

5.2.8 Consideraciones en el dado.

1. Dar al material plastificado la forma deseada y con las características necesarias para la formación de un producto terminado de excelente calidad.
2. En el dado se pueden modificar o mantener los parámetros de temperatura y velocidad de la masa plastificada que sale de la extrusora.
3. En el dado se puede mantener la presión constante, logrando con ésto evitar las variaciones dimensionales que se pudieran ocasionar, por oscilaciones en la presión de salida de la máquina.



Muchos materiales termoplásticos son sensibles al calor y con tiempos de residencia demasiado prolongados o una temperatura demasiado alta en la máquina de extrusión, originan que el material se degrade.

La distribución de velocidad de un polímero fundido que pasa por un medio de extrusión o adaptador, presenta un perfil parabólico. En dicha forma, el material en el centro del canal se mueve a una velocidad más alta que en las paredes. Este fenómeno se puede notar cuando se realiza un pigmentado de material, comprobando que exista una pronunciada tendencia a que se adhiera a las superficies metálicas y a que eventualmente se degrade, formando dos colores a la salida del dado en la parte central muestra el nuevo color y en las paredes del dado fluye material con el color anterior.

Para reducir estos peligros de degradación se debe cuidar en el diseño del dado, la distribución del tiempo de residencia del material, evitando los escalones, holguras y obstrucciones al flujo. Todos estos cambios de forma y de dimensiones deben ser graduales y parejos. Cuidando que los acabados del herramental estén altamente pulidos y protegidos contra los efectos corrosivos del material fundido o de sus productos de degradación. Por lo que es necesario diseñar las secciones de entrada y salida tomando como base la inclusión de ángulos no mayores de 60° en los cambios de sección.¹⁵

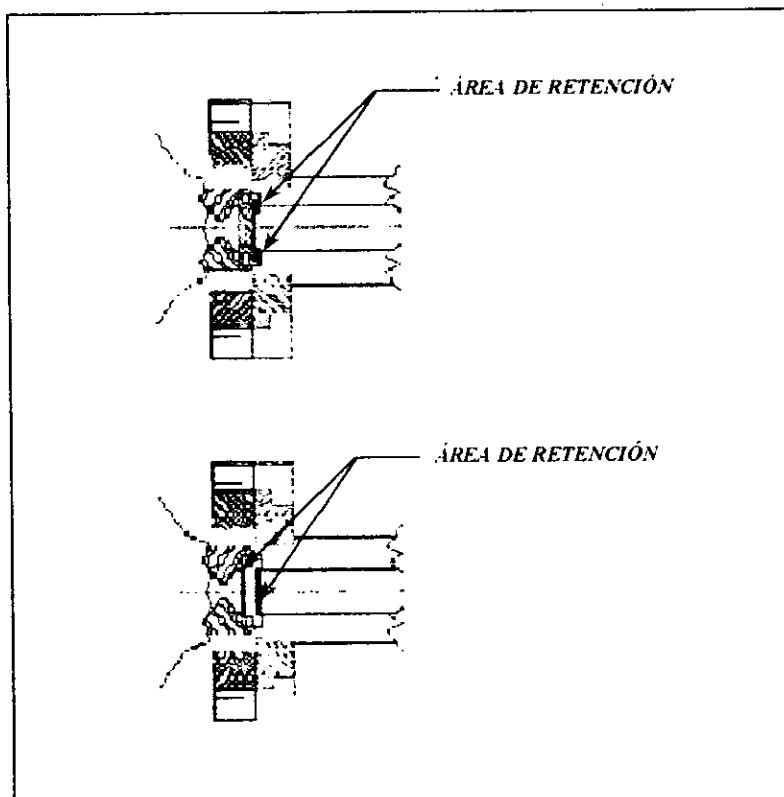


Fig. 5.7 Zonas de retención en un dado.

¹⁵ Muccio Edward A. Plastics Processing Technology.



5.3 Cálculos para el diseño del dado para tubo.

Hasta el momento, únicamente se puede calcular el flujo del dado, con las fórmulas correspondientes, dependiendo de la geometría de su canal de flujo. Pero para realizar el diseño del dado es necesario considerar además de dicha geometría, las dimensiones del producto final, la forma en la cual es alimentado el dado y el material a ser procesado.

Cabe señalar que sólo se realizará el enfoque a los dados anulares, ya que este tipo de dado es utilizado para producir perfil tubular, manguera y película tubular soplada.

Por lo general, siempre se conocen las dimensiones finales de la pieza, ya que éstas son proporcionadas para realizar el diseño del dado.

En el caso particular del tubo plástico flexible para uso médico se tienen las siguientes consideraciones:

- Los parámetros de entrada son las dimensiones del producto final: espesor de pared, diámetro exterior y/o diámetro interior.

El diámetro exterior del tubo médico se obtiene por medio de la siguiente fórmula:

$$\phi_{ext} = 2P + \phi_{int} \quad (5.6)$$

Donde:

P = pared del tubo
 ϕ_{int} = diámetro interior del tubo

El cálculo para la obtención del Bushing de diseño, que corresponde al diámetro interior mayor del dado anular, se obtiene de la siguiente forma:

$$B_d = F\phi_{ext} \quad (5.7)$$

Donde:

B_d = bushing de diseño
 ϕ_{ext} = diámetro exterior del tubo
 F = factor de contracción



Nota: El valor general que se utiliza como relación de contracción para plásticos es 1.2. Pero por medio de tablas técnicas de distribuidores de resinas plásticas, se puede obtener el valor correspondiente de forma más precisa.

En algunos ocasiones se proporciona el bushing práctico del tubo, que corresponde al diámetro que se forma cuando el tubo plástico sale del dado, en estos casos es muy importante considerar el hinchamiento del extruido del tubo plástico, ya que como se mencionó anteriormente se presenta una contracción de material después de que es enfriado el tubo. Así, se puede obtener la relación de contracción:

$$F_c = B_p / \phi_{ext} \quad (5.8)$$

F_c = factor de contracción del material

B_p = bushing de práctico

φ_{ext} = diámetro exterior del tubo

- *Para la Zona A se recomienda al menos la misma distancia del diámetro del bushing de diseño para extrusoras de diámetro de tornillo de 25 a 60 mm. En el caso de extrusoras de diámetro de tornillo de 90 o 95 mm se recomienda el 20% más del diámetro del bushing de diseño.*
- *Para la Zona B se recomienda al menos el 50% más de la longitud que se tiene en la Zona A del bushing para extrusoras de diámetro de tornillo de 25 a 60 mm. En el caso de extrusoras de diámetro de tornillo de 90 o 95 mm se recomienda el 80% más del diámetro del bushing de diseño.*
- *Para la Zona C se recomienda al menos una décima parte del diámetro de la extrusora, aunque es importante considerar el ángulo que se forma entre la Zona C y la Zona A sea al menos de 10° para que no se tenga problemas en el desplazamiento del material. Así para extrusoras de diámetro de tornillo de 90 o 95 mm, esta zona corresponde a una quinceava parte de dicho diámetro.*
- *Para la Zona D, se tienen las mismas consideraciones que la zona C, es decir el ángulo que se forma entre la Zona D y la Zona B sea al menos de 10° para que no se tenga problemas en el desplazamiento del material.*
- *El Diámetro interior de entrada de material en el mandril (D.E.) es igual al diámetro del tornillo menos un 10%.*



- El Diámetro interior de entrada de material en el bushing (D.F.), es igual al diámetro del tornillo.
- Para la Longitud del mandril (G) se recomienda que sea de 1.5 a 4 veces el diámetro del tornillo, éste es un parámetro que depende mucho del criterio del diseñador.
- La Longitud del bushing (J) es un poco más corta que la longitud del mandril, por lo general un 20% menos.
- Para el Diámetro exterior del bushing para ensamble con el cuerpo del dado (D.G.) por lo general se recomienda que sea de 1.5 a 2 veces el diámetro del tornillo para tener un buen calentamiento en toda la zona del dado.

La tabla de cálculo 5.6 contiene los principales elementos que integran un dado anular para tubo. En la cual, es indispensable proporcionar los datos del 1 al 6 y dependiendo del diámetro del cilindro (25 a 95mm) de la extrusora, se pueden obtener los parámetros principales de forma práctica y sencilla.

La tabla 5.5 contiene los datos necesarios para el diseño del tubo plástico. Por ejemplo, para el caso del tubo 1 se tienen los siguientes datos de entrada, los cuales corresponden a las dimensiones del producto final, del material a procesar y del tipo de máquina extrusora:

1. Diámetro del Tornillo de la máquina extrusora = (60 mm).
2. Pared del tubo plástico = Dato obtenido de la tabla 5.5 (0.8255 mm).
3. Diámetro Interior del tubo plástico = Dato obtenido de la tabla 5.5 (6.2738mm).
4. Factor de contracción = Dato obtenido de hoja Técnica del Material PVC. (1.2).
5. Diámetro Exterior = Dato proporcionado por proveedor o con el desarrollo del cálculo de la ecuación 5.6.
6. Bushing de Diseño = Dato proporcionado por proveedor o con el desarrollo del cálculo de la ecuación 5.7.

TUBO MÉDICO	Pared [mm]	Diámetro interior [mm]	EXTRUSORA		MATERIAL A PROCESAR
Tubo 1	0.8255	6.2738	50/60	90/95	PVC
Tubo 2	0.8120	4.9022	25/30/40		

Tabla 5.5 Datos de tubo plástico para el diseño.



Las partes base que conforman el dado para extrusión de tubo plástico son: el Bushing y el Mandril. En la figura 5.8 se muestra el dimensionamiento de los elementos que integran el dado para tubo plástico.

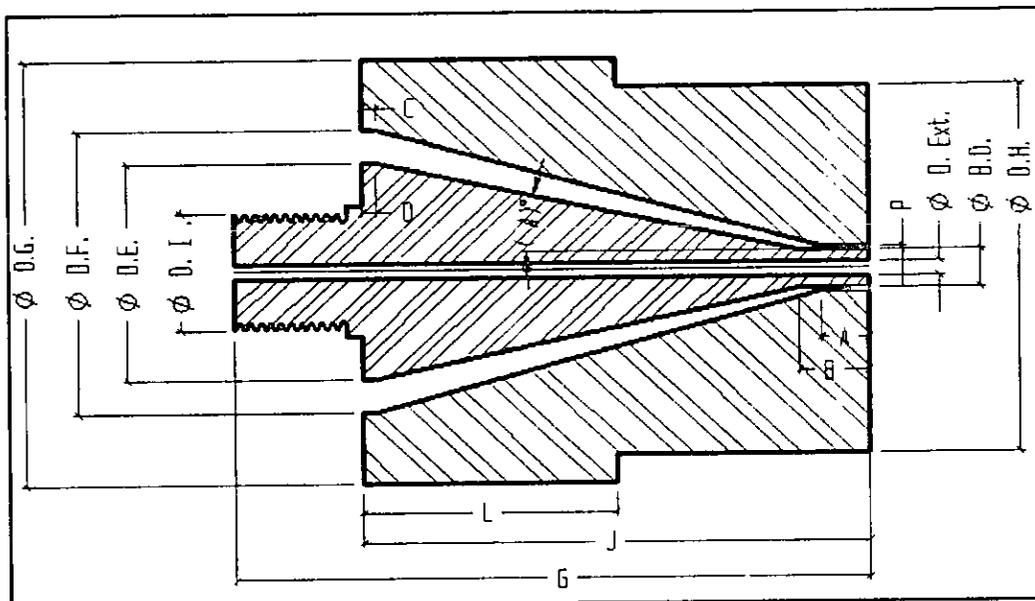


Fig. 5.8 Principales dimensiones del dado para tubo.

Donde:

- D. Ext. Diámetro Exterior en (mm).
- B.D. Bushing de diseño en (mm).
- P Ancho de pared.
- A Zona A, longitud de salida de material en el Bushing.
- B Zona B, longitud de salida de material en el mandril.
- C Zona C, longitud de entrada de material en el Bushing.
- D Zona D, longitud de entrada de material en el mandril.
- G Longitud del mandril.
- J Longitud del Bushing.
- L Zona de sujeción del Bushing en el cuerpo.
- D.E. Diámetro interior de entrada de material en el mandril.
- D.F Diámetro interior de entrada de material en el bushing.
- D.G. Diámetro exterior del Bushing para ensamble con cuerpo del dado.
- D.H. Diámetro exterior del Bushing para ajuste con tuerca.
- A° Ángulo de transporte del material plástico.



Todos los cálculos y dimensiones del dado han sido tomados en milímetros para facilitar el desarrollo y la elaboración de planos.

ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE UN DADO PARA TUBO						
	Símbolo	DIMENSIONES PRINCIPALES DEL DADO PARA TUBO.	UNIDADÉ	DIÁMETRO DEL EXTRUSOR 25 , 30 , 40	DIÁMETRO DEL EXTRUSOR 50,60	DIÁMETRO DEL EXTRUSOR 90 o 95
1	D.Tornillo	DIÁMETRO DEL TORNILLO	mm	30	60	90
2	P.Tubo	PARED DE TUBO	mm	0.812	0.8255	0.8255
3	D.Interior	DIÁMETRO INTERIOR	mm	4.9022	6.2738	9.5023
4	K	FACTOR DE CONTRACCIÓN	mm	1.2	1.2	1.2
5	D.Ext.	DIÁMETRO EXTERIOR	mm	6.5262	7.9248	11.1533
6	B.D.	BUSHING DE DISEÑO	mm	7.83144	9.50976	13.38396
7	P.	ANCHO DE PARED	mm	1.30524	1.58496	2.23066
8	A	ZONA A	mm	7.8	9.5	16.060752
9	B.	ZONA B	mm	11.75	14.26	24.091128
10	C	ZONA C	mm	3	3	6
11	D	ZONA D	mm	3	3	6
12	D.E.	D.INT.DE ENTRADA DE MAT.	mm	27	46	81
13	D.F	D.EXT.DE ENTRADA DE MAT.	mm	30	60	90
14	G	LONGITUD DEL MANDRIL	mm	105	125	150
15	J	LONGITUD DEL BUSHING	mm	84	100	120
16	D.G	D. EXT PARA CUERPO	mm	60	90	120
17	D.H	D. INT. PARA TUERCA.	mm	50	78	105
18	L	ZONA DE SUJECIÓN	mm	42	50	60
19	D.I.	CUERDA DE MANDRIL	mm	17	25	30

Tabla 5.6 Cálculos realizados para el diseño de un dado para tubo.

5.4. Cálculos para el diseño de dado para película soplada.

El dado anular, también es utilizado para la obtención de película tubular (bolsa) plástica para equipo médico, pero de diferente forma que la utilizada en el tubo médico.

El proceso de soplado de bolsa (fig. 5.9) es un proceso más complejo que el utilizado para tubo, en éste el plástico sale del dado en forma de tubo con un espesor uniforme a todo lo ancho de la pared. Generalmente el tubo es extruido en ángulo recto con respecto a la extrusora aunque en algunos casos puede extruirse en forma horizontal.

Esta masa plástica que sale de la extrusora debe ser enfriada inmediatamente para solidificar la película, ésto se logra por medio de un anillo de enfriamiento montado directamente sobre el dado.



El corazón del dado debe ser diseñado con un ducto que permita alimentar aire para inflar el tubo, hasta obtener el diámetro deseado de la bolsa. El aire queda encapsulado dentro del tubo plástico, mediante un par de rodillos que se encuentran en la parte superior de la torre de película y la boquilla del cabezal. Ésto asegura un diámetro uniforme de la película.

La película ya solidificada desciende de la torre, con el apoyo de unos rodillos jaladores que se encuentran en la parte inferior, los cuales ayudan a que la película se jale en forma plana para ser embobinados en el rodillo embobinador y después realizar los procesos secundarios que se requieran, como impresión, sellado térmico y corte de la misma.

Al ser estirada la película plástica tanto en dirección al flujo (por los rodillos de arrastre), como en sentido transversal al mismo (por la presión interna del aire encapsulado en la burbuja), las moléculas del plástico fundido sufren un reacomodo u orientación en sentido del estirado. La orientación molecular mejora las propiedades mecánicas del plástico y permite la contracción o encogimiento en la película termoencogible.

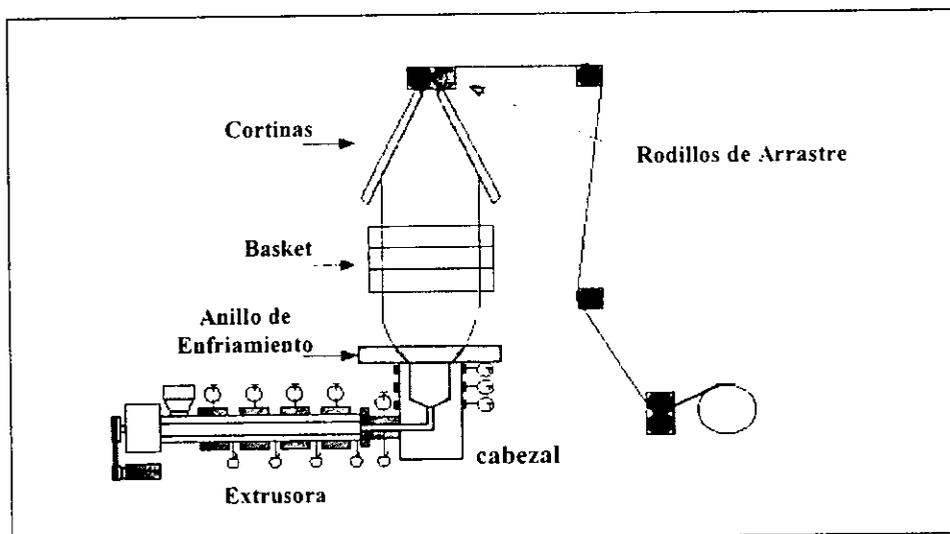


Fig. 5.9 Extrusión de película soplada.

Al igual que en el dado anular para tubo, el diseño del dado anular para película soplada involucra la geometría del canal de flujo, las dimensiones del producto final, la forma en la cual es alimentado el dado y el material a ser procesado.

En el caso particular de la película soplada para uso médico se ha considerado que el dado es alimentado en ángulo recto.

En el dado anular para película tubular se requiere saber cuál es la relación de soplado, cuál es la relación de estirado en la bolsa y cuál es el espesor de la película.



5.4.1 Relación de soplado.

La relación de soplado (RS) es la relación entre el diámetro de la burbuja (D_{bu}) y el diámetro del dado (D_c). Como es muy difícil medir el diámetro de la burbuja durante el procesamiento sin dañarla, se calcula a partir del ancho de la película mediante la siguiente fórmula:

$$RS = D_{bu} / D_c \quad (5.9)$$

Donde:

RS = relación de soplado
 D_{bu} = diámetro de la burbuja
 D_c = diámetro del cabezal

Siendo el diámetro y perímetro de la burbuja:

$$D_{bu} = p / \pi \quad (5.10)$$

$$p = 2A \quad (5.11)$$

Donde:

P = perímetro de la burbuja
 A = ancho de la película

Sustituyendo la ecuación 5.11 en la ecuación 5.10:

$$D_{bu} = \frac{2A}{\pi} = 0.637A \quad (5.12)$$

Sustituyendo la ecuación 5.12 en la ecuación 5.9:

$$RS = \frac{0.637A}{D_c} \quad (5.13)$$

La relación de soplado (RS) define el grado de orientación molecular que sufre el plástico fundido en dirección transversal al flujo. Entre mayor sea la RS mayor orientación perpendicular presentará la película y mejoran las propiedades mecánicas.



La relación de soplado óptima depende principalmente del material empleado y del uso que tendrá la película. Los intervalos prácticos de la RS para el PEBD van de 1.5 a 5.0, para el PEAD de 3.4 a 5.9, para PA6 entre 1.5 y 2.5 y para PVC flexible de 2.0 a 3.0 (en película de 1 a 4 milésimas de pulgada). Sin embargo, dado que además de la orientación transversal simultáneamente ocurre la orientación molecular en sentido del flujo, no puede aislarse la relación de soplado de la relación de estirado.

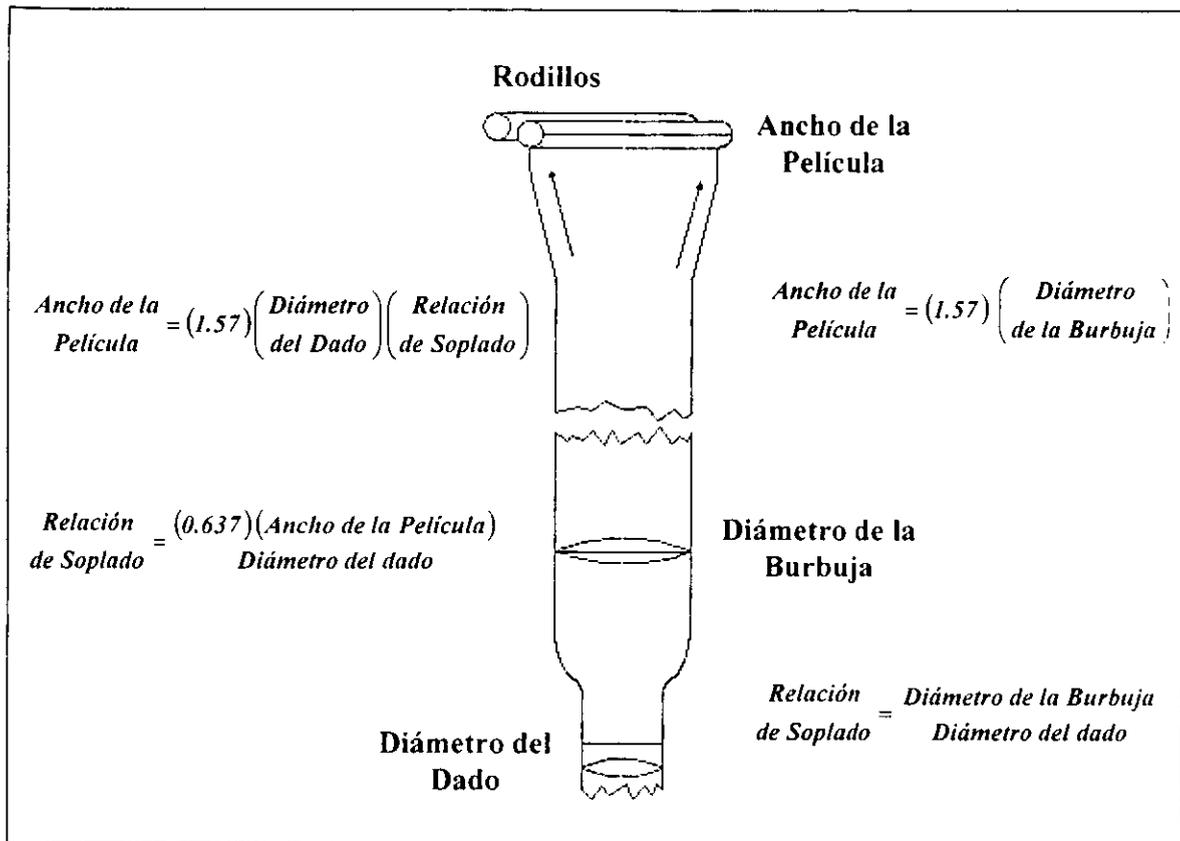


Fig. 5.10 Soplado de película plástica.

5.4.2 Relación de estirado.

La relación de estirado (RE) es la relación que existe entre la luz del cabezal (espacio libre entre la boquilla y el corazón) y el espesor de la película, afectado por la relación de soplado (ver figura 5.10). La relación de estirado indica la reducción de espesor después de que la burbuja ha adquirido su diámetro final.

La relación de estirado (fig. 5.11) está dada por:

$$RE = \frac{\lambda}{eRS} \quad (5.14)$$



Donde :

RE = relación de estirado

λ = luz del cabezal

e = espesor de la película

La relación de estirado determina la orientación molecular en dirección del flujo; de ésta dependerá la contracción longitudinal de la película y conjuntamente con la RS determina las propiedades mecánicas y ópticas del producto final.

Si la relación de soplado es mayor que la relación de estirado, las moléculas del plástico se orientaran en dirección perpendicular, entonces la película tendrá mayor resistencia mecánica en sentido transversal y menor resistencia longitudinal.

Si la relación de soplado es menor que la relación perpendicular no se realiza de la misma forma ni con igual velocidad que el estiramiento longitudinal, el hecho de tener la relación de soplado numéricamente igual a la relación de estirado, no implica que la orientación molecular y las propiedades mecánicas sean iguales en ambas direcciones.

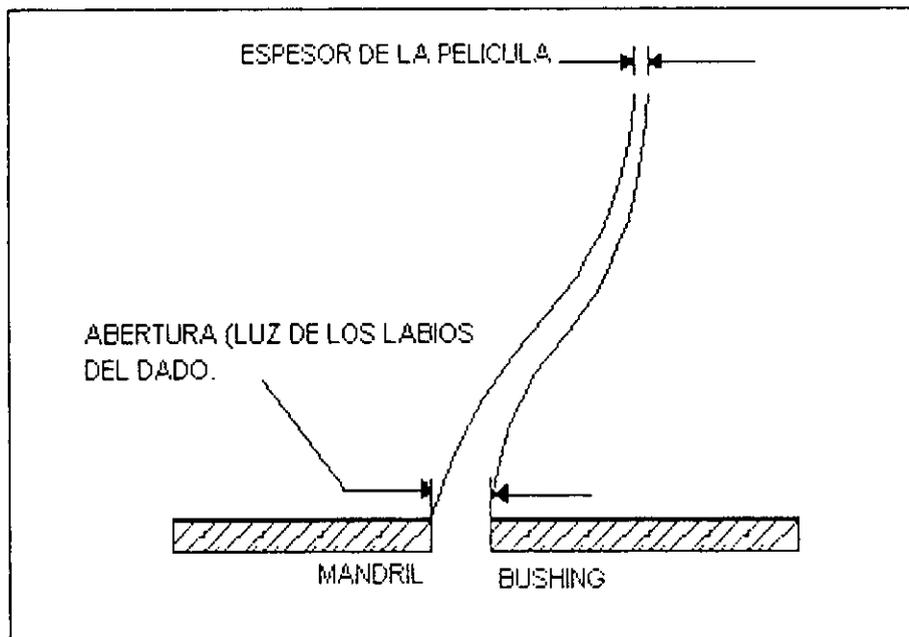


Fig. 5.11 Determinación y ajuste de la relación de estirado.

Características Dimensionales: las dimensiones de la película están dadas de acuerdo al uso al que se destinará. Por ejemplo, el espesor, el ancho y el grado de encogimiento en película termoencogible, son las características dimensionales más importantes.



- a) **Espesor.** El Espesor o calibre de la pared de la película se mide con un micrómetro y se expresa en centésimas de milímetro o en milésimas de pulgada. Dependiendo de las aplicaciones de la película, el espesor es de 0.5 y 4.0 milésimas de pulgada.
- b) **Ancho de la película.** El ancho de la película soplada es la longitud perpendicular al flujo que alcanza el tubo extruido después de pasar por los rodillos jaladores. El ancho de la película se controla por medio de la cantidad de aire contenido en la burbuja. En producción continua, el diámetro del tubo puede modificarse durante el transcurso del día, a causa de la expansión térmica del aire encapsulado o por variación de la altura de la línea de solidificación (línea de enfriamiento).
- c) **Encogimiento.** La película termoencogible es aquella que sufre alteración en sus dimensiones, cuando es sometida a temperaturas superiores a su punto de ablandamiento. Los encogimientos son el resultado de la relajación de las moléculas orientadas. Al ser inflado y estirado el tubo, sus moléculas son forzadas a permanecer en un arreglo no aleatorio; el enfriamiento "congela" dicho arreglo, el que permanece estable hasta que se le aplica calentamiento a una temperatura superior a su punto de deformación, el cual libera las tensiones provocando un reacomodo molecular similar al que poseía el tubo antes de ser orientado.

Dependiendo de la relación de soplado y de la relación de estirado, se presentará encogimiento en dirección transversal, longitudinal o en ambos sentidos de la película al someterse a una temperatura entre 60 y 120 °C.

Encogimiento transversal: Es el encogimiento que sufre la película en su ancho. Generalmente, en película de polietileno se obtienen encogimientos máximos del 20%, mientras que en película de PVC pueden obtenerse encogimientos superiores al 50%, debido a su estructura molecular que le permite una mayor relación de soplado sin determinar las propiedades mecánicas.

Encogimiento longitudinal: El encogimiento longitudinal ocurre en el sentido en que fue hecha la extrusión.

Los encogimientos se determinan por medio de la diferencia en dimensiones de una muestra de 10 x 10cm (método ASTM D-1204 y D-2732) antes y después de exponerse a cierta temperatura en un determinado tiempo. Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la fórmula siguiente:

$$\% \text{Encogimiento} = \frac{D_0 - D_1}{D_0} * 100$$

Donde:

D_0 = dimensión original, ya sea el ancho o el largo de la muestra.
 D_1 = dimensión de la película después de la prueba.



La obtención de los principales parámetros del dado para bolsa plástica, implica el dimensionamiento de las partes fundamentales que lo forman: Bushing y Mandril, como fue en el caso anterior. La fig. 5.10 muestra las principales dimensiones del dado para película soplada.

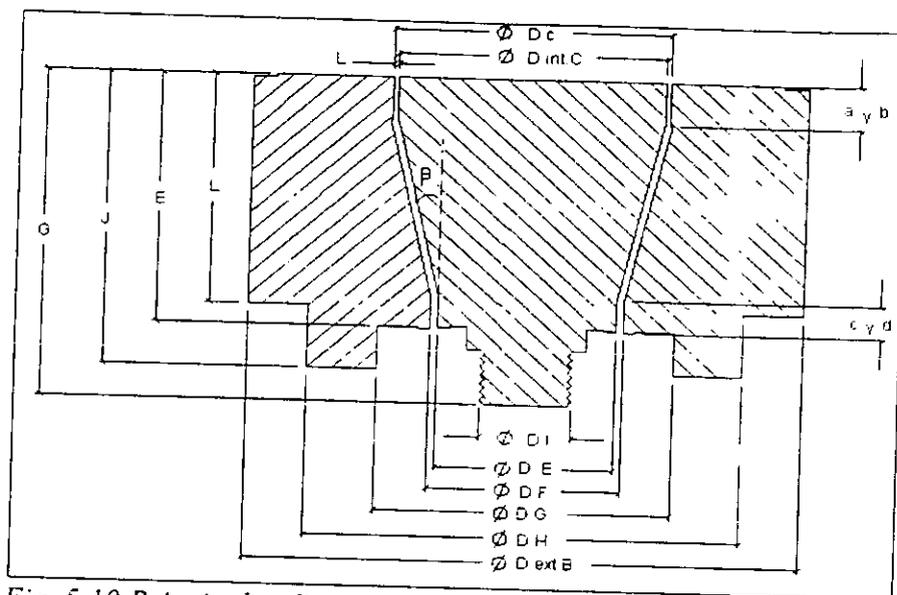


Fig. 5.10 Principales dimensiones del dado para película soplada.

Donde :

- D.C. Diámetro Exterior del dado.
- B.int.C. Diámetro Interior del dado.
- P Ancho de pared.
- A Zona A, longitud de salida de material en el Bushing.
- B Zona B, longitud de salida de material en el mandril.
- C Zona C, longitud de entrada de material en el Bushing.
- D Zona D, longitud de entrada de material en el mandril.
- G Longitud del mandril.
- J Longitud del Bushing.
- L Zona de sujeción exterior del Bushing con el cuerpo.
- E Zona de sujeción interior del Bushing con el cuerpo.
- D.E. Diámetro interior de entrada de material en el mandril.
- D.F. Diámetro interior de entrada de material en el bushing.
- D.G. Diámetro exterior del Bushing para ensamble con cuerpo del dado.
- D.H. Diámetro exterior del Bushing para ajuste con tuerca.
- D ext. B Diámetro exterior del Bushing.
- D.I. Diámetro de cuerda del mandril.
- β° Ángulo de transporte del material plástico.



ESPECIFICACIONES PARA EL DISEÑO DE UN DADO PARA BOLSA				
	Símbolo	DIMENSIONES PRINCIPALES DEL DADO PARA TUBO.	UNIDADE	DIÁMETRO DEL EXTRUSOR 50-60
1	D.Tornillo	DIÁMETRO DEL TORNILLO	mm	60
2	e	ESPESOR DE LA PELÍCULA	mm	2
3	RS	RELACIÓN DE SOPLADO		2
4	A	ANCHO DE LA PELÍCULA	mm	350
5	D.INT. C.	DIÁMETRO INT. DEL CABEZAL	mm	111.4
6	P	PERIMETRO DE LA BURBUJA	mm	700
7	L	LUZ DEL CABEZAL	mm	2
8	Db	DIÁMETRO DE LA PELÍCULA	mm	222.82
9	RE	RELACIÓN DE ESTIRADO		0.50
10	D c.	DIÁMETRO DEL CABEZAL	mm	115.4
11	a	ZONA DE a	mm	23.08
12	b	ZONA DE b	mm	23.08
13	c	ZONA DE c	mm	18.57
14	d	ZONA DE d	mm	18.57
15	D.E.	D.INT.DE ENTRADA DE MAT	mm	75
16	D.F	D.EXT.DE ENTRADA DE MAT.	mm	80
17	E	LONGITUD DE RECORRIDO	mm	120
18	G	LONGITUD DEL MANDRIL	mm	155
19	J	LONGITUD DEL BUSHING	mm	140
20	D.ext.B.	D. EXT. DE BUSHING	mm	222.8
21	D.G.	D. AJUSTE DE SPIDER	mm	122.0
22	D.H	D. INT. PARA TUERCA.	mm	180
23	L	ZONA DE SUJECIÓN	mm	120
24	D.I.	CUERDA DE MANDRIL	mm	34

Tabla 5.7 Cálculos realizados para el diseño de un dado para bolsa.

La tabla de cálculo 5.7 contiene todas las dimensiones necesarias para fabricar un dado para bolsa plástica. En la cual es indispensable proporcionar los datos del 1 al 4 y dependiendo únicamente de la capacidad de la máquina extrusora (50 y 60 mm), se pueden obtener los parámetros principales de forma práctica y sencilla.

Por lo que sólo es necesario tener los siguientes datos:

1. Diámetro del Tornillo de la máquina (60 mm).
2. Espesor de la película. Proporcionada por especificación (2mm).
3. Relación de soplado. Dato proporcionado por proveedor o con el desarrollo de la ecuación 5.13.
4. Ancho de la película. Dato proporcionado por cliente.

Para el diseño del dado de bolsa plástica se ha tomado como base la relación de soplado que corresponde para el PVC flexible: $RS=2$.



CAPÍTULO VI

PLANOS DE DISEÑO.

Hasta el momento sólo se tienen determinadas las dimensiones de los principales elementos (*bushing* y *mandril*) que integran tanto al dado para tubo como al dado para película soplada. El diseño de los elementos restantes (tratados en el Capítulo IV), tales como, cuerpo, *spider* adaptador, brida adaptadora, tuerca de ajuste, etc. se presentará en el plano de diseño correspondiente.

En cada plano se manejan las dimensiones, las tolerancias correspondientes y el tipo de material que se utilizará para cada uno de los elementos del dado, así como los procesos de maquinado y los tratamientos de temple y nitrurado que se requieren para la fabricación.

En el pasado, el diseño se trataba como una etapa aislada del proceso productivo, debido a que el sistema de manufactura era de tipo secuencial. En la actualidad, el diseño se apoya en herramientas de computación para el modelado, la manufactura y la ingeniería de piezas. Con lo que se acorta el tiempo de desarrollo de un producto debido al traslape de funciones y concurrencia de actividades. De tal forma, que las aplicaciones CAD toman los elementos básicos del dibujo técnico para hacer más fácil la generación de formas y su visualización en 3D. Las aplicaciones CAM se emplean para tareas de simulación, control y administración de la manufactura. Los sistemas CAE permiten hacer pruebas y análisis del comportamiento del producto bajo condiciones de funcionamiento. Además la utilización de sistemas de ajuste y tolerancias estandarizadas, permite tener un lenguaje común en el diseño. Todas estas herramientas sumadas a las consideraciones económicas para el diseño, dan como resultado un conjunto de conceptos que no deben perderse de vista debido a la utilidad que aportan al proceso, por lo que en el presente capítulo se dará una breve introducción.

6.1 Sistemas de ajuste y tolerancias.¹

El acabado de piezas maquinadas que ensamblan, en un principio, se lograba mediante prueba y error hasta obtener un ajuste adecuado. En la actualidad, las necesidades de intercambiabilidad y producción de grandes volúmenes, imponen un análisis cuidadoso para lograr, desde el diseño, la eliminación de problemas de ensamble.

Todas las piezas de un determinado tamaño, en teoría, deberían ser exactamente iguales en sus dimensiones, sin embargo, diversos factores como el calentamiento de la maquinaria, desgaste de las herramientas, falta de homogeneidad de los materiales, vibración, etcétera, dificultan alcanzar este ideal, por lo que deben permitirse variaciones de las dimensiones especificadas. a ésto se le llama tolerancia y es la diferencia entre los límites superior e inferior especificados.

¹ Ramón Zeleny Vázquez. *Metrología dimensional*.



De igual forma, al ensamblar las piezas ocurre un ajuste, el cual es la cantidad de juego o interferencia resultante de tal ensamble, los ajustes pueden clasificarse en: con juego, indeterminado o de transición, con interferencia, forzado o de contracción.

El ajuste se selecciona con base a los requerimientos funcionales de la parte; por ejemplo, si se desea que una pieza se desplace dentro de la otra se utilizará un ajuste con juego, pero si se desea que las dos piezas queden firmemente sujetas se utilizará un ajuste forzado.

Una forma de determinar las tolerancias de una pieza es por medio del sistema ISO, en el que la dimensión especificada precede a la tolerancia expresada mediante una letra y un número. En el sistema ISO se utilizan letras mayúsculas para características internas y minúsculas para características externas, que indican la posición de la zona de tolerancia respecto a la línea cero.

Por ejemplo puede verse que 60 H7 determina lo siguiente: 60 corresponde a la dimensión especificada entre una distancia de >50 a 80mm en tablas, mientras que H7 es una característica interna que en este caso es para un valor de 60mm, en el que H7 está en la línea cero de las desviaciones positivas.

Corresponde según tabla de 60 a $60^{-0.030}$

Para determinar las tolerancias correspondientes para el dado para tubo y bolsa de equipo médico, se utilizaron las tablas para tolerancias con relación a ISO, para características internas y externas, las cuales sirvieron para hacer el ajuste entre las piezas al momento de realizar el ensamble.

6.2 Introducción de los sistemas CAD, CAM, CAE.

Actualmente las computadoras brindan una gran ayuda en el diseño y producción en casi cualquier rama de la ingeniería. Principalmente existen tres grandes ramas de aplicación de las computadoras en la ingeniería:

- CAD (Computer Aided Design) o Diseño Asistido por Computadora. Los programas CAD se emplean para hacer diseños, esquemas o dibujos mediante la computadora.
- CAM (Computer Aided Manufacturing) o Manufactura Asistida por Computadora. Mediante esos programas se controlan máquinas herramientas, como es el caso de sistemas de maquinado, tornos, fresadoras, electroerosionadoras de CNC, sistemas de coordenadas, mesas de coordenadas, sistema de digitalización, etc.
- CAE (Computer Aided Engineering) o Ingeniería Asistida por Computadora. Con estos programas se analizan los diseños, y se hacen simulaciones antes de que se produzca una muestra física.



Método de alambre. Con este método el diseñador puede formar fácilmente modelos de malla en CAD/CAM. El modelo del producto se construye basándose en entidades geométricas. Las entidades típicas utilizadas en el modelado de alambres son: puntos, líneas, arcos, círculos, etc. El método de modelado de alambre es muy similar a una proyección isométrica en la que cada una de las líneas y entidades representan el filo de superficies del producto y las cuales formaran a una pieza única, que puede observarse en la pantalla en diversas vistas, tridimensionales gracias a una base de datos.

Método de superficie. El modelado de superficies es usado para representar todas las caras exteriores o los límites del producto. En los modelos de superficies, cada punto de la superficie del producto se puede describir, ya sea mediante las coordenadas explícitas de un nodo, o por interpolación utilizando ecuaciones paramétricas para definir puntos que se encuentren entre nodos. La mayoría de los métodos actuales de modelado por superficies utilizan un número de nodos a predeterminados intervalos para definir un límite o una superficie. A través de estos puntos se ajusta una línea, de la misma forma que se empleaba en un restirador hace varios años. Como el sistema CAD/CAM requiere utilizar un conjunto preciso de ecuaciones matemáticas para definir tal curva, este método hace que cada punto a lo largo de la curva sea definible.

El método de modelado de superficies en CAD/CAM no sólo permite definir superficies, sino evaluar la apariencia estética del producto a través del sombreado, y directamente manejar el producto terminado mediante una descripción precisa de las curvaturas que se generan en el desarrollo de un nuevo diseño. Así como contar con un sistema de base de datos que puede ser almacenada en forma progresiva para ser utilizada para procesos comparativos. Un paquete que utiliza en gran parte este tipo de método de superficies, es el paquete de diseño Euklid, el cual esta especialmente inducido para servir de fase con fresadoras y máquinas de CNC de tres a cinco ejes. Utiliza tecnología 2D, 3D genera superficies tridimensionales muy complejas, redondeo (fillets), corte (trim) y ángulo de salida o desmoldeo.

Método de sólido. En la actualidad, el concepto de modelar sólidos se ha convertido en lo último en modelar objetos reales. El modelado de sólidos toma un paso adelante del modelado de superficies, en lo que se refiere a asegurar que el producto que se está modelando es válido y realizable; un modelo sólido de producto puede ser creado de varios métodos, tales como una suma y resta Booleana de formas primitivas (cubos, esferas, prismas, conos, etc). Otras técnicas incluyen la rotación y arrastre de patrones dibujados en 2D, a través del espacio, e incluso la posibilidad de "coser" juntos los bordes de modelos de superficies. Por medio de los modelos sólidos, la masa y límites del producto están representados en términos completamente definidos.

Sistemas paramétricos. Los programas paramétricos permiten modelar piezas de una forma más dinámica, pues trabajan con modelos sólidos en los que es posible mover superficies simplemente cambiando una cota, en lugar de tener que mover línea por línea o cambiar todo un perfil simplemente modificando un esquema.

Uno de los programas clásicos en esta serie de "world class", es el paquete paramétrico "Pro/Engineer", está integrado por una gran variedad de módulos operativos para proyectos CAD/CAM/CAE. En el área de diseño industrial utiliza herramientas de dibujo en 2D y 3D.



sólidos, animación, perspectiva y un módulo de Photorender proporciona imágenes fotorealistas de los modelos para evaluaciones y presentaciones.

Sistemas de simulación de proceso. Mediante esta técnica se pueden combinar los resultados obtenidos en el análisis de elementos finitos y del análisis modal, para hacer un modelo compuesto del sistema de la pieza. Con la ayuda de paquetes de CAM para producir soluciones para la forma de maquinado de un molde, así como prototipos, e interacciones diversas con herramientas de control numérico. El modelo compuesto detalla a la pieza de una manera más precisa, usando tanto animación de esquemas coloreados y formas de modo para predecir el comportamiento durante el uso.

Digitalización. En algunos casos se puede contar con piezas físicas con las cuales se pueden crear los sistemas de base de datos necesaria para realizar el diseño de un producto o molde. Los métodos tradicionales para el diseño y desarrollo de productos frecuentemente han involucrado el uso de un modelo o patrón, el cual puede ser empleado como base o patrón para sustitución o rediseño de las piezas en un molde. Estos sistemas de base de datos también son utilizados para realizar reportes de aprobación de apariencia y funcionalidad del producto de trabajo detallado de ingeniería. La habilidad de manipular y tocar un modelo físico, puede ser indispensable en algunos ámbitos de diseño.

6.3 Consideraciones económicas para el diseño.

Resumiendo, las ventajas más importantes del plástico utilizado y del proceso de transformación se reducen a lo siguiente.

1. El utilizar un plástico PVC grado médico, provoca una reducción de peso ante otros materiales, claridad, facilidad de proceso, capacidad de ser esterilizado, fácil de procesar, facilidad someterlo a otros procesos como soldado, excelentes propiedades mecánicas, y por supuesto una reducción de precio.
2. Por otra parte el tipo de proceso de transformación que se está utilizando ofrece grandes ventajas. La extrusión en la actualidad es uno de los procesos más utilizados en el país ya que por este método se pueden procesar infinidad de productos con bajos costos de operación de máquina.
3. Los tipos de dados que se utilizan son la clave para que se tenga un producto de excelente calidad por lo que es indispensable invertir en buenos herramientas para evitar problemas posteriores.

Hasta el momento se tiene los principales elementos que se necesitan para obtención de un tubo y una película plástica de grado médico, pero es importante tomar en cuenta los costos que involucran la fabricación de estos productos.



6.3.1 Análisis de factibilidad técnico económica.

Son muchos de los factores que se relacionan con el diseño de piezas de plástico y que influyen en su costo, como son:

- *Tamaño de la pieza (volumen).*
- *Material.*
- *Proceso de transformación.*
- *Costo del molde o herramental.*
- *Tiempo de fabricación.*

6.3.2 Análisis de costos.

La estimación de los costos de un diseño es un aspecto esencial de un estudio económico. Un estudio de viabilidad, dependerá de los resultados de la evaluación económica, para que el proyecto se lleve a la etapa de proyecto preliminar y posteriormente a la de proyecto detallado. Por lo tanto, es de gran importancia el poder calcular con la mayor exactitud posible el costo que representará la realización de la propuesta.

Los costos directos de fabricación de una pieza de plástico básicamente comprenden:

- *Costo de material (inclusive material de desperdicio, etc).*
- *Costo del herramental y/o moldes.*
- *Costo de maquinaria.*
- *Mano de obra directa.*

6.3.3 Costos de material.

El costo de material puede ser fácilmente calculado, una vez conocido el tipo a emplear, la densidad del material, el volumen de la pieza y por supuesto el costo del material.

6.3.4 Costo del herramental.

El siguiente elemento a evaluar y el que más interesa en este proyecto es el costo del herramental.

En extrusión por ejemplo, los costos del dado están definidos principalmente por:

- *El tipo de producto requerido.*
- *Cantidad de material procesado por hora.*
- *Tipo de dado fabricado.*
- *Temperaturas de procesamiento y de enfriamiento.*



Como una guía general, los costos para cada parte pueden estimarse como sigue:

- Costos de material 50 – 60 %
- Costos de mano de obra y maquinaria 30 – 40 %

El prorrateo a cada pieza por concepto de costo de dado, puede calcularse con la siguiente fórmula:

$$W_k = \frac{\text{Costo del molde} + \text{Mantenimiento} + \text{Reparaciones}}{\text{No. de piezas}}$$

Donde:

W_k = prorrateo a cada pieza por concepto de costo de dado.

6.3.5 Costos de Maquinaria.

Usualmente el costo de maquinaria se calcula por hora de trabajo.

En extrusión el costo de la máquina para una pieza dada estará en función de los siguientes parámetros:

- Consumo de energía eléctrica.
- Diámetro del husillo (capacidad de la máquina).
- Velocidad del husillo.
- Temperaturas de extrusión.
- Ton/hora.
- Costo hombre máquina.

6.3.6 Costos fijos.

Los siguientes son los principales componentes fijos de la estructura de costos:

- Depreciación.
- Costo del capital, incluye intereses, costo de oportunidad, factor inflacionario, etc.
- Seguros.
- Mantenimiento.
- Costo espacio ocupado.

6.3.6 Costos variables.

El costo total está conformado por:



- *Energía eléctrica.*
- *Potencia de calefacción.*
- *Sistema de aire.*
- *Consumo de secador o deshumidificador.*
- *Agua.*
- *Enfriamiento del Dado y Husillo.*
- *Enfriamiento de la transmisión de la máquina.*
- *Enfriamiento de los equipos auxiliares.*

6.4 Planos del dado para tubo médico.

Los elementos que integran el dado para tubo médico se muestran en la figura 6.1.

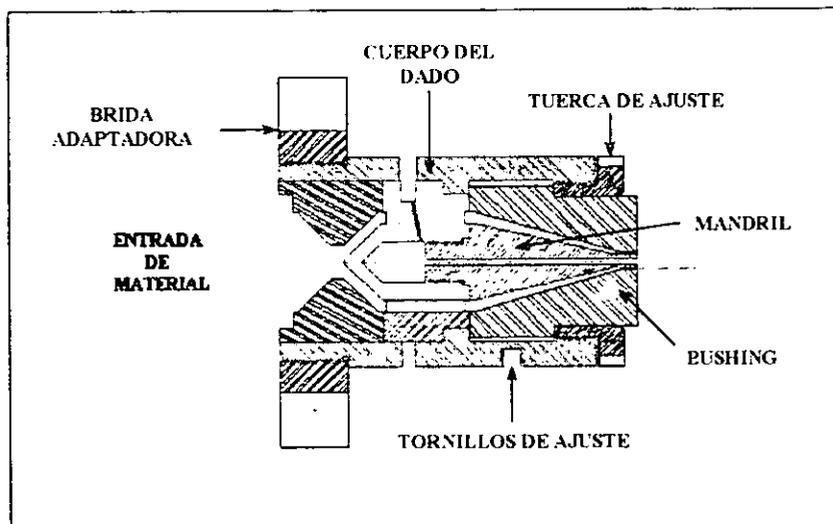


Fig. 6.1 Dibujo de ensamble de un dado para tubo.

Número de Plano	Lista de planos de dado para tubo.
1	Cuerpo el dado.
2	Bushing.
3	Mandril.
4	Spider.
5	Cuerda adaptadora.
6	Adaptador.
7	Brida adaptadora.
8	Plano de ensamble.

Tabla 6.1 Planos del dado para tubo médico.



6.5 Planos del dado para bolsa plástica.

Los elementos que integran el dado para tubo bolsa se muestran en la figura 6.2.

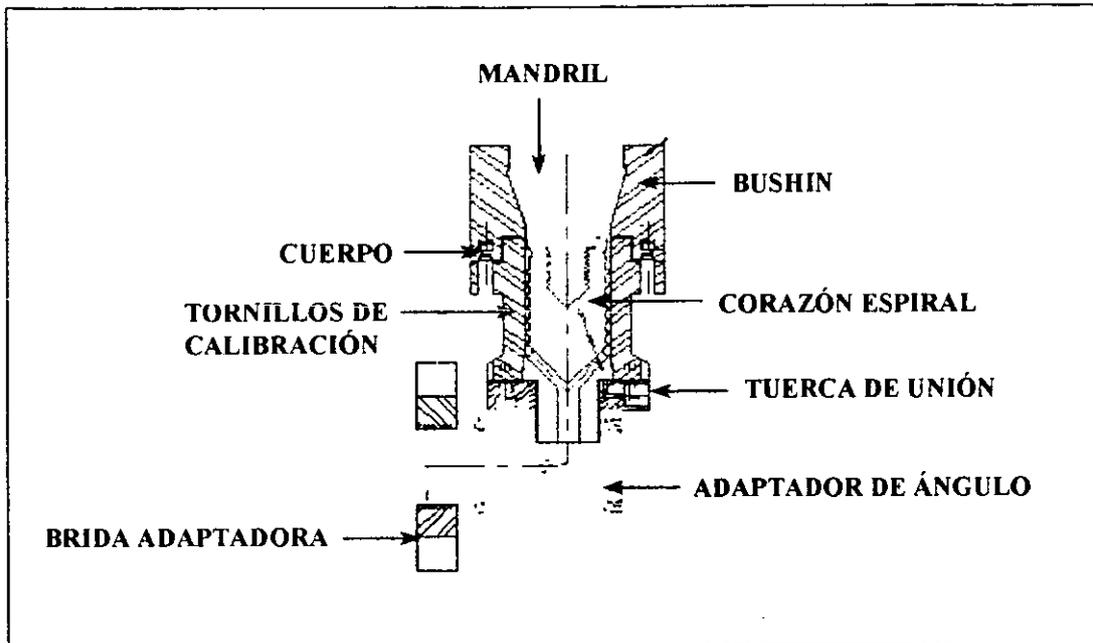


Fig. 6.2 Dibujo de ensamble de dado para bolsa plástica.

Número de Plano	Lista de planos de dado bolsa plástica.
1	Mandril.
2	Bushing.
3	Cuerpo para dado.
4	Cuerpo espiral.
5	Brida adaptadora.
6	Adaptador de ángulo.
7	Barreno de soplado.
8	Brida adaptadora.

Tabla 6.2 Planos del dado para bolsa plástica.



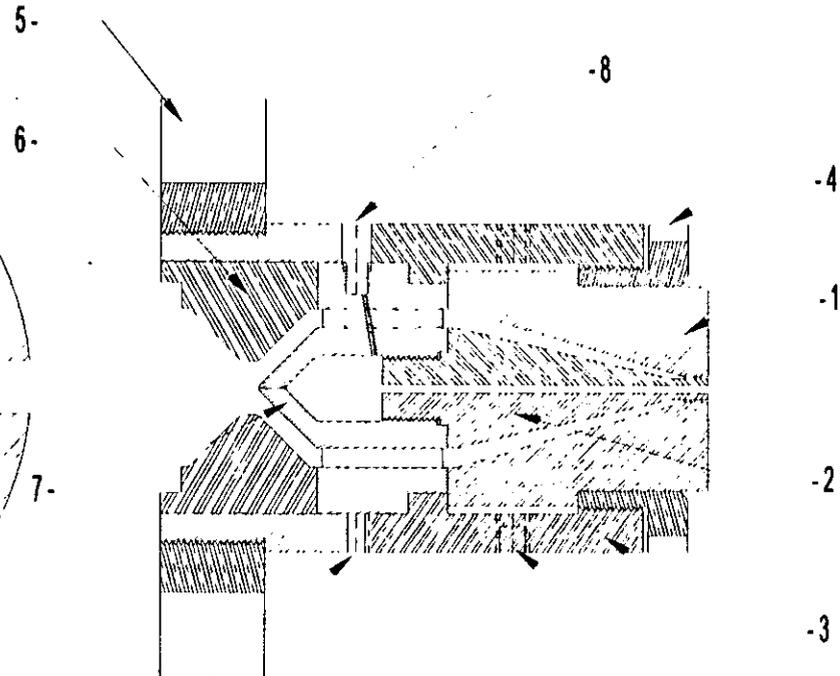
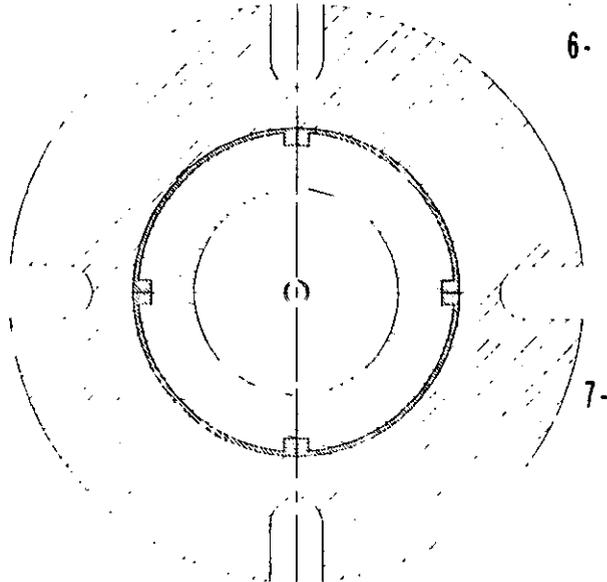
PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA TUBO MEDICO
 DESCRIPCION:
 DADO PARA TUBO PLASTICO
 DIBUJO:
 ENSAMBLE DE DADO

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION:
 DANIEL ALDAMA
 ESPECIFICACIONES:

ESCALA:
 1:1
 ACOT.:
 mm.
 MATERIAL:
 AL 98M10



- 1- BUSHING.
- 2- MANDRIL.
- 3- CUERPO DEL DADO.
- 4- TUERCA DE AJUSTE.
- 5- BRIDA ADAPTADORA.
- 6- ADAPTADOR.
- 7- SPIDER.
- 8- BARRENO DE SOPLADO.
- 9- BARRENO PARA TERMOPAR.
- 10- TORNILLOS DE AJUSTE.



TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
0.1 A 0.1	0.10	0.5	0.50	1.5	1.0
0.1 A 0.50	0.10	0.5	0.50	0.75	1.0
0.1 A 0.2	0.10	0.5	0.50	0.75	1.0
0.01 A 0.100	0.10	0.5	0.50	0.75	1.0
0.01 A 0.500	0.10	0.5	0.50	0.75	1.0
1" A 0.1"	1"	1"	1"	4"	1"

Maquinado: ENSAMBLE DE PIEZAS
 Proceso de Tratamiento:
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



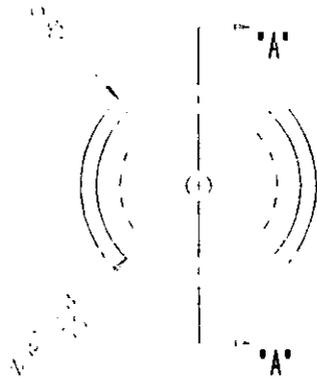
PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA TUBO MEDICO
 DESCRIPCION:
 DADO PARA TUBO PLASTICO
 DIBUJO:
 BUSHING PARADADO 50-60 mm

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION:
 DANIEL ALMADA
 PLANO NUMERO:
 1

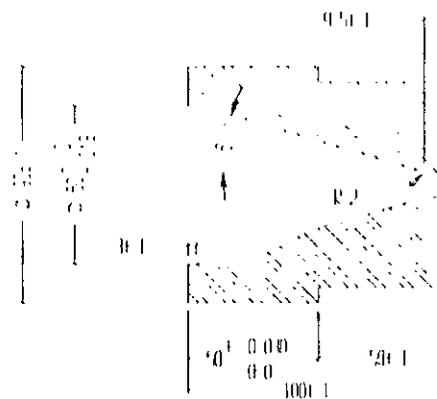
ESCALA:
 1:1
 ACOT:
 mm.
 MATERIAL:
 AL 6060



VISTA FRONTAL



VISTA LATERAL



TOLERANCIAS	50	60	70	80	90
H A 10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
h A 10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
H A 10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
h A 10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
H A 10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
h A 10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

Maquinado. Torneado, Fresado y pulido espejo en zona interior.
 Proceso de tratamiento: Templado con una dureza de Rc 35
 Observaciones.

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



PROYECTO: DISEÑO DE DADO PARA TUBO
 DESCRIPCION: DADO PARA TUBO PLASTICO
 DIBUJO: MANDRIL PARA DADO 50-60 mm

DISEÑO: ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION: DANIEL ALDAMA
 ESPECIFICACIONES: 2

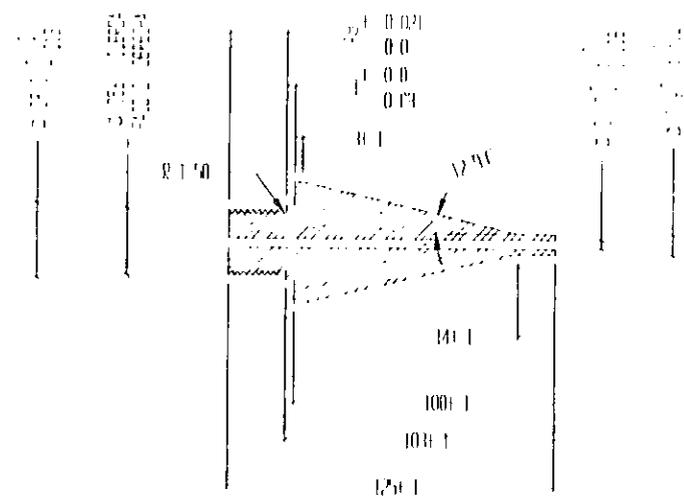
ESCALA: 1:1
 ACOT.: mm.
 MATERIAL: ALUMINIO



VISTA FRONTAL

CORTE: "A-A"

DIA 46 ± 0.10



ALERANDAS	70	80	75	85	80
0 A 10	0.10	0.5	0.40	0.5	1.0
10 A 20	0.10	0.5	0.40	0.5	1.0
20 A 30	0.10	0.5	0.40	0.5	1.0
30 A 40	0.10	0.5	0.40	0.5	1.0
40 A 50	0.10	0.5	0.40	0.5	1.0
50 A 60	0.10	0.5	0.40	0.5	1.0

Maquinado: torneado, fresado, erosión y pulido espeje en zona exterior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 35
 Observaciones:

MODIFICACIONES:	FECHA:	NOTAS:



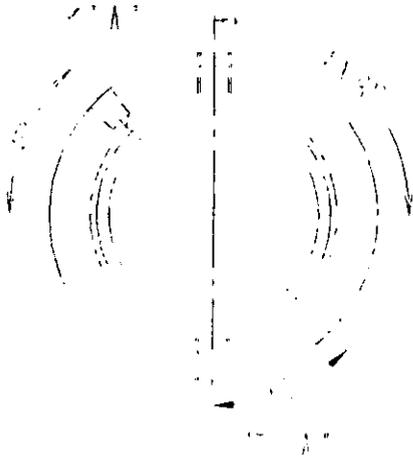
PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA TUBO MEDICO
DESCRIPCION:
 DADO PARA TUBO MEDICO
DIBUJO:
 CUERPO PARA DADO 50-60 mm

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
REVISION:
 DANIEL ALDAMA
PLANO NUMERO:

ESCALA:
 1:1
ACOT:
 mm.
MATERIAL:
 ALUMINIO

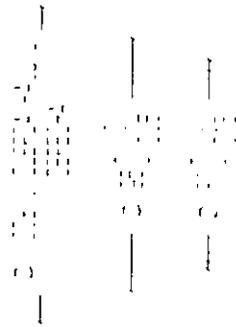


VISTA FRONTAL



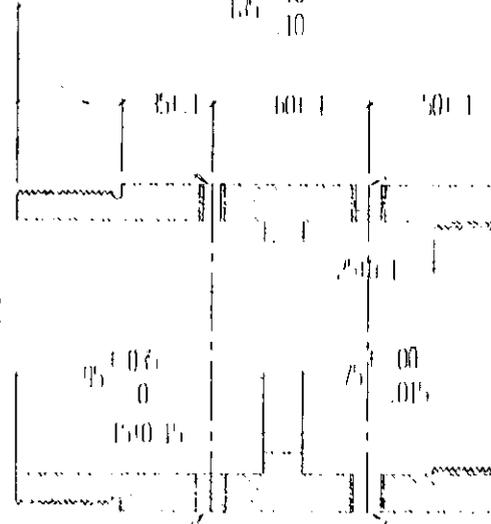
1 HABER NI MACH A 3/16" 16 IN PASAJE
 A 0" DE HABER NI P / HEMIPAR

40 ± 0.15
0



VISTA "A A"

1.5 ± 0.10
1.0



1 HABER NI MACH A 3/16" 16 IN
 A 0" DE HABER NI P / HEMIPAR



1 HABER NI MACH A 3/16" 16 IN PASAJE
 A 0" DE HABER NI P / HEMIPAR

1 HABER NI MACH A 3/16" 16 IN
 PASAJE A 0" DE HABER NI P / HEMIPAR

TOLERANCIAS	H	Hs	Hs	Hs	Hs
1. A 10	0.10	0.5	0.2	0.1	0.1
1. A 20	0.10	0.5	0.2	0.1	0.1
1. A 30	0.10	0.5	0.2	0.1	0.1
1. A 40	0.10	0.5	0.2	0.1	0.1
1. A 50	0.10	0.5	0.2	0.1	0.1
1. A 60	0.10	0.5	0.2	0.1	0.1

Maquinado: Torneado, Fresado y Taladrado.
 Proceso de tratamiento: Templado con una dureza de Rc 35
 Observaciones: Maquinar cuerdo antes de enviar a temprar.

MODIFICACIONES:

FECHA:

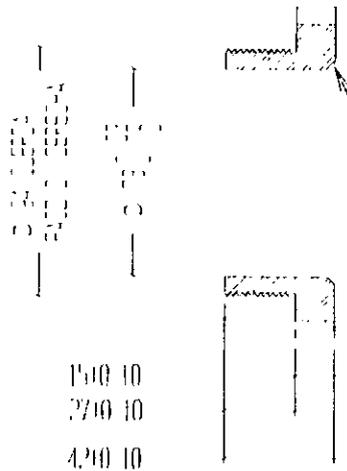
NOTAS:



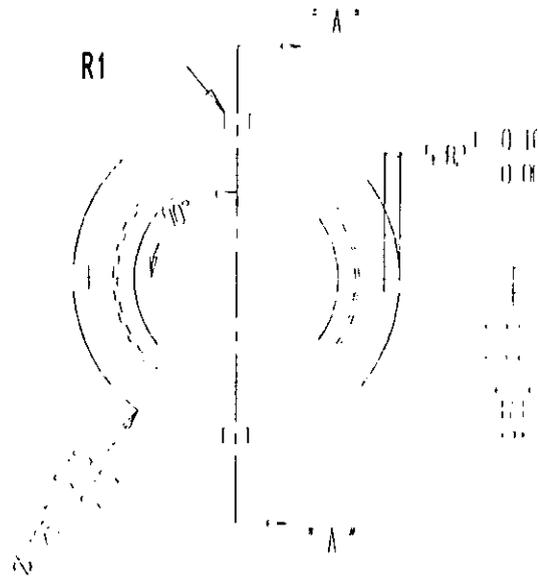
PROYECTO: DISEÑO DE DADOS PARA TUBO MEDICO
 DESCRIPCION: DADO PARA TUBO PLASTICO
 DIBUJO: TUERCA DE AJUSTE PARADADO 50-60mm

DISEÑO: ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION: DANIEL ALDAMA
 PLANO NUMERO: 4

ESCALA:
 ACOT.: mm.
 MATERIAL: AC 1840



R5



VISTA FRONTAL

CORTE "A A"

TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
0.3 - 10	0.10	0.25	0.40	0.75	1.00
11 - 30	0.10	0.25	0.40	0.75	1.00
31 - 50	0.10	0.25	0.40	0.75	1.00
51 - 80	0.10	0.25	0.40	0.75	1.00
81 - 100	0.10	0.25	0.40	0.75	1.00
1 - 100	1	2	3	4	5

Maquinado: Tornado, Fresado y pulido espejo de la pieza
 Proceso de Tratamiento: Templado con una dureza de Rc 30
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



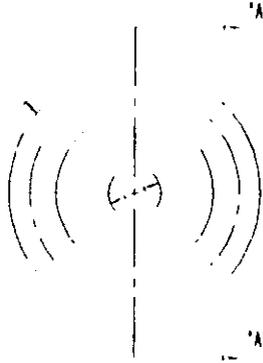
PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA TUBO MEDICO
 DESCRIPCION:
 DADO PARA TUBO PLASTICO
 DIBUJO:
 ADAPTADOR PARA DADO 50-60 mm

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION:
 DANIEL ALDAMA
 PLANO NUMERO:
 6

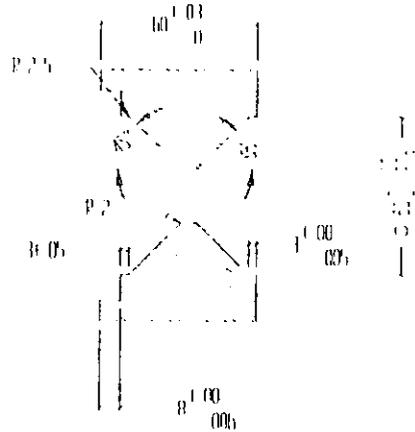
ESCALA:
 1:1
 ACOT.:
 mm.
 MATERIAL:
 AC 9840



VISTA FRONTAL



CORTE: "A-A"



TOLERANCIAS	ISO	AS	BS	CS	DS
0.1 A 0.10	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
0.1 A 0.15	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
0.1 A 0.20	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
0.1 A 0.30	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
0.1 A 0.50	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
1" A 10"	1"	1"	1"	1"	1"

Maquinado: torneado, fresado y pulido espejo en zona interior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 30
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA BOLSA MEDICA
 DESCRIPCION:
 DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLASTICA
 DIBUJO:
 ENSAMBLE DE DADO

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION:
 DANIEL ALDAMA
 ESPECIFICACIONES:

ESCALA:
 1:1
 ACOT.:
 mm.
 MATERIAL:
 AL 7040



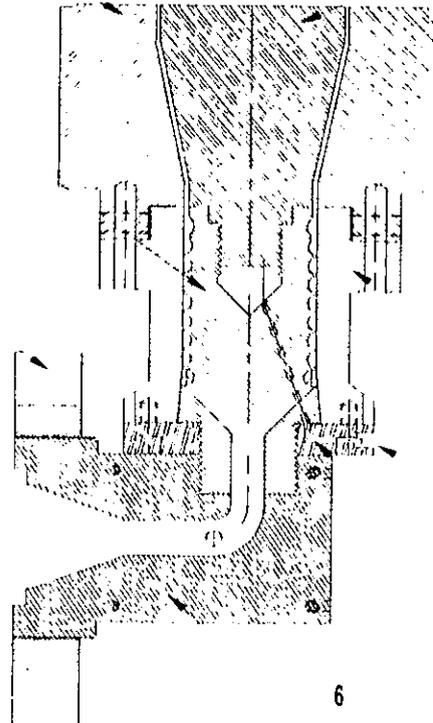
- 1- MANDRIL.
- 2- BUSHING.
- 3- CUERPO PARA DADO.
- 4- CUERPO ESPIRAL.
- 5- BRIDA ADAPTADOR.
- 6- ADAPTADOR DE ANGULO.
- 7- BARRENO DE SOPLADO.
- 8- BRIDA ADAPTADORA.

2-

-1

4-

8-



-3

-7

-5

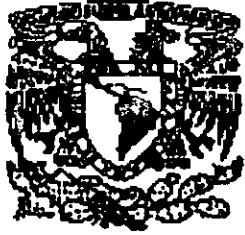
TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
1 A 10	0.10	0.1	0.10	0.1	0.1
11 A 50	0.10	0.15	0.1	0.1	0.1
51 A 90	0.10	0.15	0.10	0.1	0.1
101 A 150	0.10	0.15	0.10	0.15	0.1
151 A 200	0.10	0.15	0.10	0.15	0.1
1 A 10	1°	1°	1°	1°	1°

Maquillado. ENSAMBLE DE PIEZAS
 Proceso de tratamiento:
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

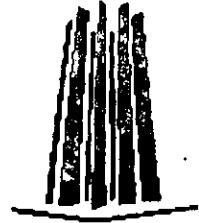
NOTAS:



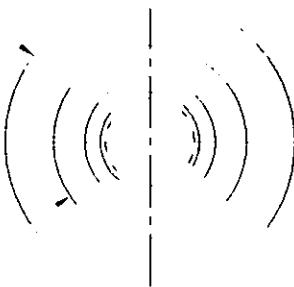
PROYECTO:
 DISEÑO PARA DADOS PARA BOLSA MEDICA
DESCRIPCION:
 DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLASTICA
DIBUJO:
 MANDRIL PARA DADO 50-60mm

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
REVISION:
 DANIEL ALDAMA
PLANO NUMERO:
 1

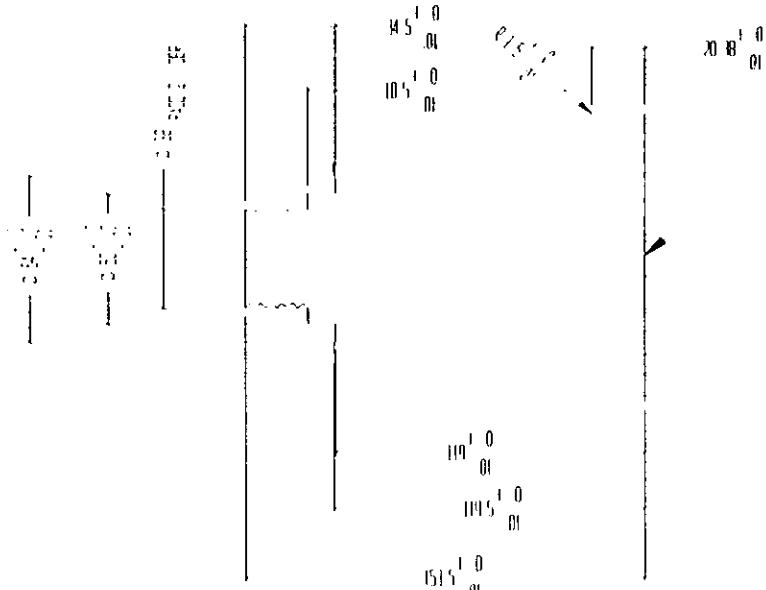
ESCALA:
 1:1
ACOT:
 mm.
MATERIAL:
 AL 6840



VISTA FRONTAL



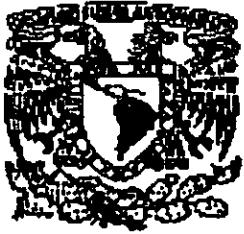
CORTE : "A - A"



TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
0.1 A 10	0.40	0.25	0.10	0.25	1.0
11 A 20	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
21 A 30	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
31 A 50	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
51 A 100	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
101 A 200	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
201 A 500	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
501 A 1000	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0

Maquinado: torneado, fresado, erosión y pulido espejo en zona exterior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 45
 Observaciones:

MODIFICACIONES:	FECHA:	NOTAS:



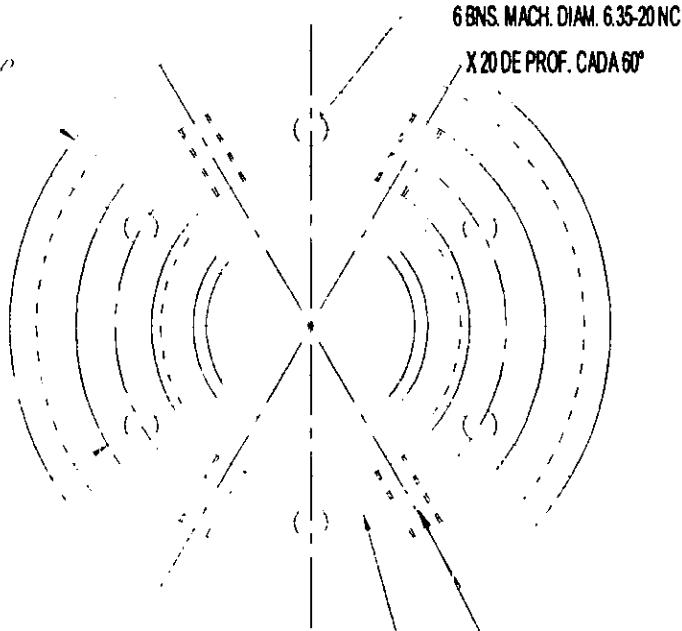
PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA BOLSA MEDICA
DESCRIPCION:
 DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLASTICA
DIBUJO:
 BUSHING PARADADO 50-60 mm

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
REVISION:
 DANIEL ALDAMA
PLANO NUMERO:
 2

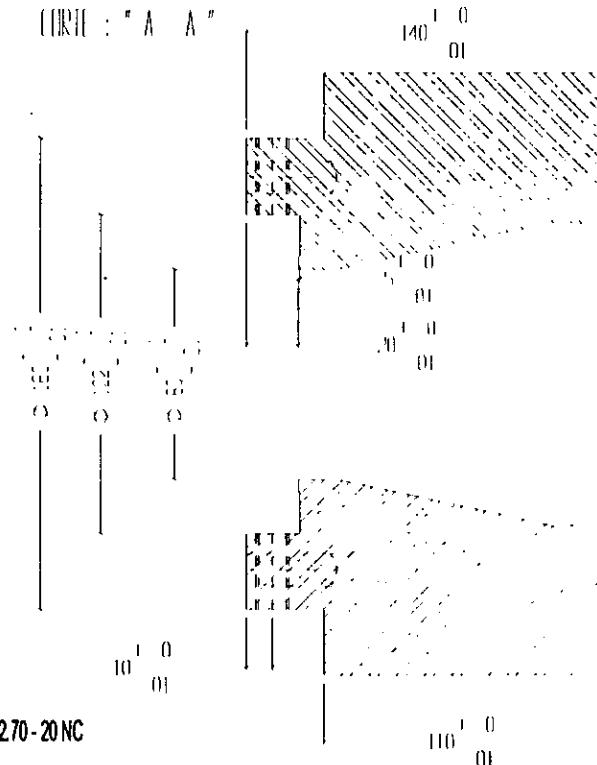
ESCALA:
 1:1
ACOT.:
 mm.
MATERIAL:
 AC 9840



VISTA FRONTAL



CORTE: "A-A"



6 BNS. MACH. DIAM 12.70 - 20 NC
 PASADOS CADA 60° Y 30° DE
 LOS OTROS BNS.

TOLERANCIAS	F	F	F	F	F
12.70	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
12.70	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
12.70	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
12.70	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
12.70	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
12.70	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30

Maquinado: torneado, fresado y pulido espejo en zona interior.
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 35
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



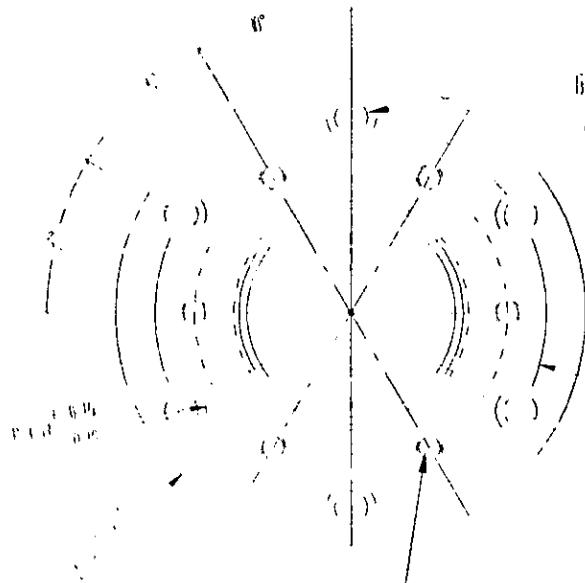
PROYECTO:
 DISEÑO DE DADO PARA BOLSA MEDICA
DESCRIPCION:
 DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLASTICA
DIBUJO:
 CUERPO PARADADO 50-60.

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUJENTES
REVISION:
 DANIEL ALDAMA
ESPECIFICACIONES:

ESCALA:
 1:1
ACOT:
 mm.
MATERIAL:
 ALUMINIO



VISTA FRONTAL

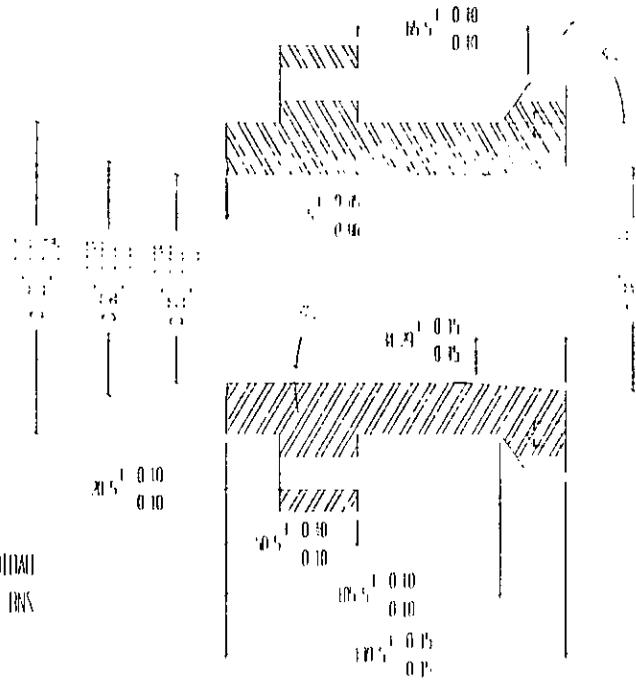


6 BSK DE 1/2" DIAMETRO
A CADA 60°

6 BSK DE 1/2" DIAMETRO
A CADA 60°

6 BSK MACHO DE 1/2" X 1/8" DE PROFUNDIDAD
A CADA 60° Y A 30° RESPECTO A LOS OJOS DE BSK

SECCION "A-A"



REFERENCIAS	05	06	07	08	09
1 A 13	0.10	1.7	0.20	5	1.4
11 A 14	1.10	0.25	0.4	0.7	0
14 A 15	0.10	0.25	0.40	0.7	1.0
100 A 100	0.01	0.25	0.20	0.25	1.0
101 A 100	0.01	0.25	0.20	0.25	1.0
1 A 107	1	1	1	1	1

Acabado: torneado, fresado, erosión y pulido espejo en zona exterior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 30
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS DE BOLSA MEDICA
 DESCRIPCION:
 DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLASTICA
 DIBUJO:
 CUERPO ESPIRAL 50 - 60 MM

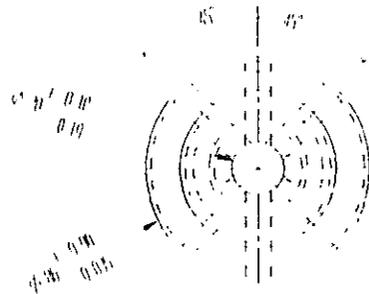
DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION:
 DANIEL ALDAMA
 ESPECIFICACIONES:
 4

ESCALA:
 1:1
 ACOT:
 mm.
 MATERIAL:
 AL 6060



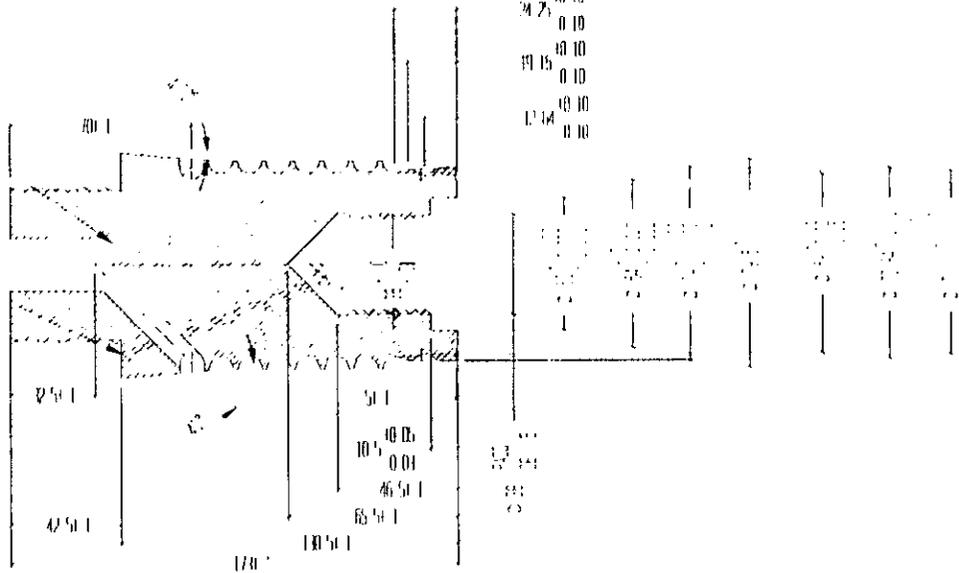
VISTA FRONTAL

VISTA LATERAL



Ø INS. 114.4 ± 0.05
 A LAZDA 45°

Ø EXT. 114.4 ± 0.10



TOLERANCIAS	Ø	Ø	Ø	Ø	Ø
1 A 10	0.10	0.05	0.10	0.25	1.0
11 A 50	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
51 A 90	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
101 A 200	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
301 A 500	0.10	0.25	0.10	0.25	1.0
1" A 50"	0.25	0.25	0.25	0.25	1.0

Maquinado: torneado, fresado, erosión y pulido espejo en zona exterior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 45
 Observaciones:

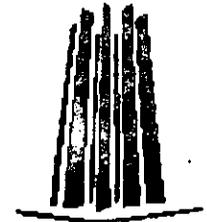
MODIFICACIONES:	FECHA:	NOTAS:



PROYECTO: DISEÑO DE DADOS PARA BOLSA MEDICA
 DESCRIPCION: DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLASTICA
 DIBUJO: BRIDA ADAPTADOR DE 50-60 mm

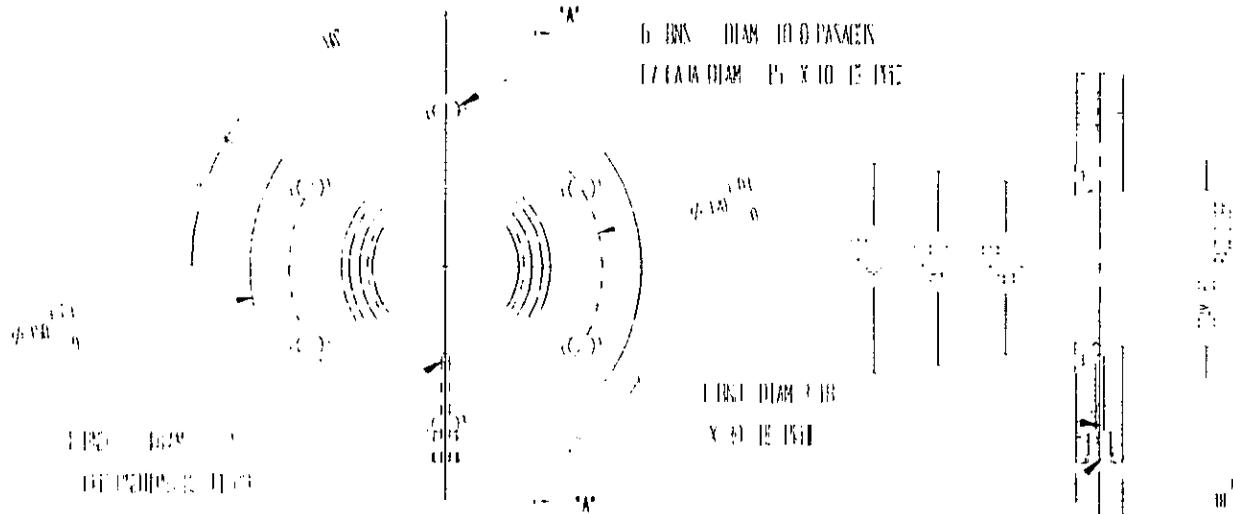
DISEÑO: ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION: DANIEL ALDAMA
 ESPECIFICACIONES: 5

ESCALA: 1:1
 ACOT: mm.
 MATERIAL: AC 9840



VISTA FRONTAL

SECCION: "A-A"



6 mm DIAM. 10.0 PASAER
 1/2 CAIA DIAM. 1.5 X 10.15

1.00 DIAM. 1.15
 X 10.15

1.00 MATH. DIAM. 1/4" NPT
 Y 12.00 1.15

TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
1. A 11	0.10	1.5	0.5	0.5	1.0
1. A 12	0.10	0.5	1.0	0.5	1.0
1. A 13	0.10	1.5	0.50	1.5	1.0
100 A 101	0.10	0.5	0.50	0.5	1.0
101 A 100	0.10	0.5	0.50	0.5	1.0
1. A 107	1°	1°	1°	1°	1°

Maquizado, torneado, fresado y pulido espejo en zona interior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 40
 Observaciones:

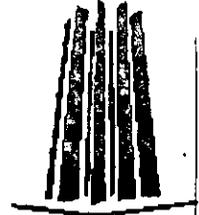
MODIFICACIONES:	FECHA:	NOTAS:



PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS DE SOPLADO DE BOLSA
 DESCRIPCIÓN:
 DADO PARA SOPLADO DE BOLSA PLÁSTICA
 DIBUJO:
 ADAPTADOR DE ANGULO 50-60

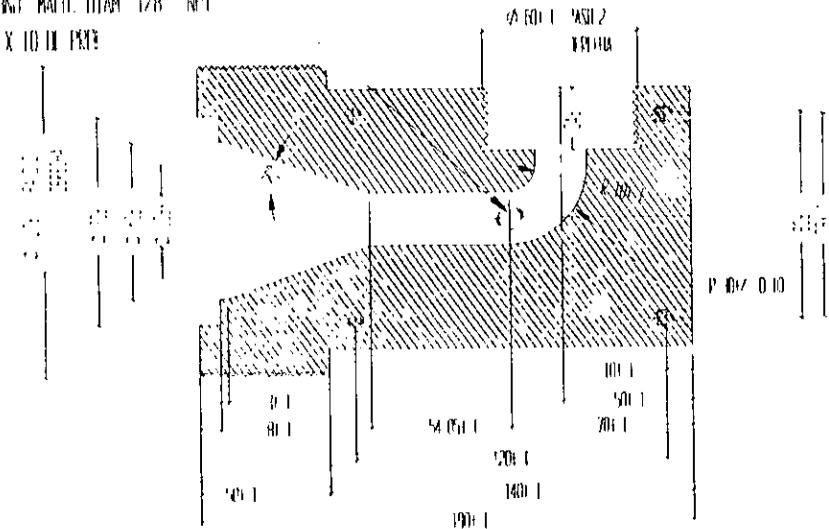
DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISIÓN:
 DANIEL ALDAMA
 PLANO NÚMERO:
 6

ESCALA:
 ACOT:
 MATERIAL:
 AL 6840



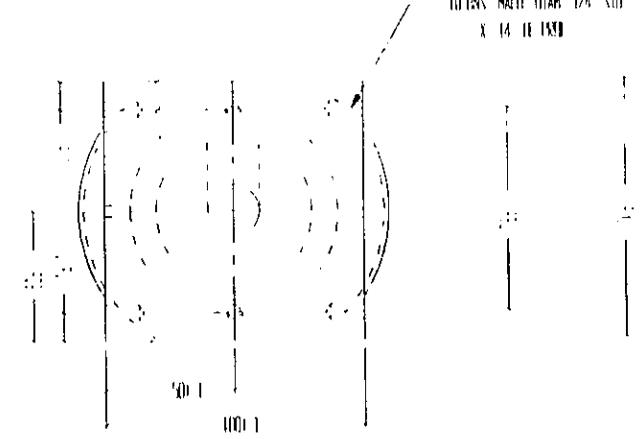
CORTE : "A - A"

1 INCH MATERIAL 1/8" NPT
X 10 IN PROF



VISTA FRONTAL

10 INCH MATERIAL 1/8" NPT
X 10 IN PROF



TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
0.1 A 1.0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
1.1 A 3.0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
3.1 A 6.0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
6.1 A 30.0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
30.1 A 100.0	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30
1" A 98"	3"	7"	15"	30"	60"

Maquinado: torneado, fresado, erosión y pulido espejo en zona exterior
 Proceso de tratamiento: templado con una dureza de Rc 35
 Observaciones:

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



PROYECTO:
 DISEÑO DE DADOS PARA BOLSA MEDICA
 DESCRIPCION:
 DADO PARA BOLSA PLASTICA
 DIBUJO:
 CONTRA BRIDA DE DADO 50-60 mm

DISEÑO:
 ALFREDO FLORES / EDUARDO MUCIENTES
 REVISION:
 DADEL ALDAMA
 PLANO NUMERO :
 8

ESCALA:
 1:0.35
 ACOT.:
 mm.
 MATERIAL:
 AC 9840



VISTA TRINTA " A "

22 EN EL AIS

40 EN EL AIS

CUERDA A 120 ± 0.040

PASE 2 EN EL AIS

P 10 ± 0.1

A 10 ± 0.1

1/2 ± 0.04

TOLERANCIAS	mm	mm	mm	mm	mm
1 A 10	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50
1 A 40	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50
1 A 90	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50
100 A 500	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50
500 A 1000	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50
1000 A 10000	0.10	0.15	0.20	0.30	0.50

Maquinado: Tornando, Fresado, Fabricacion de cuerda y Rectificado.
 Proceso de tratamiento: Templado con una dureza de Rc 45
 Observaciones: Maquinar cuerda antes de enviar a templar

MODIFICACIONES:

FECHA:

NOTAS:



CAPÍTULO VII

PRUEBAS DE PROCESO.

La eficiencia de un proceso productivo está definida por la calidad del producto resultante. El objetivo de este capítulo, es desarrollar un apoyo técnico sobre los principales problemas que se presentan en los procesos de extrusión de película soplada y tubo plástico, respectivamente, y los posibles métodos de solución.

La presencia de defectos en la película para bolsa de equipo médico y en el tubo médico, puede ser el resultado de la combinación de deficiencias o fluctuaciones en la calidad del material, control del proceso, mano de obra, equipo (Extrusora, Dado) y condiciones ambientales.

En todos los procesos la regla para minimizar los problemas es tratar de evitarlos antes de que aparezcan. La estadística indica si un proceso está siendo controlado, pero no define las variaciones que no se presentan al azar, por tal motivo, es necesario conocer las pruebas que se efectúan en el proceso, los defectos del producto, qué los causa y cómo pueden corregirse.

7.1 Requerimientos de calidad.

En el caso de la película plástica para bolsa y del tubo plástico, es importante considerar sus propiedades ópticas, dimensionales y mecánicas.

7.1.1 Propiedades ópticas.

Las propiedades ópticas de la película y tubo son las que pueden apreciarse a simple vista como la transparencia, el brillo, el color y apariencia en general.

- **Trasparencia.**

Se considera que un material es transparente cuando se pueden observar objetos a través del mismo. La transparencia se define cuantitativamente como el porcentaje de luz que se transmite con una desviación menor a 0.1° cuando la luz incide perpendicularmente a la superficie. Dicha transmisión depende de la luz que se refleja y de la que es absorbida, por lo tanto, la transparencia es dependiente de la naturaleza y estructura molecular del polímero. En materiales amorfos, libres de impurezas y cargas, la transparencia es muy alta. Sin embargo, la presencia de zonas cristalinas o esferulitas (cuyos índices de refracción son diferentes al material restante), provocan la dispersión de la luz originando opacidad.

En el caso particular de la película soplada, la biorientación provoca el rompimiento de las esferulitas y el reacomodo perpendicular de los cristalinos, mejorando la transparencia.

La nebulosidad de una película puede determinarse mediante el método ASTM 1003, que consiste en medir el porcentaje de luz que pasa por una película de determinado espesor. Valores bajos de nebulosidad corresponden a películas de elevada transparencia.



- **Brillo.**

El brillo de un material es una medida de la cantidad de luz que éste refleja; la existencia de rugosidades y otros defectos en la superficie de la película dispersan la luz y dan un aspecto mate. En forma opuesta, las superficies muy lisas reflejan directamente la luz dando una apariencia brillante.

El brillo de una película se determina por medio de un reflectómetro. Se selecciona el ángulo de la luz incidente de acuerdo al material.
- **Color.**

El color es resultado de determinadas longitudes de onda de luz que el material no absorbe. Cuando toda la luz es absorbida el objeto se ve negro, si una parte de la luz se absorbe y la restante se refleja sin dispersarse, el material se ve coloreado y transparente; si por el contrario, la luz que no se absorbe se dispersa sin llegar a transmitirse, el objeto se ve coloreado y además opaco.

Generalmente, los plásticos son incoloros, amarillentos o lechosos cuando están puros y para proporcionarles color se les adicionan colorantes o pigmentos que dan el efecto deseado.

La desviación con respecto a un color estándar se determina mediante colorímetros.
- **Apariencia.**

Una buena apariencia en la película es sinónimo de una superficie lisa, tersa y exenta de imperfecciones. La presencia de puntos quemados, ojos de pescado y arrugas, piel de tiburón, porosidades y bloqueo, son algunas de las causas que originan una mala apariencia y en ocasiones disminuyen la funcionalidad de la película.

Generalmente las imperfecciones se cuentan por cada decímetro cuadrado de película y se comparan con un estándar preestablecido.¹

7.1.2 Características dimensionales.

Las dimensiones más importantes de la película están dadas por el espesor, el ancho y el grado de encogimiento.

- **Espesor.**

El espesor o calibre de la pared de la película se mide con un micrómetro y se expresa en centésimas de milímetro o en milésimas de pulgada. Dependiendo de las aplicaciones de la película, el espesor varía entre 0.5 y 0.4 milésimas de pulgada.

Mantener un espesor constante en toda la periferia de la película, requiere de un buen control de las variables que lo afectan. Las causas de variación en el calibre se deben a fluctuaciones en:

¹ General Electric. Perfil de materiales.



- La calidad del material.
- Las temperaturas de extrusión.
- La velocidad del husillo.
- La velocidad y temperatura de enfriamiento.
- El ajuste del dado.
- La posición de la torre de jalado.

- **Ancho de la película.**

El ancho de la película soplada es la longitud perpendicular al flujo que alcanza el tubo extruido después de pasar por los rodillos de jalado.

El ancho de la película se controla por medio de la cantidad de aire contenido en la burbuja. En producción continua, el diámetro del tubo puede modificarse durante el transcurso del día, a causa de la expansión térmica del aire encapsulado o por variación de la altura de la línea de solidificación.

- **Encogimientos.**

Los encogimientos son el resultado de la relajación de las moléculas orientadas. Al ser inflado y estirado el tubo, sus moléculas son forzadas a permanecer en un arreglo no aleatorio; el enfriamiento "congela" dicho arreglo, el que permanece estable hasta que se le aplica calentamiento a una temperatura superior a su punto de deformación, liberando las tensiones provocando un reacomodo molecular similar al que poseía el tubo antes de ser orientado.

Dependiendo de la relación de soplado y de la relación de estirado, se presentara encogimiento en dirección transversal, longitudinal o en ambos sentidos de la película, al someterse a una temperatura entre 60 y 120° C.

Encogimiento transversal: es el encogimiento que sufre la película en su ancho. Siendo en película de PVC encogimientos superiores al 50%, debido a su estructura molecular que le permite una mayor relación de soplado sin deteriorar las propiedades mecánicas.

Encogimiento longitudinal: el encogimiento longitudinal ocurre en el sentido en que fue hecha la extrusión. Altos valores en el encogimiento longitudinal no son muy deseables puesto que al colocarse la película sobre el objeto a cubrir, se requerirá de mayor longitud para cubrirlo.

Los encogimientos se determinan por medio de la diferencia en dimensiones de una muestra de 10 x 10 cm (método ASTM D1204 y D2732) antes y después de exponerse a cierta temperatura un determinado tiempo. Se expresa en porcentaje y se calcula mediante la fórmula siguiente:²

$$\% \text{ Encogimiento} = \frac{(D_0 - D_1)}{D_0} \times 100$$

² ASTM. *Plastics General Tests Methods.*



Donde:

D_0 = Dimensión original, ya sea el ancho o el largo de la muestra
 D_1 = Dimensión de la película después de la prueba

7.1.3 Propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de los plásticos son dependientes de la temperatura y de la velocidad de deformación, esto se puede apreciar fácilmente de forma gráfica, que en especial son muy útiles para el control de la calidad del producto.

El efecto de la temperatura sobre las propiedades mecánicas del material se muestra en las figuras 7.1 y 7.2. Como puede verse, al incrementar la temperatura el material tiende a ser más flexible y por lo tanto sufre una deformación mayor.

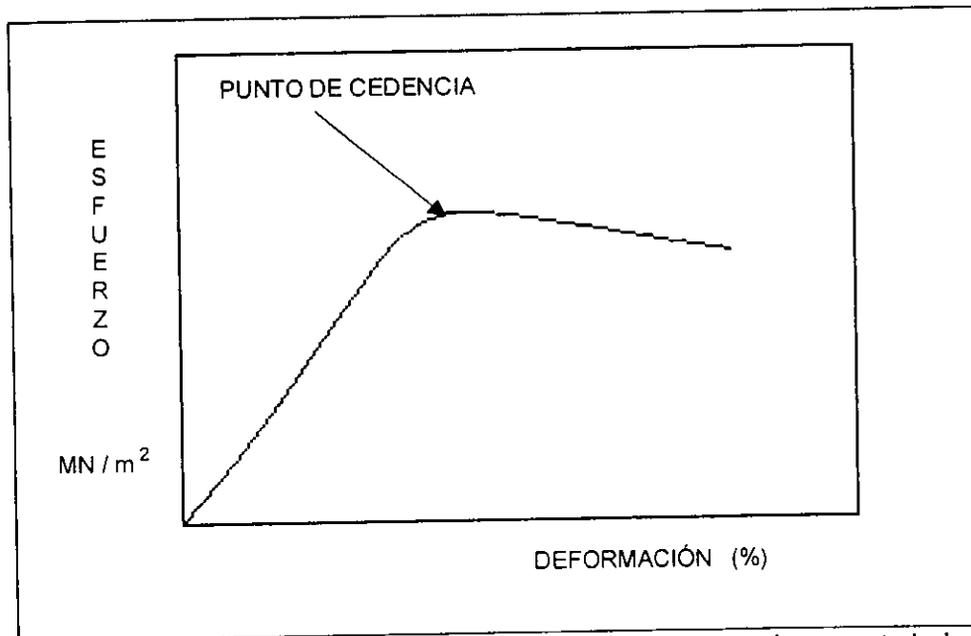
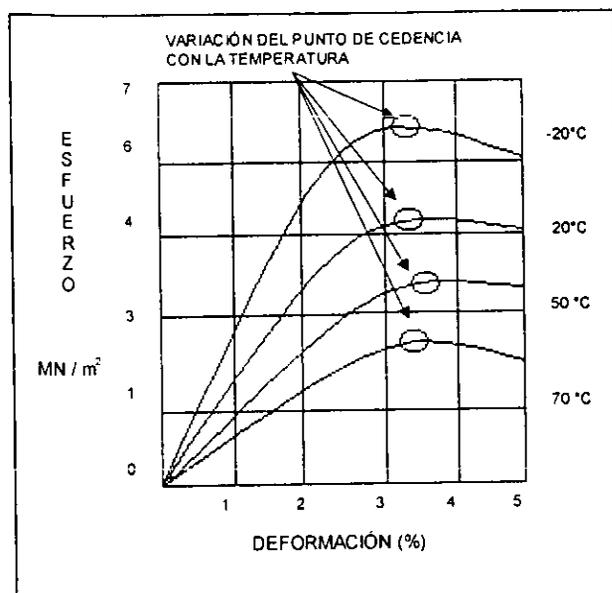


Fig. 7.1 Gráfica esfuerzo-deformación para determinar las propiedades mecánicas de un material.

Otro aspecto importante es el efecto que tiene la velocidad de deformación. Si un plástico se somete a una velocidad de deformación muy alta, presentará su punto de cedencia a un valor más alto que a una velocidad menor.



También es importante considerar que los distintos grados comerciales de los plásticos pueden tener diferencias significativas en sus propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de mayor interés en un plástico son:

- a) Módulo de elasticidad
- b) Elongación a la ruptura
- c) Resistencia a la tensión
- d) Resistencia al impacto
- e) Resistencia al rasgado
- f) Punto de reblandecimiento.

Fig. 7.2 Efecto de la temperatura sobre el comportamiento mecánico de los plásticos.

Las propiedades tensiles de los plásticos pueden variar con el espesor, velocidad de prueba, método de preparación y acondicionamiento de muestras, tipo de equipo empleado y forma de realizar la medición.

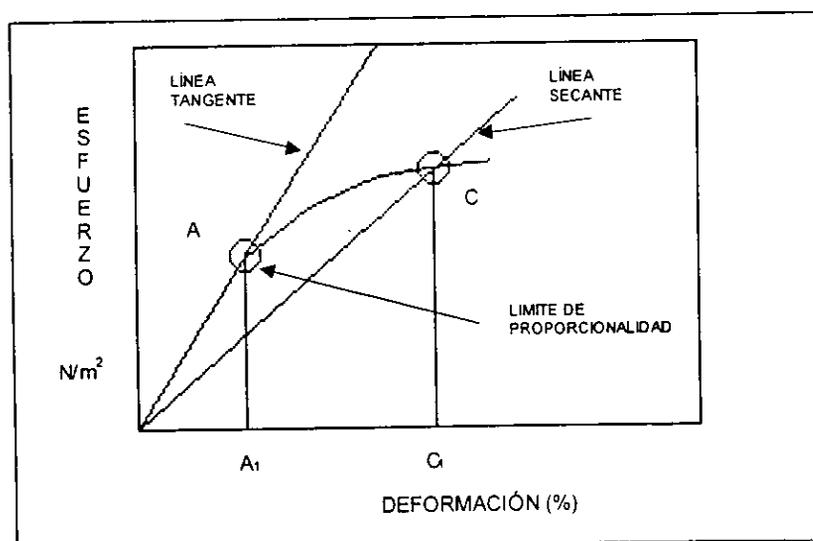


Fig. 7.3 Determinación del Módulo de elasticidad o de Young.

a) **Módulo de elasticidad.**

El módulo de elasticidad expresa la rigidez de un plástico (método ASTM D882). Generalmente, se obtiene trazando una línea tangente a la curva esfuerzo deformación, partiendo del origen, y se conoce como módulo de Young. Como en



ocasiones es difícil determinar con precisión la tangente, se considera la secante: ambas líneas se ilustran en la figura 7.3.

b) Elongación a la ruptura.

Es la deformación o alargamiento que sufre la muestra por la acción de la fuerza aplicada en el momento de la ruptura. La prueba se realiza en ambas direcciones de la película, o sea, en sentido del flujo y en sentido transversal al mismo. Se obtiene dividiendo la longitud final entre la longitud original de la muestra y se multiplica por 100 (método ASTM D882). El resultado se expresa en porcentaje.

c) Resistencia a la tensión.

Establece el comportamiento del material cuando se somete a una carga aplicada. Se calcula dividiendo la carga máxima aplicada entre el área transversal de la muestra o probeta. Los resultados se expresan en valores de fuerza por unidad de área, usualmente en Megapascales (o lbf/pulg²).

d) Resistencia al impacto.

Expresa la resistencia que tiene un material al ser sometido a un esfuerzo mecánico dinámico. Se obtiene dejando caer un peso en forma de dardo desde una altura dada, sobre una muestra de película perfectamente tensa, el peso se aumenta gradualmente hasta que el 50% de las muestras probadas fallen. Se reporta el último valor en gramos.

e) Resistencia al rasgado.

Se define como la fuerza que se requiere para rasgar una muestra de película tanto en sentido longitudinal como transversal. Se reporta la fuerza aplicada en ambos sentidos con relación al espesor de la película.

f) Punto de reblandecimiento.

Es la temperatura a la cual el material sufre un ablandamiento que permite la penetración de un milímetro de una aguja cuyas dimensiones y cargas son conocidas.³

7.2 Corrección de defectos.

Una vez que se han establecido los valores en propiedades ópticas, dimensionales y mecánicas que debe cubrir la película de plástico y el tubo plástico, es necesario determinar la forma de corregir los defectos o variaciones de éstos.

³ General Electric. Perfil de materiales.



7.2.1 Defectos en la apariencia.

Los defectos que se presentan en el acabado o apariencia de la película incluyen la opacidad, falta de brillo, desviaciones de tono, puntos quemados, grumos, ojos de pescado (ASTM D3351), porosidades, bloqueo (ASTM D1893) y otros. Tales variaciones tienen diferentes causas, de igual manera existen distintas formas de corregirlas. En la tabla 7.1, se proporcionan algunas sugerencias para corregir este tipo de defectos.

DEFECTO	CAUSAS	CORRECCIONES
Opacidad	<p>Temperaturas de extrusión bajas.</p> <p>Baja velocidad del husillo.</p> <p>Enfriamiento de la burbuja inadecuado.</p> <p>Contaminación del material.</p> <p>Falta de limpieza en el equipo.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar gradualmente las temperaturas de la extrusora. • Aumentar la velocidad del husillo. • Incrementar el número de mallas. • Utilizar un husillo con zona de alto mezclado. • Revisar el sistema de enfriamiento. • Reducir la altura de la línea de Solidificación. • No utilizar materiales contaminados. • Limpiar el equipo y revisar que el dado y anillo de enfriamiento no tengan daños.
Falta de Brillo	<p>Bajas temperaturas en el dado.</p> <p>Enfriamiento de la burbuja insuficiente.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar las temperaturas del dado. • Bajar la altura de la línea de solidificación. • Aumentar el enfriamiento.
Desviaciones de Tonalidad	<p>Falta de limpieza en el equipo.</p> <p>Degradación térmica del material.</p> <p>Material contaminado.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar el equipo. • Cambiar las mallas. • Reducir las temperaturas de extrusión. • No usar material contaminado.
Grumos	<p>Mala dispersión de pigmentos y otros aditivos.</p> <p>Resina contaminada con materiales que no se incorporan, como hilo o papel.</p> <p>Rodillos o cortinas sucios.</p> <p>Mala plastificación del material.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar y/o aumentar las mallas. • Utilizar un husillo con cabeza mezcladora. • Limpiar los rodillos y cortinas. • Evitar el uso de material contaminado. • Aumentar las temperaturas de extrusión.
Ojos de Pescado	<p>Resina de mala calidad.</p> <p>Contaminación.</p> <p>Aditivos mal dispersados.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Aumentar el número de mallas. • Aumentar las temperaturas de extrusión. • Emplear un husillo con zona de alto mezclado. • Utilizar una resina de buena calidad. • Control de resinas por contaminación.



<i>Piel de Tiburón</i>	<i>Bajas temperaturas de extrusión. Enfriamiento no uniforme de la burbuja.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Aumentar las temperaturas de extrusión.</i> • <i>Revelar el equipo de enfriamiento.</i>
<i>Puntos Quemados</i>	<i>Degradación térmica del material. Exceso de material reprocesado. Contaminación del material. Temperatura de extrusión muy alta.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Limpiar el equipo.</i> • <i>Cambiar mallas.</i> • <i>Reducir la cantidad de material reprocesado.</i> • <i>Reducir temperaturas de extrusión.</i> • <i>Evitar el uso de material contaminado.</i>
<i>Porosidades</i>	<i>Resina húmeda. Aire atrapado entre los gránulos de material. Descomposición térmica del polímero. Vaporización o degradación de aditivos.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Alimentar el material seco.</i> • <i>Utilizar una tolva con circulación de aire caliente.</i> • <i>Reducir la velocidad de extrusión.</i> • <i>Incorporar material de reproceso seco.</i> • <i>Emplear extrusora con zona de venteo.</i>
<i>Bloqueo</i>	<i>Enfriamiento de la burbuja insuficiente. Alta temperatura de la boquilla. Presión excesiva de los rodillos de jalado.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Reducir la altura de la línea de solidificación.</i> • <i>Incorporar aditivos que funcionen como desbloqueantes.</i> • <i>Disminuir la temperatura de la boquilla.</i> • <i>Aumentar la velocidad de enfriamiento.</i>
<i>Arrugas</i>	<i>Ángulo inadecuado de las cortinas. Distancia excesiva entre las cortinas y rodillos de arrastre. Velocidad de jalado variable. Presión de jalado variable. Velocidad de embobinado variable. Embobinado muy tenso. Vibración de la burbuja por falta de guías o por corrientes de aire. Línea de solidificación muy baja.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Revisar y alinear los componentes de la torre de jalado.</i> • <i>Checar la tensión y velocidad de jalado.</i> • <i>Evitar corrientes de aire.</i> • <i>Ajustar la altura de la línea de solidificación</i> • <i>Revisar la tensión y velocidad de embobinado.</i> • <i>Limpiar o corregir daños en los rodillos, cortinas y dado.</i> • <i>Eliminar las arrugas de la película.</i> • <i>Verificar el nivel de aditivo deslizante.</i> • <i>Verificar que la película no esté manchada con grasa siliconada.</i>
<i>Marcas y Rayas</i>	<i>Rodillos o cortinas en mal estado o sucios. Daños en la boquilla.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Limpiar o corregir daños en los rodillos, cortinas y dado</i>
<i>Película con problemas de impresión</i>	<i>Arrugas en la película. Película manchada.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Eliminar las arrugas de la película.</i> • <i>Verificar el nivel de aditivo deslizante.</i> • <i>Verificar que la película no esté manchada con grasa siliconada.</i>

Tabla 7.1 Sugerencias para la corrección de defectos en la apariencia de película soplada.



7.2.2 Defectos dimensionales.

Los defectos dimensionales pueden presentarse en el ancho de la película y en el diámetro del tubo, así como en los espesores. Tales variaciones tienen diferentes causas, en la tabla 7.2, se proporcionan algunas sugerencias para corregir este tipo de defectos.

DEFECTO	CAUSAS	CORRECCIONES
<i>Ancho de la Película fuera de especificaciones</i>	<i>Altura de la línea de solidificación inadecuada. Diámetro de la burbuja inadecuado.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Modificar la altura de la línea de solidificación.</i> • <i>Modificar la cantidad de aire contenida en la burbuja.</i>
<i>Espesor variable de pared de tubo</i>	<i>Resina de calidad variable. Temperaturas de extrusión variables. Velocidad de enfriamiento variable. Mal ajuste del dado. Posición de la torre de jalado inadecuada. Falta de limpieza y daños en el dado, anillo de enfriamiento, cortinas o rodillos. Husillo inadecuado o con desgaste.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Alimentar resina sin contaminantes y de buena calidad.</i> • <i>Revisar los pirómetros y medios de enfriamiento de la extrusora.</i> • <i>Emplear un husillo con L/D y RC propios para el material a procesar y sin daños.</i> • <i>Evitar fallas mecánicas y/o eléctricas del equipo.</i> • <i>Ajustar perfectamente el dado.</i> • <i>Alinear las cortinas y rodillos.</i> • <i>Limpiar y mantener en buen estado los componentes de la extrusora y equipo auxiliar.</i> • <i>Ajustar la línea de solidificación.</i>
<i>Encogimientos variables o inadecuados</i>	<i>Relación de soplado inadecuada. Relación de estirado inadecuada.</i>	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Mantener constantes, la altura de la línea de solidificación, el diámetro de la burbuja, la velocidad de jalado, la velocidad de enfriamiento y las temperaturas de extrusión.</i>

Tabla 7.2 Principales defectos dimensionales.

7.2.3 Defectos en las propiedades mecánicas.

Las propiedades mecánicas de la película y tubo para equipo médico, dependen principalmente del tipo de material empleado. En la mayoría de los casos las propiedades mecánicas se mejoran mediante el uso de aditivos o mezclas de materiales. Sin embargo, en algunos casos pueden afectarse por las condiciones del proceso Tabla 7.3, puesto que éstas tienen influencia en la orientación molecular.



DEFECTO	CAUSAS	CORRECCIONES
<i>Baja resistencia al rasgado</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Alta orientación molecular: a) Si es en sentido longitudinal se debe a una alta relación de estirado (RE) y baja relación de soplado (RS). b) Si es en sentido transversal se debe a una alta RS y baja RE. 	<ul style="list-style-type: none"> • En sentido longitudinal, disminuir la velocidad de jalado o la altura de la línea de solidificación. • En sentido transversal, disminuir el diámetro de la burbuja, aumentar el diámetro del dado, la altura de la línea de solidificación y la velocidad de jalado.
<i>Resistencia a la Tensión y Elongación bajas o variables</i>	<p>Material muy rígido. Alta orientación molecular.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Modificar la RE o RS según sea el caso. • Adicionar aditivos que mejoren la resistencia mecánica. • De ser posible, emplear materiales más flexibles.
<i>Inestabilidad vertical de la burbuja</i>	<p>Exceso de aire de enfriamiento. Exceso de rendimiento.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la velocidad del aire de enfriamiento. • Reducir el rendimiento. • Reducir la temperatura de fundido.
<i>Inestabilidad horizontal de la burbuja</i>	<p>Exceso de aire de enfriamiento. Exceso de temperatura en el fundido.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Reducir la temperatura de fundido. • Reducir la velocidad del aire de enfriamiento.

Tabla 7.3 Principales defectos en las propiedades mecánicas.

7.3 Recomendaciones para el proceso de extrusión.

El buen control de los componentes de la extrusora es imprescindible para verificar el correcto funcionamiento de la máquina e identificar aquellas áreas que están teniendo fallas. Las cuatro variables de control más importantes de la máquina son: la temperatura del material fundido, los indicadores de presión, el tacómetro del tornillo y el amperímetro.

Los controladores de temperaturas de las distintas zonas de la máquina deben ser revisados, para evitar zonas de sobrecalentamiento o con baja temperatura. Es muy simple hacer esta revisión ya que los termopares están localizados en la superficie del cilindro y del cabezal. El mal funcionamiento de los termopares y el sobrecalentamiento de zonas del tornillo son las causas más comunes del mal funcionamiento de una extrusora y es algo que el operador muchas veces no mira y no corrige. Una buena filosofía de trabajo para el operador puede ser la de tener una lista de todos los parámetros que hay que inspeccionar antes de empezar un trabajo. Además, hay que organizar el mantenimiento periódico de aquellos elementos que deben ser revisados con la extrusora parada. También es bueno ir analizando y reparando aquellas fallas que pueden ser corregidas durante la extrusión.



El cabezal y el aro de enfriamiento deben estar paralelos, y este último debe estar concéntrico al labio del cabezal. En los lugares por donde fluye el aire no debe haber suciedad entre el borde del cabezal y la base del aro. Cualquier suciedad en esta zona puede interrumpir el paso de aire y causar bandas en la resina fundida que sale del cabezal que se marcaran en la película final.

Si queremos hacer una película sin arrugas es necesario un correcto centrado de la burbuja respecto al tiro, Esta debe estar simétrica a la línea que va desde el centro de los rodillos del tiro al centro del cabezal.

La torre debe estar estable y sin vibraciones, es preferible que esté bien aislada de las corrientes de aire que pueden originar turbulencias en la burbuja. Un indicador de un desajuste de los componentes de la torre es la apariencia de arrugas en la película.

Cuando el operador esté viendo problemas en el proceso debe parar, mirar, escuchar y sentir.

Mirar: Si están las resinas, los aditivos y el sistema correctamente ajustados y funcionando. Si las temperaturas de material fundido, la presión, y termopares funcionando correctamente, la burbuja de tiene la forma adecuada y la línea de enfriamiento está a la altura correcta. Si hay arrugas en la película y como es el aspecto de la bobina.

Escuchar: Estar atento a los sistemas de control de la extrusora, el sistema de alimentación, el sistema de enfriamiento. Cualquier cambio de sonido debe ser una indicación de un mal funcionamiento.

Sentir: Sentir la transmisión de la extrusora y el comportamiento de los controladores para detectar una excesiva temperatura o vibración. Sentir el aire de enfriamiento para ver si el compresor funciona correctamente. Sentir la corriente de enfriamiento de agua (ver si el agua que entra está fría y la que sale está templada o caliente).



CAPÍTULO VIII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

Los plásticos han cambiado drásticamente el desarrollo de nuevas tecnologías, dada la transformación que se ha generado en las últimas décadas debido a su utilización. Como es el caso del área médica, donde podemos encontrar películas plásticas y tubo plástico como elementos en dispositivos, tales como bolsas para la recolección y conservación de sangre, bolsas para recolección de orina, bolsas para suero y sistema de venoclisis.

Esto nos llevó a realizar un estudio de las principales formas de transformación del plástico, ya que son un remplazo a los dispositivos médicos de vidrio que son utilizados en gran número en nuestros días. Se encontró que el método ideal para la fabricación de película flexible y tubo flexible es la extrusión, ya que cumple con los requerimientos necesarios para procesar un material plástico como el PVC plastificado de grado médico.

No obstante, que este trabajo se enfoca principalmente en el diseño de dados de extrusión de plástico para la obtención de película flexible y tubo flexible, que son la materia prima para fabricar bolsa plástica y tubo plástico para sistema de venoclisis, respectivamente; es necesario conocer el proceso de extrusión completo, ya que la calidad del producto de extrusión depende de cada una de las partes que integran dicho proceso:

- Máquina de extrusión.
- Material que se procesa.
- Dado.
- Equipos secundarios.

La construcción y tamaño de las extrusoras de tornillo se designan según el número de tornillos que poseen, el diámetro del tornillo y la relación que guarda éste con su longitud efectiva $L:D$.

Los parámetros de funcionamiento más importantes de una extrusora son, la velocidad (rpm) y par del tornillo, la temperatura generada a lo largo del sistema tornillo husillo y la capacidad de producción (gasto másico). Estos parámetros son muy importantes, ya que determinan la presión y la temperatura del material fundido en la cabeza del tornillo.

Entre los elementos que conforman la máquina extrusora, el husillo y el cilindro son los más importantes, por lo que en la práctica es de gran utilidad monitorear el estado físico en que se encuentran, las hojas técnicas propuestas son una forma rápida y sencilla de realizar dicha tarea, y encuentran aplicación cuando los elementos han tenido desgaste por ciertos periodos de trabajo.



En el caso particular del dado de extrusión, éste determina las dimensiones del producto e influye en gran medida en la calidad. Por lo tanto, un diseño adecuado del dado es esencial para asegurar un producto con las especificaciones requeridas.

Pero un diseño adecuado implica conocer el proceso de extrusión, con el sólo fin de tener una mejor apreciación de las posibles dificultades que se presentan en el proceso, lo que al final se traduce como una mejora en la capacidad de extrusión del producto. Debido a que la extrusión es un proceso continuo, es de vital importancia saber localizar un posible problema, pero sobre todo a quien atribuirlo y de qué forma se puede corregir.

Los productos tubulares hechos con PVC plastificado, no dependen de los equipos secundarios tales como calibradores o dados de formado para alcanzar la forma y dimensiones requeridas, sino del dado de extrusión.

La película soplada depende de los sistemas secundarios de extrusión para obtener sus dimensiones y forma.

En el material extruido que sale del dado sólo se produce una disminución a escala de la forma, de modo que se conservan las proporciones o relación de dimensiones y son poco afectadas por equipos secundarios tales como guías o baños de enfriamiento. Ésto no quiere decir que no sea posible alterar la forma del producto de extrusión cuando ha salido del dado, ya que empleando algunos equipos de formado, se puede obtener, por ejemplo, tubo corrugado y recubrimiento para cable con forma helicoidal.

El diseño de dado propuesto para obtener película flexible y tubo flexible, es el de tipo anular. Los datos de entrada para el diseño de un dado de extrusión son: la geometría del producto final, la forma en la cual es alimentado, el material a ser procesado y las condiciones de operación (temperatura en el dado y capacidad de producción). Se implementaron tablas para cada uno de los diseños de los dados anulares, con el fin de determinar de forma más práctica las dimensiones que debe tener un dado de este tipo, con sólo proporcionar algunos datos y condiciones para el diseño, como son, especificaciones del equipo de extrusión y características del plástico a procesar.

Con lo anterior concluimos que con el manejo de todos los puntos anteriores, se obtienen dados que cumplan con los principales requerimientos de la industria médica, para la fabricación de productos de la más alta calidad, que nos pueden dar procesos prácticos, con bajos costos, para lograr incrementos de utilidad a las empresas que se dedican a este sector.



ANEXO A

DENOMINACIÓN DE PLÁSTICOS.

Los polímeros se denominan anteponiendo el prefijo "Poli" al nombre del monómero de donde se origina el plástico, por ejemplo:

Monómero inicial	Etileno
Nombre del Polímero	Polietileno

Otra forma de denominar a un polímero es adicionándole a la estructura anterior sus características especiales. Por ejemplo, en el caso del Polietileno se tiene:

prefijo "poli" + monómero de origen + características especiales

PE	<u>P</u>oli<u>E</u>tileno
PEBD	<u>P</u>oli<u>E</u>tileno <u>B</u>aja <u>D</u>ensidad
PEAD	<u>P</u>oli<u>E</u>tileno <u>A</u>lta <u>D</u>ensidad
PELBD	<u>P</u>oli<u>E</u>tileno <u>L</u>ineal <u>B</u>aja <u>D</u>ensidad

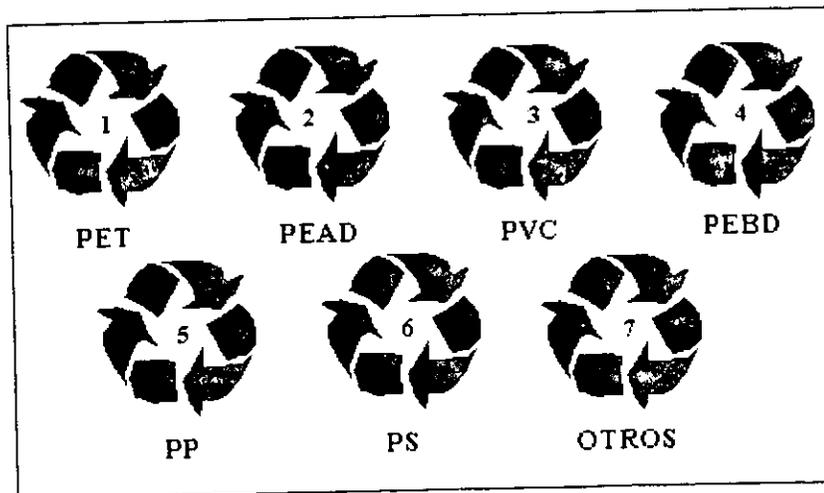
También suele utilizarse la abreviación o forma corta del nombre del polímero:

ABREVIACIÓN	NOMBRE DEL POLÍMERO
ABS	ACRILONITRILO BUTADIENO ESTIRENO
CA	ACETATO DE CELULOSA
EP	RESINA EPÓXICA
EPS	POLIESTIRENO EXPANDIBLE
EVA	ETIL VINIL ACETATO
PEAD	POLIETILENO ALTA DENSIDAD
PEBD	POLIETILENO BAJA DENSIDAD
MF	MELANINA FORMALDEHÍDO
PA	POLIAMIDA (Nylon)
PB	POLIBUTADIENO
PBT	POLIBUTILEN TEREFTALATO
PC	POLICARBONATO
PEI	POLIESTERIMIDA
PEN	POLIETILEN NAFTENATO
PES	POLIESTERSULFONA
PET	POLITILEN TEREFTALATO
PF	FENOL FORMALDEHIDO (Baquelita)



PMMA	POLIMETIL METRACRILATO (Acrílico)
POM	POLIOXIDO DE METILENO (Acetales)
PP	POLIPROPILENO
PPS	POLIFENILEN SULFONA
PS	POLIESTIRENO
PTFE	POLITETRAFLUOROETILENO
PUR	POLIURETANO
PVC	CLORURO DE POLIVINILO
SAN	ESTIRENO ACRILONITRILLO
SB	ESTIRENO BUTADIENO
TPE	ELASTÓMERO TERMOPLÁSTICO
TPO	ELASTÓMERO TERMOPLÁSTICO DE OLEFINA
TPU	POLIURETANO TERMOPLÁSTICO
UHMWPE	POLIETILENO ULTRA ALTO PESO MOLECULAR
UF	UREA FORMALDEHÍDO
UP	POLIESTER INSATURADO
Si	SILICONES
LCP	POLÍMEROS DE CRISTAL LIQUIDO
PE _m	POLIETILENO BASE METALOCENO
PVDC	CLORURO DE POLIVINILIDENO
VEO	ALCOHOL ETIL VINILICO

El sistema de clasificación internacional de reciclaje para plásticos, es el siguiente:





Comportamiento de los plásticos frente al calor.

Los polímeros pueden soportar deformación tanto elástica como plástica cuando se aplica un esfuerzo. La deformación elástica se debe a dos mecanismos -estiramiento y distorsión de los enlaces. La deformación plástica de los polímeros ocurre cuando las cadenas en el polímero se deslizan una sobre otra rompiendo los débiles enlaces. Cuando se retira el esfuerzo, las cadenas permanecen en sus nuevas posiciones y el polímero se deforma permanentemente. La facilidad con la que ocurre deformación permanente esta relacionada con la viscosidad del polímero. Los polímeros con una alta viscosidad requieren mayores esfuerzos para causar deformación plástica.

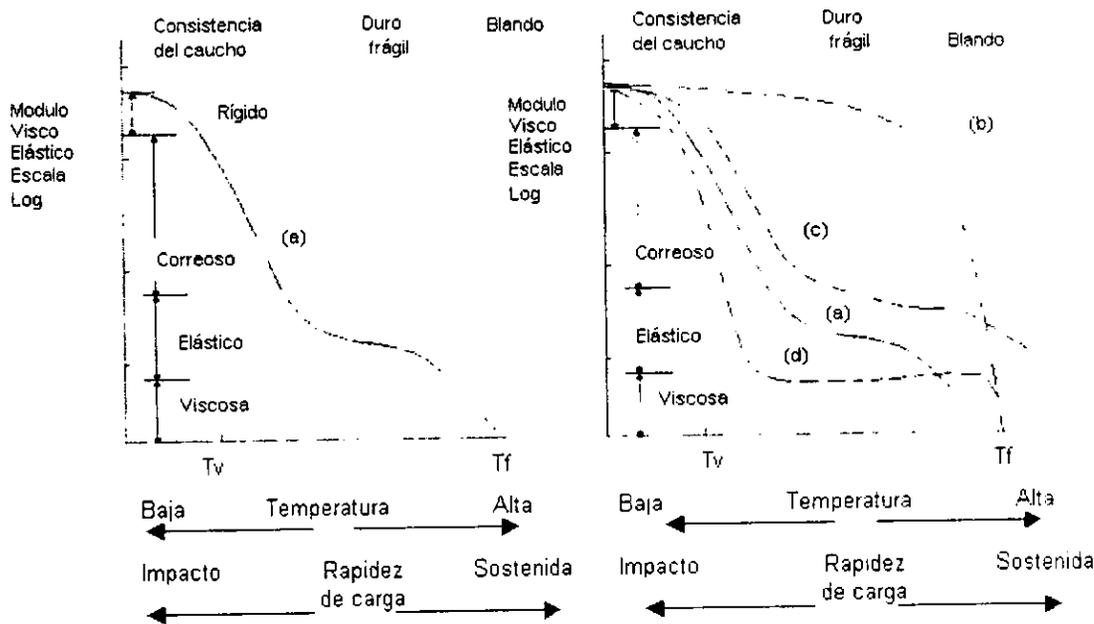


Fig. - 1 B Modulo visco elástico contra estructura. (a) Polímero lineal amorfo. (b) Polímero cristalino. (c) Polímero de enlaces cruzados. (d) Elastómero (caucho).

Cuando se calientan los materiales termoplásticos lineales o ramificados, es decir no entrecruzados, empiezan a reblandecerse y luego, al seguir calentando, empiezan a fluir en un intervalo de temperatura mas definido.

Temperatura de degradación: A muy altas temperaturas, los enlaces covalentes entre los átomos en la cadena lineal pueden destruirse, el polímero se quema o carboniza. Esta temperatura T_d (temperatura de degradación), limita la utilidad del polímero y representa la temperatura superior a la cual el polímero puede ser conformado en una forma útil.

Temperatura de Fusión: Cuando la temperatura de los polímeros termoplásticos lineales es alta, la viscosidad es muy baja. Las cadenas pueden moverse incluso sin fuerzas externas y, si se aplica una fuerza, el polímero fluye prácticamente sin que ocurra deformación elástica. La resistencia y el módulo de elasticidad son cercanos a cero. El polímero es adecuado para vaciado y muchos otros procesos de conformado.



Conforme disminuye la temperatura, se incrementa la viscosidad y ya no se mueven tan fácilmente las cadenas. Cuando la temperatura baja hasta la temperatura de fusión T_f el polímero se vuelve rígido.

El estado plástico: Por debajo de la temperatura de fusión el polímero es rígido y mantiene su forma T_c , aunque las cadenas están aun altamente torcidas y enroscadas. Sin embargo, las cadenas se mueven y causan deformación cuando se aplica un esfuerzo. Cuando se retira dicho esfuerzo, solo se recupera la parte elástica de la deformación. La resistencia y el módulo de elasticidad son bajos pero el alargamiento es excepcionalmente alto.

El estado rígido. Conforme continua decreciendo la temperatura del polímero amorfo, la viscosidad se hace tan baja que solo es posible el movimiento muy localizado de pequeños grupos moleculares en las cadenas. Por debajo de la Temperatura de transición vítrea T_v , el polímero lineal se vuelve duro y frágil y se comporta de modo parecido a un vidrio cerámico. Normalmente, las propiedades tales como el módulo de elasticidad o la densidad, cambian a una velocidad diferente cuando la temperatura cae por debajo de T_v . A menudo los polímeros son encogidos de modo que la temperatura de transición sea inferior a las temperaturas de servicio.

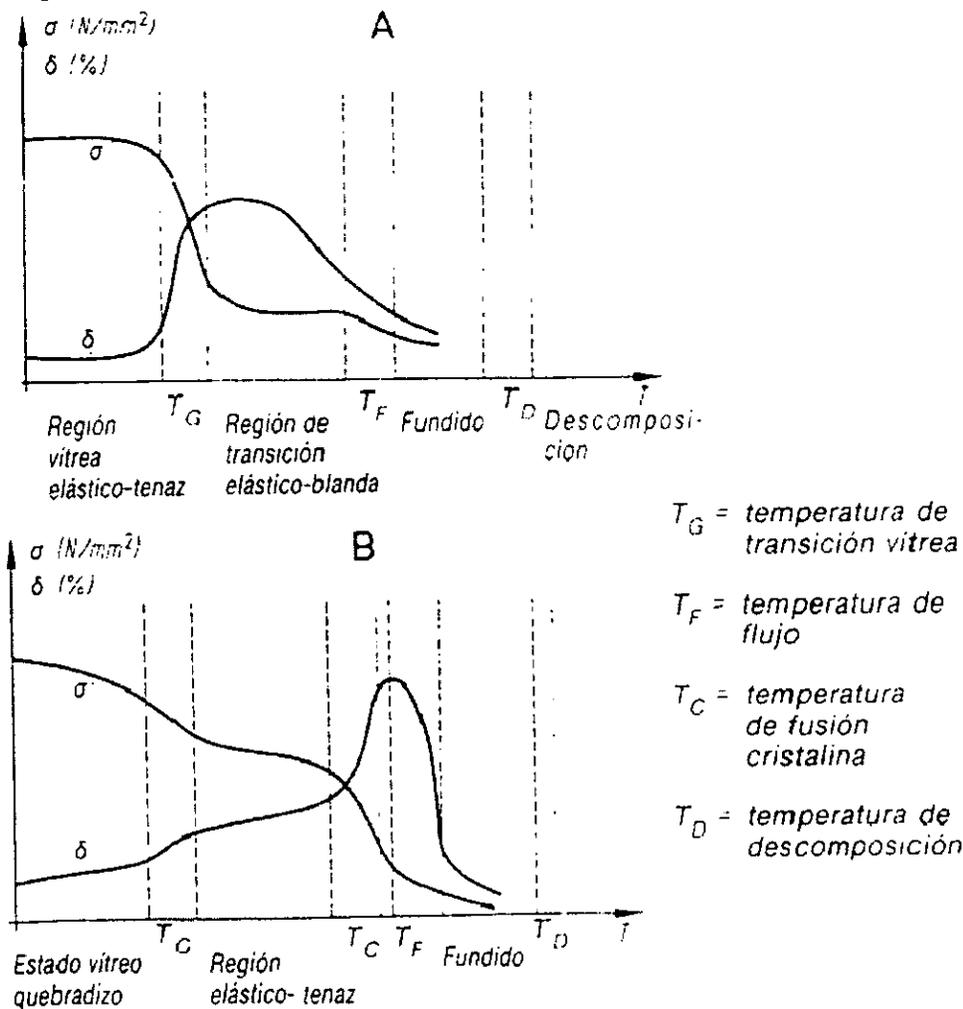


Fig. - 2 B Variación de la resistencia a la tracción σ y de la elongación δ con la temperatura para termoplásticos amorfos (A) y parcialmente cristalinos (B).



BIBLIOGRAFÍA

1. Morton-Jones, David H. *Procesamiento de Plásticos. Inyección, Moldeo, Hule, PVC*. México. Limusa. 1993. 302 págs.
2. Groover, Mikell P. *Fundamentos de Manufactura Moderna: Materiales, Procesos y Sistemas*. México. Prentice Hall. 1997. 1062 págs.
3. Savgorodny, V. K. *Transformación de Plásticos*. Barcelona. Gustavo Gili. 1993. 276 págs.
4. Kuhne, Gunther. *Envases y Embalajes de Plástico*. México. Gustavo Gili. 1976. 276 págs.
5. Rodriguez, Ferdinand. *Principios de Sistemas de Polímeros*. México. El Manual Moderno. 1984. 576 págs.
6. Allan, L. Griff. *Plastics Extrusion Technology*. New York. Edison Technical Services. 1968.
7. Fisher, E.G. *Extrusión de Plásticos*. México. Compañía Editorial Continental.
8. Anguita Delgado, Ramón. *Extrusión de Plásticos, Teoría y Equipo*. Madrid. H. Blume. 1997.
9. Lakensgard, Richardson. *Industrial Plastics Theory and Applications*. 3ª ed. Delmar Publishers. 1996.
10. Dieter, George. *Engineering Design*. International Student Edition.
11. Norton, Robert L. *Diseño de Maquinaria*. Mc Graw Hill.
12. Fox, Robert W. *Introducción a la Mecánica de Fluidos*. 2ª ed. México. Mc Graw Hill. 1995.
13. Munson, Bruce R., Young, Donald F., Okiishi, Theodore H. *Fundamentos de Mecánica de Fluidos*. México. Limusa.
14. Askeland, Donald R. *La Ciencia e Ingeniería de los Materiales*. México. Grupo Editorial Iberoamérica. 1987. 556 págs.
15. Van Vlack, Lawrence H. *Tecnología de Materiales*. México. Ediciones Alfaomega. 1991. 343 págs.
16. Ramos de Valle, Luis Francisco. *Extrusión de Plásticos*. México. Limusa. 1993. 188 págs.
17. Zeleny Vázquez, Ramón. *Metrología Dimensional*. México. Mc Graw Hill. 1999. 510 págs.
18. Michaeli, Walter. *Extrusion Dies for Plastics and Rubber*. Munich. Hanser. 1992.
19. Rauwendaal, Chris. *Polymer Extrusion*. 1994. 568 págs.
20. Chapman, E. Hall. *Plastics Engineering Handbook of the Society of the Plastics Industry*. 5ª ed. 1991. Editado por Michael L. Berind.
21. Basf. *Film Extrusion: Lupolen, Novolen*. 71 págs.
22. Basf. *Ultramid: Descripción del Surtido, Propiedades, Transformación*. 75 págs.
23. Basf. *Terluran*. Año 2000.
24. Basf. *Diseño Eficiente en Plásticos*. Año 1999.
25. Hoechst Company. *Hoechst Plastics Blow Moulding of Thermoplastics*. Año 1998.



26. Dupont. *Curso de Moldeo para Clientes y Distribuidores*. Año 1999.
27. Dupont. *Ideas para la reducción de Costos en el Proceso de Inyección*. Año 1999.
28. Dupont. *Capacitación Básica en Polímeros de Ingeniería, 2º Ciclo de Capacitación* 1999.
29. Dupont. *Moldeo Óptimo I y II, 2º Ciclo de Capacitación* 1999.
30. Dupont. *Máquinas Inyectoras*. Año 1999.
31. Ingenieros en Plástico Asociados. *Materiales para Inyección*. México, 1995.
32. Ingenieros en Plástico Asociados. *Tecnología de Materiales*. Año 2000.
33. Ingenieros en Plástico Asociados. *Diseño de Piezas de Plástico*. Año 1996.
34. Anklam, Nicola. *Compendio de la Técnica de los Plásticos*. Manual 1994. Bocar México. División Plásticos.
35. General Electric (GE Plastics). *Perfil de Materiales*. Año 2000.
36. Centro Empresarial del Plástico. *La Era del Plástico*. Año 2000.
37. Centro Empresarial del Plástico (IMPI). *Enciclopedia del Plástico* (Tomo 1 a 4). 2ª ed. 1999-2000.
38. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Manual de Plásticos*. México, 1999.
39. Instituto Mexicano del Plástico Industrial. *Reciclado de Plásticos*. México, 1998.

Referencias:

- Revista Tecnología del Plástico. (Información Técnica y de Negocios para la Industria Plástica en América Latina).
www.plastico.com
Artículos en línea:
 - Capella, Fermín. "Moldeo por soplado: equipos y accesorios".
 - Capella, Fermín. "Termoformado: procedimientos, maquinaria y materiales".
 - Capella Fermín. "Maquinaria de extrusión".
- Revista Médica Device Link en línea.
www.devicelink.com
 - Shang, Sherwin. "Selecting materials for medical products: from PVC to metallocene polyolefins".
- Reifenhauer GmbH & Co.
www.reifenhauer.com
- Cincinnati Milacron.
www.milacron.com
- European Council of Vinyl Manufacturers.
www.ramsay.co.uk
- Secretaría de Salud.
www.ssa.gob.mx
 - NOM-136-SSA1-1995
 - NOM-139-SSA1-1995