



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE INGENIERIA

COMPORTAMIENTO MECANICO Y MANUFACTURA
DE LOS MATERIALES PLASTICOS.

TESIS PROFESIONAL

Que para obtener el Título de
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P r e s e n t a n

ARTURO ALVIZAR GUTIERREZ
JUAN MENDEZ FRANCISCO

Director de Tesis: Ing. Armando Ortiz Prado



Ciudad Universitaria

Agosto 1984



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

**COMPORTAMIENTO MECANICO Y MANUFACTURA
DE LOS MATERIALES PLASTICOS
CONTENIDO**

	<u>PAGINA</u>
INTRODUCCION	5
CAPITULO 1.- HISTORIA (Invención y desarrollo de los mate- riales plásticos).	9
A) Empirismo	9
B) Plásticos sintéticos	14
C) El petróleo y los plásticos sintéticos	18
CAPITULO II.- DEFINICIONES Y CONCEPTOS	24
2.1 Polímeros	24
2.2 Clasificación de polímeros	24
2.3 Mecanismos de polimerización	25
2.3.1 Polimerización por adición	28
2.3.2 Polimerización por condensación	31
2.4 Copolímeros y homopolímeros	32
2.5 Peso molecular	33
2.6 Cristalinidad	34
2.7 Plásticos	35
2.7.1 Definición	35
2.7.2 Clasificación de los plásticos	35
2.8 Termoplásticos	36
2.9 Termofijos	36
2.10 Agentes que modifican las propiedades_ de los plásticos	37
2.10.1 Cargas de refuerzo	38
2.10.2 Plastificantes, colorantes y pigmentos	38
2.10.3 Estabilizadores	39
2.10.4 Cargas de relleno	39
2.11 Propiedades generales de los plásticos	40
CAPITULO III.- IDENTIFICACION DE PLASTICOS	41

3.1	Introducción	41
3.2	Métodos	42
3.2.1	Identificación con empleo de reactivos	42
3.2.2	Método empírico	42
3.2.3	Identificación mediante llama	43
CAPITULO IV.- PRINCIPALES PROPIEDADES MECANICAS Y ENSAYOS		48
4.1	Introducción	48
4.2	Propiedades mecánicas	51
4.3	Ensayos para evaluar las propiedades mecánicas.	52
4.3.1	Ensayo de tracción	56
4.3.2	Ensayo de compresión	59
4.3.3	Ensayo de flexión	59
4.3.4	Ensayo de impacto	60
4.3.5	Ensayo de dureza	61
4.4	Normas	62
CAPITULO V.- PROCESOS DE CONFORMADO		64
5.1	Introducción	64
5.2	Clasificación de los principales procesos de conformado	64
5.3	Extrusión	65
5.3.1	Descripción general del proceso	65
5.3.2	Equipo empleado para el proceso	69
5.3.3	Descripción general del equipo	70
5.3.4	Materiales para extrusión	74
5.3.5	Artículos obtenidos mediante extrusión	75
5.3.6	Extrusión de termofijos	77
5.3.7	Plásticos reforzados	78
5.3.8	Ventajas y desventajas del proceso	79
5.4	Inyección	80
5.4.1	Descripción del proceso	80
5.4.2	Maquinas de inyección	86
5.4.3	Unidad inyectora	87

5.4.4	Cilindro de plastificación	88
5.4.5	Sistemas de plastificación	92
5.4.6	Boquilla de inyección	93
5.4.7	Unidad de cierre	93
5.4.8	Ventajas del proceso	96
5.5	Soplado	100
5.5.1	Descripción del proceso	100
5.5.2	Extrusión-soplado	100
5.5.3	Inyección-soplado	104
5.5.4	Cabezales	105
5.5.5	Ventajas y desventajas del proceso	106
5.6	Agregado y preformado	106
5.6.1	Descripción del proceso	106
5.6.2	Equipo	107
5.6.3	Ventajas	107
5.7	Moldeo de compresión	107
5.7.1	Descripción del proceso	107
5.7.2	Equipo	109
5.7.3	Ventajas y desventajas del proceso	109
5.8	Moldeo de transferencia	110
5.8.1	Descripción del proceso	110
5.8.2	Ventajas y desventajas del proceso	110
5.9	Calandreado o satinado	110
5.9.1	Descripción del proceso	110
5.10	Formado al vacío	112
5.10.1	Descripción del proceso	112
5.10.2	Formado al vacío con retorno	113
5.10.3	Formado libre a vacío o presión	113
5.10.4	Equipo	114

CAPITULO VI.-	DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA DE	
	LOS PLASTICOS EN MEXICO	115
6.1	Introducción	115
6.2	Antecedentes	115

6.3	Desarrollo	117
6.4	Perspectivas	118
	Apéndice	122
	Bibliografía	156

INTRODUCCION

En la actualidad a nadie sorprende escuchar comentarios como éstos: ésa camisa, ése portafolios, ése aparato telefónico; incluso partes muy importantes de ése imponente jet que cruza el espacio en esos momentos, están hechos de algún tipo de material plástico.

La importancia de los plásticos en sus múltiples usos en la vida diaria del ser humano, en cualquier sitio, se manifiesta claramente con sólo mirar a nuestro alrededor, ya que es casi seguro que descubriremos no uno, sino varios artículos hechos a base de material plástico; de uso tanto práctico como decorativo.

Enfoque.- Es muy común hablar del plástico, pero muy pocos individuos saben que es en realidad un material plástico.

En virtud de la importancia que esta rama de la Ingeniería de los Materiales ha adquirido últimamente en nuestro país y debido a que no hay fuentes de información lo suficientemente sencillas y que abarquen los conceptos fundamentales, hemos tomado en nuestras manos la responsabilidad de aplicar nuestro mayor esfuerzo para realizar una investigación bibliográfica lo más amplia posible, pero sin tratar de profundizar demasiado en algún punto, pues, es tan amplio el tema que, un sólo punto tratado con todo detalle bastaría para llenar no uno, sino varios volúmenes y, siempre habrá material que no se incluya, ya que la Investigación de Materiales en la rama de los plásticos; es una de las que marchan a un ritmo sorprendente descubriendo, desarrollando y modificando la inmensa gama de polímeros con que actualmente cuenta la industria, sobre todo en los países desarrollados.

Ante la imposibilidad de tratar todos y cada uno de los tipos

de plásticos, ni siquiera los de una misma familia, nos concretamos a tratar generalidades acerca de que es y porque éste o aquel material es un Termoplástico o un Termofijo; qué procesos son adecuados o únicos para conformar un tipo de plástico, con qué tipo de ensayos pueden ser determinadas sus principales propiedades mecánicas; así como las aplicaciones más destacadas de dichos materiales.

Objetivo Principal.- Debido a lo amplio del tema y considerando nuestras propias limitaciones en lo concerniente a conocimiento y trato directo con los materiales plásticos, debemos reducir nuestro deseo de reunir en éste trabajo información basta y actualizada del tema; ya que por una parte las causas antes mencionadas y por la otra, el tiempo, nos obligan a tomar una aptitud más realista. Por lo tanto, abordamos sólo los conceptos fundamentales; en otras palabras, puede decirse que nuestro trabajo es una introducción teórica al inmenso campo de los materiales plásticos. Ante tales limitantes, deseamos sinceramente y en ello ponemos nuestro mayor esfuerzo, que quienes tengan la necesidad o simplemente la curiosidad de incursionar por primera vez en éste tema, encuentren claridad en los conceptos, coherencia en las ideas y una adecuada secuencia en el desarrollo de los capítulos que contiene este trabajo.

Objetivo Secundario.- Es también muy importante para nosotros, pretender que todo nuestro trabajo de investigación bibliográfica finalmente concretado en un sencillo tomo; sea por su contenido y por lo relativamente nuevo del tema, aplicado como una guía para los alumnos que cursan asignaturas a nivel Licenciatura, tales como: Tecnología de Materiales, Procesos de Manufactura y Diseño de Elementos de Máquinas. También y esto es sólo como sugerencia, creemos conveniente que, en base a la teoría que nosotros exponemos y con la experiencia de los Profesores, se desarrollen algunas prácticas de Laboratorio para introducir y a la vez despertar el interés de los alumnos por Materiales Plásticos.

Contenido.- El contenido de éste trabajo está dividido en

seis capítulos y un apéndice denominados:

- 1.- Historia
- 2.- Definiciones y Conceptos
- 3.- Identificación de Plásticos
- 4.- Principales Propiedades Mecánicas y Ensayos
- 5.- Principales Procesos de Conformado
- 6.- La Industria de Plástico en México.

El orden en que presentamos estos capítulos, está a nuestro particular criterio, concebido de tal manera, que el lector conozca al go de la historia del descubrimiento de los primeros polímeros plásticos, tanto naturales como sintéticos a fin de motivarlo para que llevado de su interés desee conocer más de cerca el contenido de todos y cada uno de los capítulos. Desde luego, algunos de ellos, tales como el 1, 2 y 6, están prácticamente desligados, salvo por algunos conceptos que los relacionan. Sin embargo, los capítulos 2, 3, 4 y 5 están muy relacionados, por lo que es conveniente respetar el orden; ya que finalmente, el capítulo de mayor importancia es el 5, pues en él convergen todos los conocimientos y teoría expuestos en los capítulos precedentes.

En el capítulo 1, presentamos una síntesis de las peripecias que enfrentaron los hombres de ciencia y talento en su afán por hallar materiales iguales y aún mejores que los naturales y como guiados por su natural intuición descubrieron materiales únicos para usos específicos.

En el capítulo 2, tratamos definiciones de: plástico, polímero, copolímero, peso molecular y conceptos de: mecanismos de polimerización, cristalinidad, diferencias básicas entre Termoplásticos y Termofijos; propiedades generales y agentes que modifican las propiedades de los plásticos.

En el capítulo 3, se exponen algunos procedimientos prácticos para la identificación de algunos tipos de plásticos que se caracteri-

zan por su sencillez.

En el capítulo 4, se exponen brevemente los ensayos de: Resistencia a la tracción, Resistencia a la compresión, Resistencia al impacto y de Dureza; indicando además, el número de Norma ASTM que rige a cada ensayo.

En el capítulo 5, sintetizamos la teoría elemental de los diferentes procesos mediante los cuales se conforman los diversos tipos de plásticos; tales como: Extrusión, Inyección, Soplado, Formado al Vacío, Agregado y Preformado, Moldeo de Compresión, Moldeo de Transferencia y Calandreado.

El capítulo 6, contiene información acerca de: origen, desarrollo y perspectivas de la industria del plástico en México.

Finalmente, en el apéndice se han incertado las normas que rigen los ensayos de: Tracción, Flexión y Dureza.

CAPITULO I

HISTORIA

Invención y desarrollo de los Materiales Plásticos.

La forma y secuencia como fueron inventados los materiales plásticos, puede ser abordada desde distintos puntos de vista, quizá todos diferentes, más en lo que siempre habrá coincidencia, es en el hecho de que no fueron inventados por pura curiosidad. Siempre la investigación fue motivada por la necesidad de fabricar nuevos materiales cuyas propiedades respondieran a los usos particulares a que debían ser destinados. Los procedimientos y métodos utilizados para su obtención, han variado radicalmente, desde los primeros que eran totalmente empíricos y con equipo rudimentario, hasta los más sofisticados con que actualmente cuenta la industria sintetizadora de polímeros plásticos.

Siguiendo, la evolución de los procedimientos empleados para la obtención de los mismos y de acuerdo a los resultados alcanzados, hemos dividido, a la historia de los plásticos en tres etapas, denominadas:

- A) **EMPIRISMO**
- B) **PLASTICOS SINTETICOS**
- C) **EL PETROLEO Y LOS PLASTICOS SINTETICOS.**

A continuación desarrollamos por separado, cada una de esas etapas.

A) **EMPIRISMO.**- Desde los tiempos más remotos de la humanidad, el hombre ha tenido la inquietud de manejar a su antojo, la materia y transformarla a su conveniencia para vivir mejor.

Fue, sin embargo hasta mediados del siglo XIX cuando los químicos de esa época fundaron los cimientos de la industria actual de los plásticos, poniendo en acción su talento e ingenio para combinar los elementos químicos como ocurre en la naturaleza, pero sin seguir un método, es decir, no podían predecir los resultados.

La gran familia de los plásticos evolucionó de los trabajos pioneros de mediados del siglo XIX. Quienes producían dichos materiales, aprendían en gran parte por ensayo y error, cómo crearlos con cualquier característica de dureza, maleabilidad o transparencia que requerían, y además, obtenían el resultado correcto, pero rara vez sabían porque.

Sin embargo, este curioso método cambió durante la primera mitad del siglo XIX a medida que la ciencia de la química finalmente rompió con los lazos de la Alquimia, que hasta entonces la habían seguido deteniendo. Aún cuando la primera exhibición pública de los primeros artículos de plástico no tuvo lugar, sino en la Exposición Internacional de Londres en 1862, su origen puede remontarse cuando menos a tres décadas antes.

En 1832, el profesor Henri Braconat de Nancy, descubrió que si vertía ácido nítrico concentrado sobre fibras de algodón o de la madera, obtenía una película dura a prueba de agua que llamó xylodina.

Unos años más tarde, un francés Theophile Pelouze, en París, llegó a los mismos resultados descubriendo además que ambos materiales podían ser utilizados para producir una sustancia explosiva. Sin embargo, ni Pelouze ni Braconat, dieron importancia a tal hecho y abandonaron sus experimentos.

Se cuenta que Christian Schonbein, un químico Germano-Suizo, mientras hacía determinados experimentos en la cocina de su casa, derramó por descuido un poco de ácido, el cual se mezcló con otras subs-

tancias, limpió enseguida la mezcla con un delantal de algodón que puso luego a secar sobre la estufa, y vió entonces con sorpresa como desaparecía en una detonación sin humo. Lo que Schonbein había producido era la Nitrocelulosa, comúnmente conocida como algodón pólvora; además, había descubierto como producirla bajo estricto control.

Sin embargo, le correspondió a Alexander Parkes, un metalurgista de Birmingham aprovechar los descubrimientos de Schonbein, pues logró procesar la Nitrocelulosa hasta convertirla en el primer plástico en el mundo. Una de las ideas de Parkes, era preparar un plástico lo suficientemente grueso como para ser utilizado en lugar del vidrio para soportar la sensible emulsión fotográfica.

Cuando Parkes intentó producir en cantidades industriales la nueva substancia, se enfrentó al problema de la materia prima, pues aunque había abundante algodón, no todas las variedades servían a su propósito. Lo que hizo entonces, fue sustituir al algodón mediante desperdicios de hilaza de algodón que colocó en una vasija a la que llamó "convertidor", agregaba ácido nítrico y sulfúrico, y después de 20 ó 30 minutos vertía la masa resultante sobre una bandeja perforada de la que escurría el resto del disolvente. Una hora más tarde, mediante presión hidráulica rellenaba un cilindro con la nitrocelulosa. Posteriormente, este cilindro de algodón pólvora sólido se desmenuzaba y se mezclaba con un disolvente. Aquí fué donde Parkes tuvo problemas fuertes, pues la mayoría de los disolventes empleados hasta entonces eran "inflamables". El "alcanfor" fué uno de los disolventes que resolvió en parte el problema, más no llegó a descubrir que el resultado era una substancia llamada más tarde "Celuloide".

La siguiente etapa consistía en disolver la nitrocelulosa mediante un disolvente para producir finalmente una masa plástica maleable, a esta se le agregaban resinas diversas y aceites para dar al resultado la calidad necesaria de dureza y flexibilidad. Después podía procesarse para hacer hojas con él, o podía moldearse de diferentes

formas.

Parkes describía el producto obtenido en los siguientes términos: "puede extenderse sobre telas y otros materiales. Las capas de un color pueden extenderse sobre las de otro y es posible obtener bellos efectos granulados o jaspeados con sólo enrollar hojas de colores disímiles, mientras la masa se encuentre en un estado ligeramente suave".

Durante la exposición de 1862, Parkes mostró medallones, ollas, tubos, botones, mangos para cuchillos, marquetería, encuadernación, es tuches para naipes, cajas, plumas, portaplumas, etc., hechos todos con material plástico llamado "parkesina", que contaba con los siguientes atributos: podía hacerse dura como marfil, transparente u opaca, de cualquier grado de flexibilidad; además de que era a prueba de agua, podía ser de los colores más brillantes, podía usarse en estado sólido, plástico o líquido. Podía trabajarse en troquel y bajo presión como los metales, podía hacerse al molde o utilizarse como revestimiento de una gran variedad de materiales. Además, podía usarse para imitar al carey o la madera, así como producir una infinita variedad de efectos; pero tenía un grave defecto: era inflamable.

Por diversas razones la empresa fundada por Parkes no tuvo éxito y desapareció. Sin embargo, uno de sus colaboradores, Daniel Spill mantuvo viva la industria del plástico hacia el año de 1870. Este fabricó una clase perfeccionada de parkesina a la que llamó "xylonita", fundando para ello la empresa Compañía Británica de Xylonita. Los primeros artículos fabricados con este material estuvieron relacionados con la joyería; más tarde se empleó para fabricar cuellos y puños de camisa. Después de muchas dificultades la Compañía se transformó en La Bakelite Xylonite Ltd.

En tanto que Spill se retiraba del negocio, surgió en Estados Unidos de Norteamérica "John Wesley Hyatt", de oficio impresor, el cual en 1860, estableció en Albany, Nueva Jersey, la industria del plástico

en Norteamérica.

Hyatt, por entonces se enfrentó al reto de hallar un sustituto del marfil, material con el que hasta entonces se fabricaban las bolas de billar. La Phelen and Collander que era la Compañía local fabricante de las bolas de billar, ofreció diez mil dólares a cualquiera que encontrara un sustituto del marfil.

Lo que Hyatt hizo ante el reto, fue utilizar el alcanfor aprovechando las experiencias de Parkes. La adición del alcanfor al colodion (nitrato de celulosa) o piroxilina, eliminaba el encogimiento durante el proceso de manufactura de las bolas de billar.

Sabiendo de la peligrosidad de la nitrocelulosa, Hyatt disolvió el alcanfor en alcohol etílico en lugar de calentarlo. Así, a través de muchos experimentos, en 1872 obtuvo la patente para la fabricación del "Celuloide".

El siguiente paso fué la fundación de la Compañía Manufacturera Hyatt, que pronto pasó a ser La Compañía de bolas de billar Albany.

Como no todas las bolas de billar son blancas, para darles el color necesario, se les aplicó una capa lo más delgada posible de nitrocelulosa. Por razones técnicas, se les añadió sólo la cantidad más pequeña de colorante, con lo que las bolas quedaron cubiertas con una película de nitrocelulosa casi pura. En consecuencia, cuando entraban en contacto con un cigarrillo se producía una llamarada y en ocasiones, debido al choque violento entre ellas, se producía una explosión leve como la de un fulminante.

Más tarde, fueron los fabricantes de dentaduras postizas quienes recurrieron a Hyatt, debido nuevamente a la alternativa que se le presentó cuando los fabricantes de hule elevaron demasiado sus precios de venta; Hyatt reinició sus experimentos tratando de hallar un sustituto del hule natural, aprovechando las cualidades del celuloide. _____

Así nació la Compañía Dental Albany, que pronto se convirtió en un gran negocio

Pronto la industria del plástico extendió sus brazos a Europa, concretamente a Francia, Alemania y también a Inglaterra.

B) PLÁSTICOS SINTÉTICOS.- A medida que la ciencia de la Química Inorgánica iba progresando, surgió una rama colateral llamada química Orgánica, con ello se descubrió que la mayoría de los materiales plásticos estaban constituidos por elementos tales como el carbono, hidrógeno y oxígeno fundamentalmente, todos ellos presentes en compuestos de tipo orgánico.

El estudio de la estructura molecular de los compuestos orgánicos más simples como el Benceno (C_6H_6) dio la clave para comprender que con solo variar el orden de los elementos presentes en una molécula, se formaba un nuevo tipo de plástico.

El siguiente paso, consistió en hallar los procedimientos adecuados para unir dichas moléculas, o sea imitar las reacciones químicas ocurridas en la naturaleza, pero ahora bajo estricto control. Esta serie de procedimientos creados por el hombre, dio origen a las moléculas sintéticas o artificiales de las cuales están compuestos los plásticos modernos.

Las primeras tentativas de producir un celuloide no inflamable se habían llevado a cabo en la década de 1860, pero ninguna tuvo éxito, y no fue sino hasta la década de 1890, cuando Charles Cross y Edward Bevan, que ya habían descubierto como convertir la celulosa natural en una fibra artificial llamada "viscosa", descubrieron además, una manera satisfactoria de convertir la misma materia prima en una hoja transparente no inflamable de acetocelulosa. Enseguida se registraron patentes en muchos países; sin embargo, a pesar del atractivo de ser no inflamable, la acetocelulosa sobrevivió gracias al estallido de

la Primera Guerra Mundial. La guerra trajo consigo la demanda de un barniz no inflamable que pudiera utilizarse para pintar la armazón de los aviones y para endurecer la tela de las alas. Dos Suizos, los hermanos Dreyfus fueron los pioneros. Cuando finalizó la guerra se dieron cuenta del potencial de la acetocelulosa como fibra, y en un período excepcionalmente corto habían puesto en el mercado una fibra bajo el nombre de "celanese" que fue el primero de los rayones verdaderamente populares.

Cuando la caseína que es la principal proteína de la leche reveló que en contacto con el formaldehído se transformaba en una substancia repelente al agua, nació una nueva rama de la industria del plástico. Pronto en Estados Unidos y Europa, surgieron patentes para transformar la caseína en un plástico útil. Los plásticos a base de caseína se emplearon para fabricar botones, hebillas y artículos de fantasía.

Los siguientes pasos fueron tan importantes que a veces son descritos como fundadores de la industria moderna del plástico. Su desarrollo correspondió al Dr. Leo Hendrik Baekeland, un belga que había emigrado a los Estados Unidos y en donde su interés personal en la fotografía, lo llevó a desarrollar el "velox", papel sensibilizado que se oscurece bajo la luz y que requiere de un tratamiento especial para fijar la imagen. En 1899, a la edad de 36 años, vendió su negocio de fotografía y se fué a Europa a tomar un curso de Electroquímica.

De regreso a los Estados Unidos, Baekeland desarrolló diversas investigaciones, entre ellas: desarrollo de nuevos métodos de aire acondicionado y perfeccionó las celdas electrolíticas. Sin embargo, a principios de 1900, su atención se concentró en la búsqueda de un material hecho por el hombre que substituyera a la laca, ésa amarillenta resina natural segregada por el insecto de la laca que, debido a sus propiedades aislantes, la industria eléctrica en constante expansión solicitaba en cantidades cada vez mayores.

En un principio, la idea de Baekeland fue partir de los trabajos de Adolf Baeyer y Werner Kleeberg. Baeyer había descubierto en 1872 que cuando los fenoles (compuestos orgánicos aromáticos) reaccionaban con los aldehídos, el resultado era una pegajosa sustancia resinosa. Casi dos décadas más tarde se logró obtener un fenol de la naciente industria del alquitrán y del hule. Kleeberg, descubrió que la reacción de estos arrojaba como resultado una pasta maleable que eventualmente se solidificaba como roca. Sin embargo, este fenómeno pasó desapercibido para Baeyer y Kleeberg.

Cuando Baekeland se enteró de este hallazgo, reunió toda la información al respecto. Primero se le ocurrió producir un residuo pegajoso a partir de la reacción, encontrar un disolvente y después utilizar la solución como un sustituto de la laca. Baekeland, siguiendo las experiencias de sus colegas predecesores, descubrió que parte del fracaso de los resultados se debía al hecho de no prestar mayor importancia al control de presión y temperatura. Transcurrieron varios años de experimentación hasta que obtuvo resultados satisfactorios. Durante sus experimentos empleó materias primas producidas de diferentes modos, combinadas en diferentes porcentajes y en condiciones variantes de presión y temperatura. Una de las claves de su éxito definitivo fue un aparato que él llamó "baquelizador". Según explicó, "este aparato consiste principalmente de una cámara interior en la que puede bombearse el aire para obtener una presión de 30 y hasta 100 Lb/in². Esta cámara puede ser calentada desde el exterior o desde el interior por medio de paquetes de vapor o serpentines de vapor a temperaturas tan elevadas como 160 °C o mayores, de modo que el material calentado durante el proceso de baquelización pueda permanecer continuamente bajo presión adecuada, lo que evitará la porosidad o las ampollas en la masa".

Baekeland siguió trabajando durante 5 años más, pero no fue sino hasta febrero de 1907, cuando se registró lo que llegó a ser su más famosa patente; la primera de 119 plásticos relacionados y en la

que describía como hacer el material que pronto se conoció mundialmente como "baquelita". No era el primer plástico del mundo, ya que la parkesina tuvo ese reconocimiento, pero la baquelita no requería ningún material natural como la fibra de algodón, y fue por lo tanto, el primer material enteramente sintético puesto a la venta.

El nuevo material tenía todas las características aislantes que Baekeland esperaba que tuviera, pero también algo más; era el primero de los plásticos que después de ser moldeado en caliente y luego puesto a enfriar, conservaba su nueva forma, aún al volver a ser expuesto al calor.

En 1909, Baekeland leyó un informe ante la Sociedad Química Norteamericana en N.Y., en el que dió una idea de lo que habría de venir. Al sumergir madera en baquelita líquida, la madera obtenía una capa brillante del material, que era, -sostenía Baekeland- superior incluso a la más cara laca japonesa. En dicho trabajo afirmaba: "pero puedo lograr más aún. Puedo preparar una baquelita A, mucho más líquida que esta, y que tiene gran poder de penetración, y puedo empapar con ella madera barata, porosa y suave, hasta que las fibras hayan absorbido todo el líquido posible, y después trasladar la madera impregnada al baquelizador y permitir que la síntesis tenga lugar en y alrededor de las fibras de madera. El resultado es una madera muy dura, tan dura como la caoba o el ébano de la que se ha incrementado en forma considerable la resistencia a la tracción y más especialmente la resistencia de compresión, y que soporta ácidos diluidos y vapor; por lo tanto, es una prueba contra el pudrimiento de la madera debido a los hongos. Del mismo modo, logré impregnar cartón o papel barato, común y corriente y convertirlo en un material terso, duro y resistente que puede trabajarse y retorcerse y adquirir gran variedad de formas".

El nuevo plástico podía mezclarse con aserrín y pulpa de madera, tinturas o una amplia variedad de materiales que ayudarían a producir una amplia variedad de materiales especiales para trabajos especia

les.

En efecto, de pronto se descubrió un número casi ilimitado de aplicaciones útiles. Los cojinetes que no necesitaban lubricación, ___ constituyeron una de las perspectivas que quedaron abiertas. En la industria eléctrica, los usos de la baquelita pronto alcanzaron niveles que iban más allá de la substitución de la laca. La Westinghouse Electrical Manufacturing Company empezó a utilizar la baquelita para ___ impregnar con ella hojas de papel para ser usadas como material aislante, en tanto que la naciente industria automotriz solicitaba apremiantemente la baquelita para cajas de conexiones; las cabezas del distribuidor y la multiplicidad de otras piezas que tenían que ser químicamente resistentes y eléctricamente aislantes, y además, capaces de soportar tanto el calor, como el trato rudo.

C) EL PETROLEO Y LOS PLASTICOS SINTETICOS.- Conforme los materiales plásticos iban revelando su utilidad y sus ventajas sobre ___ otros materiales, la demanda de estos no pudo ser ya cubierta, con la materia prima hasta entonces utilizada, era por lo tanto imprescindible reemplazarlos, ya que alrededor de 1930, la industria en general, ___ empezaba a tomar un impulso sobresaliente bajo diversas circunstancias todas ellas muy prometedoras.

Fue entonces cuando entró en escena el petróleo crudo, una mezcla de hidrocarburos y otros compuestos orgánicos, de los que era posible separar, mediante la destilación, destilación fraccionada, o mediante otros procedimientos, un número enorme de diferentes productosquímicos. Muchos de ellos se basan en los componentes básicos de carbono y del hidrógeno; pero la mayoría son moléculas complejas en mayor o en menor grado. Fue el estudio de esta complejidad lo que ayudó mucho para hacer posibles las impresionantes familias de plásticos que empezaron a aparecer a lo largo de los años entre las Guerras Mundiales.

Uno de los primeros hechos sobresalientes consistió en verificar que las características físicas de los plásticos estaban estrecha-

mente relacionadas con el tamaño y la complejidad de las moléculas de las que estaban formados.

Con el acelerado paso de la Química Orgánica, se verificaron tres cuestiones básicas. La primera, que tal vez era posible tomar materiales químicamente simples y luego convertirlos en moléculas tan elaboradas como las producidas por la Naturaleza. La segunda, que la industria del petróleo, que se encontraba en pleno auge, tal vez producía como derivados y en cantidades comparativamente grandes, este tipo de materiales simples. La tercera, que quizás, incluso, podría ser posible hacer sustancias artificiales con características proyectadas de antemano.

Las posibilidades aumentaron con el trabajo de un grupo de especialistas: Los químicos en polímeros; entre quienes destacan Herman Staudinger, en Alemania y Wallace Hume Carothers, en Estados Unidos. Su éxito se llamó "polimerización", mediante la cual se logró la unión química de dos o más moléculas del mismo compuesto para formar moléculas más grandes. Sobre este particular, se tienen noticias de que los primeros ensayos se realizaron hacia el año 1872, cuando E. Baumann reportó lo que de hecho era la polimerización del "cloruro de vinilo", en lo que se conocería más de medio siglo después, como "Cloruro de Polivinilo (PVC)". Sin embargo, fue hasta 30 años más tarde, cuando se obtuvo la primera patente de polimerización. Una década después, en 1920, el químico belga-norteamericano Nieuwland descubrió que el acetileno, ese gas incoloro, con sus moléculas de dos átomos de carbono unidos a dos átomos de hidrógeno, se podía polimerizar para obtener una molécula gigante que poseía algunas propiedades del caucho.

Poco después, Herman Staudinger empezó a proporcionar los detalles de las macromoléculas de la polimerización que en todos los casos, parecía consistir de grandes cantidades de moléculas más pequeñas unidas en cadenas largas. En la naturaleza, las reacciones químicas de la vida vegetal producían las cadenas no ramificadas y paralelas de unida

des de glucosa que se condensaban en la estructura fibrosa de la celulosa. En los plásticos sintéticos, el calor y la presión hacían prácticamente lo mismo.

Mientras Staudinger investigaba esta base teórica de la polimerización, la Compañía Norteamericana Du Pont, dió uno de los primeros pasos en el estudio de las posibilidades industriales de lo que era poco más que una curiosidad química. Bajo la dirección de Carothers se descubrió que si se añadía un átomo de cloro a la cadena de acetileno en polimerización en el punto preciso, el resultado era un caucho sintético, con una resistencia a la tracción alta y una resistencia al calor mayores que las del producto natural; producto que más tarde se llamó "Neopreno", uno de los primeros cauchos sintéticos más importantes, y que ayudaría a salvar a los Aliados, después de perder las selvas de caucho malayas que cayeron en poder de los japoneses durante la Segunda Guerra Mundial.

Los adelantos que el hombre logró en el conocimiento teórico de la polimerización, compendiados con Staudinger, se fusionaron con la experiencia industrial práctica tipificada por Carothers, quien además, en 1930 había descubierto el "Nylon". Con ambos se produjo el suministro de hidrocarburos, suministro que se extendió velozmente y que provenía de la industria petrolera. El resultado no fue sólo la fundación de la industria actual del plástico, sino también de las industrias estrechamente relacionadas que se dedicaban a la fabricación del caucho sintético y de las fibras sintéticas.

A principios de 1930, La Imperial Chemical Industries se embarcó en un programa de investigación diseñado para estudiar las reacciones químicas bajo presiones muy elevadas. Estas presiones no iban a ser las de unos cuantos cientos de atmósferas, de las investigaciones anteriores, sino de miles de atmósferas. Dicho trabajo requería de equipo especial que podía producir algunos resultados, o ninguno.

Aunque en un principio los resultados parecían de poca importancia, en los primeros días de marzo de 1933, se llevó a cabo una tentativa de hacer reaccionar etileno con benzaldehído a 1400 atmósferas de presión y 170 grados centígrados. "No hubo indicación alguna por cambio de presión, de que hubiera ocurrido la reacción". Sin embargo, se encontró que las paredes del recipiente tenían una capa delgada de un sólido blanco y ceroso. Al analizar este material, se encontró que no contenía oxígeno, lo que confirmaba la observación de que el benzaldehído presente en el recipiente, no había tomado parte en la reacción. El sólido se reconoció como un hidrocarburo y aparentemente como un polímero de etileno. En experimentos posteriores, la presión aplicada fue mucho mayor, con lo cual se logró descomponer el etileno, pero el equipo no soportó la elevada presión y estalló, de lo que se concluyó que se necesitaría un equipo diferente y más costoso antes de poder continuar el trabajo, de modo que se suspendió la investigación, al menos por el momento. Cuando en 1935 se reiniciaron los experimentos, se consiguieron presiones más altas sin riesgo alguno. En esta ocasión, se colocó el etileno sólo en el reactor antes de que se le aplicara la presión. Más tarde, tras una serie de experimentos, se obtuvo un nuevo material cristalino, de peso molecular más alto y aparentemente de la estructura de cadena larga que Carothers ya había encontrado con anterioridad en el nylon. Más importante que esto, dicho nuevo material contaba con características que lo hacían de un uso potencial enorme en la industria: No se derretía en agua hirviente, se podía convertir en películas e hilos al calentarlo bajo una presión leve, era químicamente resistente, y poseía propiedades aislantes sobresalientes.

Pronto la producción de este polímero del etileno, en un principio conocido en Inglaterra como politeno y ahora llamado oficialmente polietileno, se puso en marcha, pero la producción, primero en onzas y después en libras, de lo que hasta entonces solo se había producido bajo condiciones de laboratorio, requería de un inmenso y costoso trabajo de desarrollo. A pesar de esto, al estallar la Segunda Guerra Mundial, el polietileno se estaba produciendo por toneladas. Uno de

sus usos más importantes habría de ser para la construcción del equipo de alta frecuencia que el radar necesitaba. Poco después de terminada la guerra, la producción anual de polietileno había alcanzado solamente en Inglaterra las 100,000 toneladas.

La guerra apresuró los adelantos de la tecnología del plástico de igual modo que había estimulado el desarrollo del radar. A partir de 1950, se ofreció a la industria una gama creciente de materiales plásticos hechos por el hombre, algunos de ellos hechos a la medida para trabajos específicos.

De los experimentos comparativamente sencillos de los científicos como Carothers y los investigadores de la ICI, se derivó una multitud de complicados procedimientos de fabricación. La mayoría de ellos comprenden una de dos clases diferentes de polimerización. La primera es la polimerización de adición, mediante la cual se obtiene el polietileno, haciendo reaccionar el etileno bajo condiciones específicas de presión y temperatura en presencia de un catalizador, cuya misión consiste en poner en marcha o acelerar la unión de las moléculas simples en moléculas de cadenas largas.

En la segunda clase de polimerización o polimerización de condensación, dos clases de moléculas simples y diferentes se hacen reaccionar, cada una de las cuales contiene dos grupos químicamente reactivos. Los extremos de las dos moléculas que van a reaccionar, se unen para formar una molécula más grande y un derivado simple, como el agua. Pero esta molécula aún contiene grupos finales reactivos y el proceso puede continuar, mientras el calentamiento continúe, con las moléculas alargándose cada vez más.

Actualmente los plásticos ya no son substitutos. Bajo sus innumerables formas, los plásticos constituyen una parte aceptada de la vida cotidiana y es difícil para alguien alerta, no percibirlos.

El costo, la ligereza, la durabilidad y el hecho de ser biológicamente inertes, confieren a los materiales plásticos un campo muy vasto de aplicación; puede decirse, que dondequiera que el hombre esté habrá objetos hechos de material plástico parcial o totalmente, tanto de uso práctico como decorativo, y aún más, como sustituto de algunas partes de órganos del cuerpo humano.

CAPITULO 2

DEFINICIONES Y CONCEPTOS

2.1. POLIMEROS

Un polímero es una molécula de peso molecular elevado, constituida de muchas unidades estructurales menores e idénticas entre ellas, llamadas "monómeros".

Los polímeros se forman a partir de un proceso llamado "polimerización" de la unidad básica o monómero.

2.2. CLASIFICACION DE LOS POLIMEROS

Partiendo de la estructura, podemos subdividir a los polímeros en dos grupos principales: Lineales (Termoplásticos) y no Lineales (Termofijos), cada uno de éstos dos grupos puede a su vez subdividirse como se muestra en la Fig. 2.1.

Gran parte de los polímeros de adición son del tipo lineal. El término lineal, es realmente inadecuado porque las cadenas moleculares distan de ser rectas. El ángulo de enlace entre los átomos de carbono adyacentes es de 109,5 grados, y así, la cadena de moléculas se transforma en fibras de forma irregular. La utilización de la palabra lineal para describir un polímero molecular es debido a que no existen ramificaciones en el mismo. Si se forma una cadena de ramificaciones, el polímero será no lineal. Las cadenas con ramificaciones pueden formarse en algunos polímeros por la presencia de un catalizador. Las ramificaciones en las cadenas son las causantes de un incremento de la resistencia mecánica y la rigidez del material, porque hay posibilidad de formar una red molecular. Si las moléculas del polímero presentan enlaces cruzados, se incrementará más aún la dureza y rigidez, Fig. 2.2.

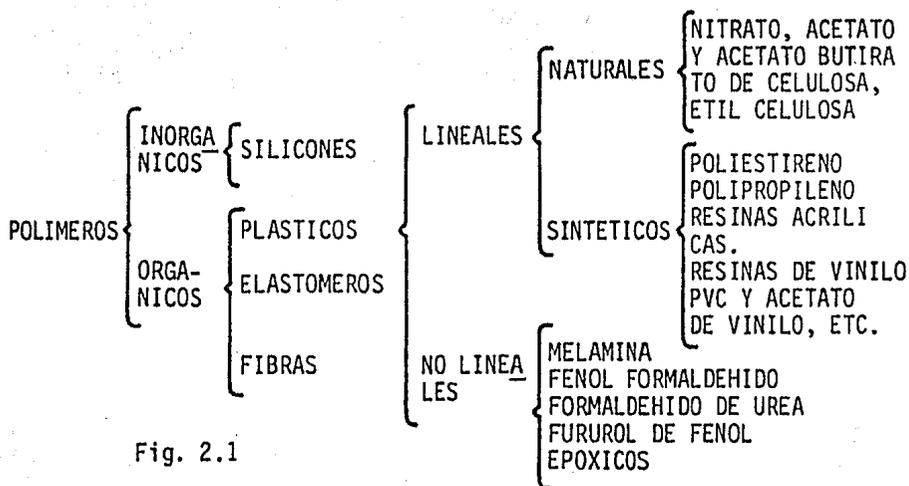
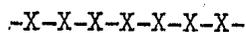


Fig. 2.1

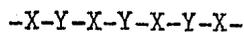
Los materiales Termoestables son muy duros y rígidos, debido a que poseen estructuras moleculares en forma de red ordenada y tridimensional, por lo cual, puede concluirse que la estructura molecular de un polímero ejercerá un papel determinante en las propiedades mecánicas. En base a la teoría antes expuesta, el polietileno, comparado con el poliestireno y el polipropileno, resulta un material blando y flexible. En cambio el poliestireno, debido a la presencia de los grupos fenilo ($-C_6H_5$) unidos a la cadena del carbono, lo constituyen en un material duro y rígido, Fig. 2.3.

2.3. MECANISMOS DE POLIMERIZACION

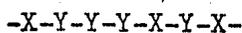
La polimerización es el proceso mediante y durante el cual ocurre una reacción química en presencia de sustancias catalizadoras (iniciadoras) adecuadas, para que las unidades provenientes de otras moléculas de tipo orgánico (durante la reacción se rompen los enlaces dejando libres a las unidades), mediante presión y temperatura controladas; así, cuando las condiciones de presión y temperatura elevadas llegan a un punto preciso, las unidades libres se unen formando cadenas que pueden tener estructura lineal; en tal caso se dice que ha ocurrido un proceso de "polimerización por adición", o bien, de estructura ramificada o entrelazada, en cuyo caso, el polímero se obtuvo me --



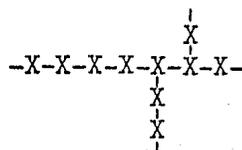
a)



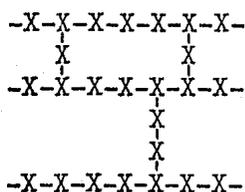
b)



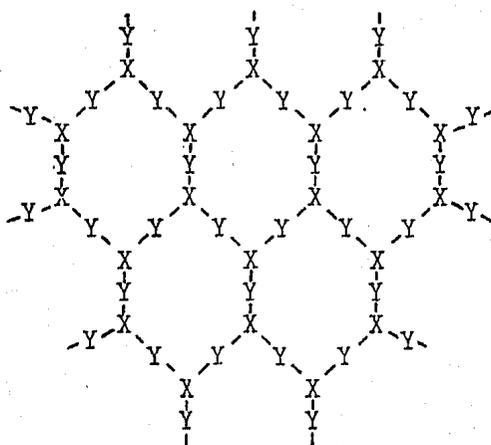
c)



d)



e)



f)

FIG. 2.2. TIPOS DE ESTRUCTURAS DE POLIMEROS
 a) Lineales, b) Copolímeros lineales de ordenación aleatoria, c) Copolímeros lineales ordenados, d) Ramificada, e) Enlaces cruzados. X e Y son monómeros. f) Red ordenada, no lineal.

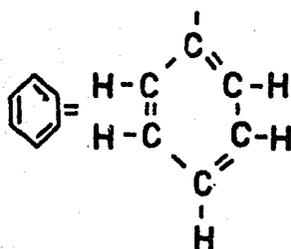
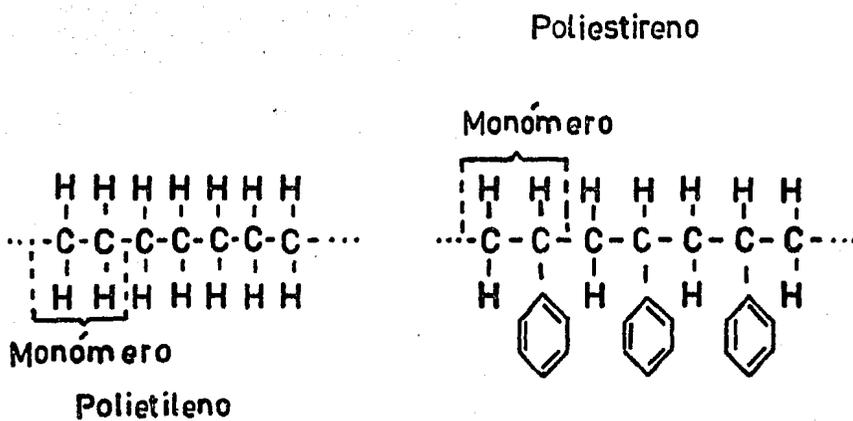
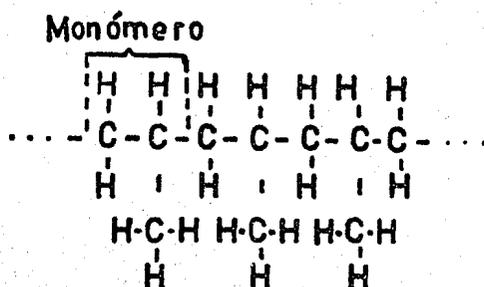


Fig. 2.3

Polipropileno

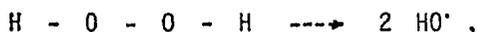


diante el proceso llamado "polimerización por condensación".

2.3.1. POLIMERIZACION POR ADICION

Como lo indica su nombre, numerosas moléculas se unen unas a otras, para formar moléculas del tipo de cadena larga. Haciendo una analogía sencilla, el crecimiento del polímero se puede comparar al acoplamiento de los vagones de un ferrocarril. Sin embargo, el proceso es muy complejo. La reacción consta de tres etapas bien definidas: Iniciación, Propagación y Terminación.

Un iniciador es comúnmente un radical libre tal como una molécula de "peróxido de hidrógeno (H_2O_2)" descompuesta, donde el punto activo es:

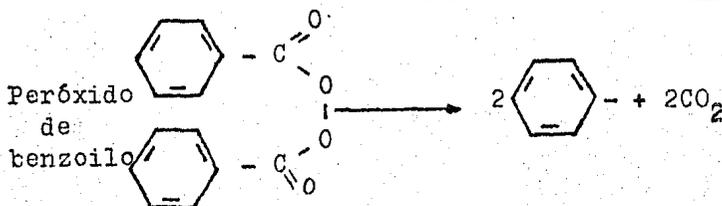


en un orbital no saturado del par HO, por ello reaccionará rápidamente cuando se encuentra a otra molécula, por ejemplo, una molécula de vinilo.

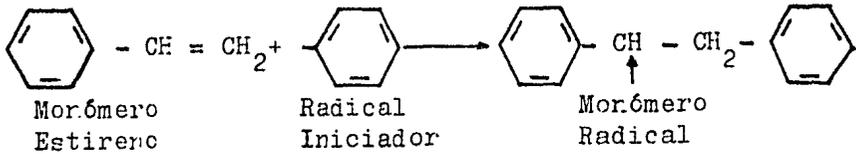
La polimerización por adición sigue caminos distintos en cada caso. Uno de los más interesantes es el de "adición por vía radical", que se analiza a continuación con un ejemplo.

Polimerización por vía radical del estireno.- Este proceso consta de tres etapas claramente diferenciadas: Iniciación, Propagación y Terminación.

a). Iniciación. Es la reacción entre el monómero y un radical libre procedente de la descomposición de un iniciador. Para el estireno es adecuado el "peróxido de benzoilo" como iniciador, pues es un compuesto muy inestable.

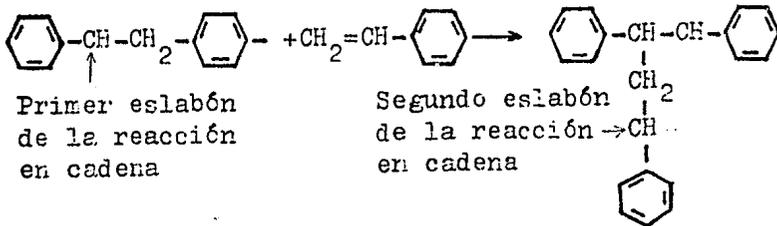


La iniciación del estireno se formula así:

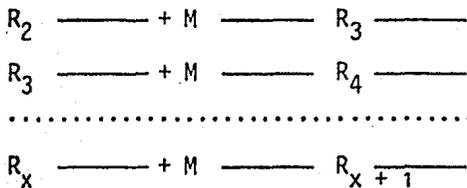


aquí se observa la formulación de un radical más complejo que el fenilo, el cual puede actuar sobre moléculas del estireno para crecer y originar la Propagación.

b). Propagación. En ésta etapa se van añadiendo monómeros al monómero radical inicial, creciendo la longitud de la cadena.



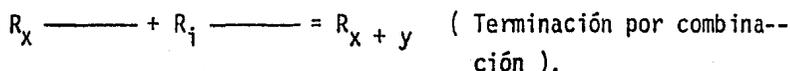
Simplificando la notación, se escribe que el radical de dos eslabones y una molécula de monómero forman el radical de tres eslabones; el de tres forma al actuar sobre otro monómero el radical de cuatro, etc.



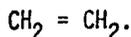
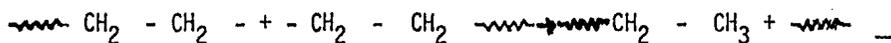
El mecanismo es una típica reacción en cadena que continúa

mientras haya monómeros, o introduzcamos un nuevo elemento que haga terminar la reacción. Es interesante advertir que las longitudes de las cadenas formadas, y por lo tanto, las masas moleculares de los polímeros, están muy ligadas con la cantidad de iniciador implicada; si son pocas las moléculas de iniciador, son escasos los monómeros que se inician en la reacción y se pueden formar cadenas muy largas. En el caso de que el iniciador presente sea abundante, son muchos los centros activos y a cada uno le corresponde menor cantidad de monómeros, resultando cadenas cortas.

c). Terminación. Hay dos formas principales de eliminar la actividad de los radicales y detener la reacción y son: "combinación y desproporcionamiento". En la combinación, se unen dos eslabones de procesos distintos anulando su actividad. Dan la molécula suma:



En el desproporcionamiento, uno de los radicales comunica su actividad a otro que se estabiliza formando un doble enlace:



Además de éstas terminaciones se pueden usar inhibidores u otras sustancias a las que transferir la actividad. Los extremos de las cadenas suelen ser ligeramente distintos al resto, pero como está muy larga, el efecto de desigualdad es mínimo.

Otros ejemplos, aparte del estireno, de polímeros obtenidos por el proceso de polimerización de adición son: Cloruro de vinilo (C₂H₃CL), el Acetato de vinilo (C₂H₃OOC-CH₃), el polipropileno, etc.

2.3.2. POLIMERIZACION POR CONDENSACION

Este tipo de polimerización se puede definir como las reacciones entre moléculas funcionales que conducen a la formación de un polímero, con la eliminación de moléculas de subproducto en cada punto de la reacción.

Cuando las cadenas moleculares están unidas por enlaces cruzados covalentes o de puente de hidrógeno, la deformación plástica no se facilita al aumentar la temperatura. A éste tipo de polímeros se les denomina Termofijos. En realidad, éstos polímeros están constituidos por enrejados tridimensionales de enlaces covalentes y no por cadena molecular con enlaces cruzados.

Durante la reacción acontece una modificación química. Se unen moléculas de la misma y distinta naturaleza para formar macromoléculas, pero el proceso químico no consiste sencillamente en un desdoblamiento de dobles enlaces C:C, sino en una unión química de varios grupos capaces de reaccionar, con separación de productos secundarios, tales como el agua, amoníaco, ácido clorhídrico, etc. Otra diferencia con respecto a la polimerización por adición, consiste en que la polimerización por condensación transcurre paso a paso, y el curso de la misma, puede detenerse en cualquier momento, formándose en un principio moléculas filiformes que en la etapa siguiente se alargan, ramifican o entrelazan.

Un polímero obtenido por condensación, es la famosa baquelita que se forma a partir del formaldehído (CH_2O) y el fenol ($\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$). Los acomodamientos atómicos en tales moléculas se muestran en la Fig. 2.5A.

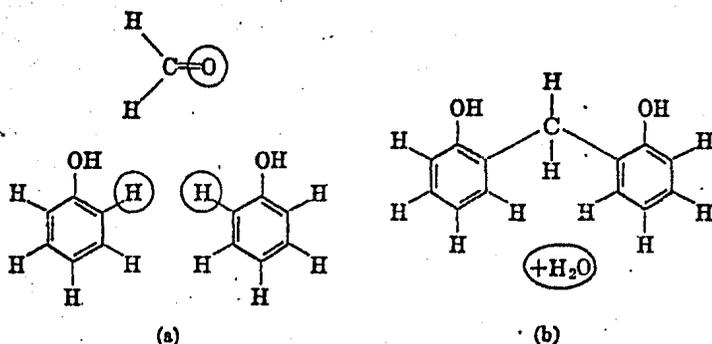


Fig. 2-5. Polimerización por condensación. En contraste con la polimerización por adición, la de condensación tiene un pequeño subproducto molecular. Fenol = C₆H₅OH. Formaldehído = CH₂O

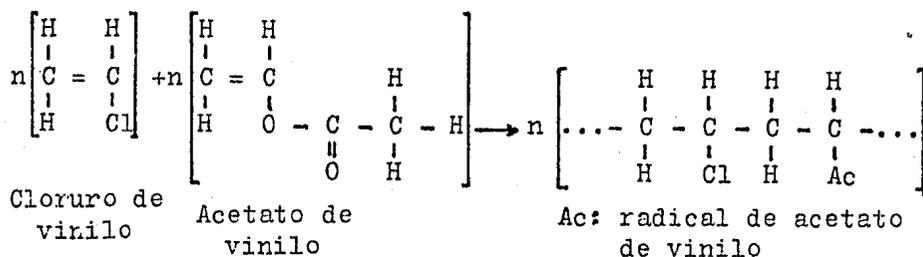
A temperatura ambiente, el formaldehído es un gas; el fenol es un sólido de bajo punto de fusión. La polimerización que resulta de la interacción de éstos dos compuestos se muestra en la Fig. 2.5b. El formaldehído ha proporcionado una unidad CH₂ que sirve como puente entre el anillo de benceno y dos fenoles. Estirando dos hidrógenos de los anillos de benceno y un O del formaldehído (para permitir la conexión), se forma agua que puede volatilizarse y abandonar el sistema. La reacción que aparece en la Fig. 2.5, puede ocurrir en varios puntos alrededor de la molécula de fenol. Como resultado de ésta polifuncionalidad se forma una red molecular más que una simple cadena.

2.4. COPOLIMEROS Y HOMOPOLIMEROS

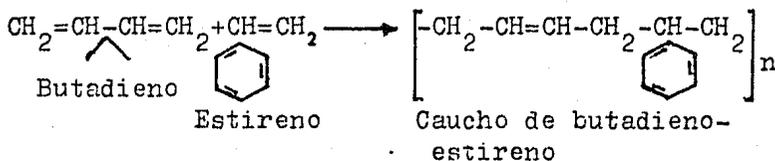
Un homopolímero es un polímero en el que sólo se encuentra un tipo de unidad de repetición. Los copolímeros se producen mediante la reacción de dos tipos de unidades de repetición, lo cual en realidad es el resultado de combinar dos o más homopolímeros. Los copolímeros tienden a tener una estructura menos ordenada que los homopolímeros; por lo tanto, los primeros son casi siempre menos cristalinos y más tenaces y flexibles que los últimos. Una explicación más sencilla se ba

sa en considerar a la copolimerización, como un caso especial de polimerización por adición, en la que la polimerización simultánea de dos o más monómeros diferentes químicamente, reaccionan para formar un polímero que contiene los dos monómeros unidos por una cadena.

En las ilustraciones siguientes aparecen dos ejemplos de copolímeros bien conocidos. La Fig. 2.6a, representa la estructura molecular del copolímero de "cloruro y acetato de vinil". La Fig. 2.6b, representa al copolímero de "butadieno y estireno".



a)



b)

Fig. 2.6.

2.5. PESO MOLECULAR

El peso molecular de un polímero se puede definir como: el número molecular de la molécula base multiplicado por las unidades de repetición. Para ilustrar mejor ésto, veamos el siguiente ejemplo:

Si un polímero de etileno contiene 1000 moléculas de etileno por molécula, el peso molecular del polímero es:

$$\text{Peso molecular del etileno (} \text{C}_2\text{H}_4 \text{)} = 28$$

Peso molecular del polímero = 28X1000
 = 28 000.

Desde luego, este ejemplo supone que todas las moléculas tienen el mismo peso. La realidad es muy distinta. Lo que se ha hecho es tomar el peso promedio de todas las moléculas presentes en polímero.

2.6. CRISTALINIDAD

Las moléculas poliméricas de una composición plástica dada, tienen pesos moleculares que varían, dependiendo del número de unidades de repetición. Las moléculas largas son flexibles, y por lo tanto, no existen como conjuntos de varillas rectas y ordenadas rígidamente y de longitud uniforme, sino que, más bien, consisten en una masa entremezclada. Puesto que la cristalinidad significa regularidad de disposición atómica o molecular, podría llegarse a la conclusión a primera vista, de que los polímeros son sustancias amorfas; en realidad, lo son en gran parte. Sin embargo, en diversos lugares de la masa entremezclada hay cadenas adyacentes que tienden a alinearse creando zonas de estructura regular. Esas regiones son cristalinas. Los efectos de la cristalinidad son muy importantes. El incremento de la magnitud de la cristalinidad tiende a hacer que se eleve la resistencia y la temperatura a la cual se ablanda el polímero; de igual manera, tiende a incrementar las características de fragilidad y la transparencia, y a reducir la tenacidad de los polímeros.

El incremento del grado de cristalinidad, tiende asimismo, a hacer que sea más estrecha la gama de temperaturas de ablandamiento, y además, aumenta la dilatación sólido-líquido.

Los polímeros no sufren cambios dimensionales importantes cuando pasan de sólidos desordenados a líquidos desordenados, pero no ocurre lo mismo en polímeros cristalinos.

2.7. PLASTICOS

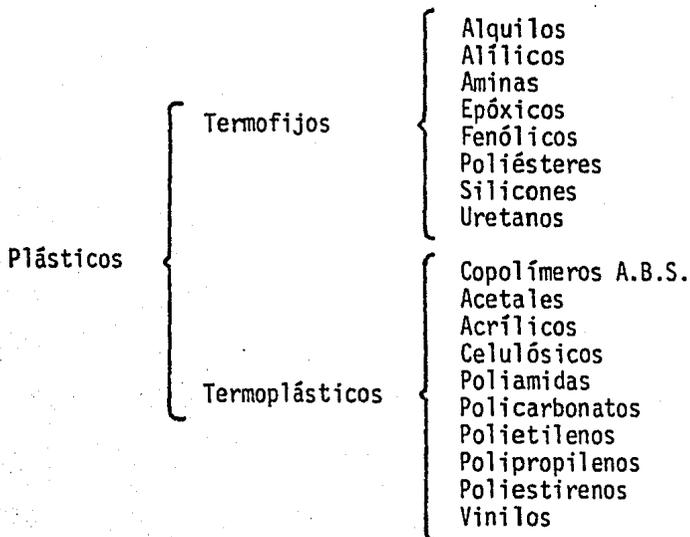
2.7.1. DEFINICION

Los plásticos son sustancias de origen natural o sintético, que se caracterizan por su alto peso molecular, son moldeables bajo la acción de temperatura y presión, o una combinación de ambas. Durante alguna etapa de su obtención son líquidos y sólidos en su estado final.

Todos los plásticos son sustancias poliméricas, pero no todos los polímeros son sustancias plásticas.

2.7.2 CLASIFICACION DE LOS PLASTICOS

De acuerdo a su estructura molecular, los plásticos se dividen en dos grandes ramas, según se puede apreciar en el siguiente cuadro sinóptico.

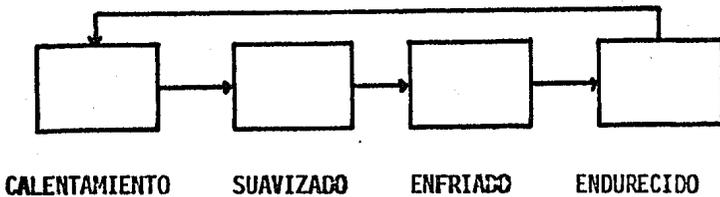


2.8. TERMOPLASTICOS

Los Termoplásticos son polímeros de estructura lineal. El calentamiento ablanda a los sólidos Termoplásticos, de tal modo que pueden moldearse para darles la forma deseada mediante la aplicación de

calor y presión. Al enfriarse, los materiales Termoplásticos vuelven a endurecerse.

El ciclo de ablandamiento por calentamiento y endurecimiento por enfriamiento puede repetirse indefinidamente. Esta característica se debe a que los enlaces entre las moléculas, son enlaces secundarios, los cuales son más débiles que los primarios. Cuando un material Termoplástico se expone al calor, los enlaces secundarios físicos se rompen de manera temporal y reversible, lo cual da como resultado el ablandamiento del material. Cuando el material se enfría se restablecen los enlaces secundarios y el material se torna duro y rígido. El ciclo de ablandamiento por calor y endurecimiento por enfriamiento se puede representar mediante el siguiente esquema.



Los enlaces secundarios permiten que los materiales Termoplásticos se deformen, si se someten a un esfuerzo suficiente, del mismo modo que fluyen los metales cuando se ejercen sobre ellos esfuerzos superiores a su Límite Elástico. Los Termoplásticos pueden ceder y deformarse, permitiendo una redistribución de la carga en puntos de concentración de esfuerzos. En resumen, sus características se deben a la estructura lineal que posee la molécula. Comparativamente, la gama de materiales Termoplásticos, es más amplia que la de los Termofijos.

2.9. TERMOFIJOS

En algunos tipos de plásticos, la polimerización produce entre lazamientos entre las moléculas de cadena larga. El ejemplo clásico

es la reacción (polimerización por condensación) que se produce entre el fenol y el formaldehído, para producir el material plástico conocido como baquelita.

El entrelazamiento produce resinas Termofijadas, al fijarse el plástico permanentemente mediante la acción del calor. Cuando se produce una reacción de este tipo, las sustancias reactivas se ablandan en el curso del calentamiento inicial. El aumento posterior de calor produce entrelazamientos o eslabonamientos cruzados, cuando tiene lugar éste fenómeno, el material plástico se endurece permanentemente y no vuelve a ablandarse durante calentamientos subsiguientes.

Los polímeros polifuncionales pueden producir estructuras del tipo red.

Los materiales plásticos Termoestables contrastan con los Termoplásticos en su estructura molecular; para los Termofijos, la estructura es tridimensional, lo cual hace que el deslizamiento no ocurra tan fácilmente, y en consecuencia, el material es rígido, duro y frágil.

Los enlaces químicos, tanto lineales como con entrelazamientos, se conocen como enlaces primarios. Estos enlaces son más fuertes que los secundarios y una vez que se rompen no se restablecen, por lo tanto, las temperaturas suficientemente elevadas para romper los enlaces primarios, provocan una desintegración irreversible del material plástico.

2.10. AGENTES QUE MODIFICAN LAS PROPIEDADES DE LOS PLASTICOS

La mayor parte de los artículos hechos a base de material plástico, contienen sustancias adicionadas a los polímeros, con el propósito bien claro de alterar sus propiedades físicas, según convenga al

uso destinado.

A continuación se mencionan brevemente algunos de los agentes más importantes, tanto para Termoplásticos, como para Termofijos.

2.10.1. CARGAS DE REFUERZO

La adición de refuerzos a los polímeros, tanto Termoplásticos como Termofijos, se hace con el fin de mejorar sus propiedades mecánicas.

Las cargas de refuerzo son materiales sólidos que se añaden a fin de mejorar las propiedades del polímero base. Entre las más importantes se encuentran: la rigidez, la resistencia, la resistencia a la deformación bajo carga y la resistencia a fallas por fatiga. También se mejoran la temperatura de ablandamiento y la estabilidad dimensional.

Las principales cargas de refuerzo están hechas a base de fibra de vidrio, ya sea en forma de hebras o de esferas. Las fibras de amianto (asbesto) que es un grupo de silicatos fibroso naturales, de origen mineral, se procesan en tres texturas: áspera, semiáspera y suave. Se aplica principalmente al Polipropileno y en menor grado al Polietileno de alta densidad, Poliéstireno y Nylon. El polvo de amianto (fragmentos de fibra), constituyen un peligro para la salud inhalados en cantidades excesivas durante períodos largos de tiempo.

Otros materiales utilizados con menor frecuencia como cargas de refuerzo son: los whiskers de titanato de potasio y las fibras de carbono. Ambos se procesan en forma de telas o de filamentos continuos. Se caracterizan por brindar muy alta resistencia y rigidez direccionales, con un peso reducido del compuesto en aplicaciones especiales.

2.10.2. PLASTIFICANTES, COLORANTES Y PIGMENTOS

Para la formación de productos terminados, se puede procesar

el plástico mismo como en los casos del Poliestireno, el Polimetil-metacrilato y la película transparente de Polietileno. Con mayor frecuencia, sin embargo, los plásticos son modificados en un paso inicial de su procesado por la adición de plastificantes, colorantes y pigmentos. Estos les dan las características deseadas en cuanto a color y aspecto.

Los plastificantes se agregan usualmente para mejorar la capacidad de suavizado durante el proceso de conformado, para aumentar la plasticidad y flexibilidad, y para proteger el producto terminado contra de la humedad y la degradación química.

Muchas veces los pigmentos sirven también como cargas de relleno.

2.10.3. ESTABILIZADORES

La indeseable ruptura o degradación de los plásticos que se produce cuando se les expone a la luz y al calor, puede compensarse a menudo añadiendo estabilizadores al polímero. La ruptura se debe a que se forman moléculas extrañas y entran en la estructura del polímero para separar los eslabones moleculares y uniones cohesivas. Los estabilizadores agregados al polímero reducen la acción destructora de estas moléculas extrañas. Como ejemplos de estabilizadores tenemos, para el PVC la sal de plomo, silicato de plomo y el estearato de plomo.

2.10.4. CARGAS DE RELLENO

Algunos polímeros tienen por sí solos una utilidad limitada, pero esta puede incrementarse considerablemente si se le agregan cargas de relleno. Las cargas de relleno no sólo aumentan el volumen del plástico, sino que le proporcionan muchas superficies activas a las que pueden unirse químicamente las moléculas que componen el polímero. Añadiendo un relleno a un polímero, se forma un nuevo material combinado que puede tener mayor resistencia a la fricción, al choque y mayor estabilidad dimensional, que el polímero por sí sólo.

Para la incorporación de estos ingredientes se usan molinos de rodillos o de otro tipo, en los cuales se mezcla y homogeniza el producto. El aserrín de madera, es el ejemplo más conocido.

2.11. PROPIEDADES GENERALES DE LOS PLASTICOS

Desde el punto de vista químico, son generalmente más resistentes a los medios ambientes que atacan a los metales, al concreto y a la madera a temperaturas ambientes. En general, resisten ataques de agua dulce y salada, y soportan bien los ataques atmosféricos si se protegen de los rayos ultravioleta. Resisten bastante el ataque de los ácidos inorgánicos, sales y bases; aunque generalmente deben evitarse las sustancias muy oxidantes.

Los materiales Termofijos resisten mejor los solventes orgánicos que los Termoplásticos. Con excepción del nitrato de celulosa que es muy inflamable, la mayoría de los plásticos son incombustibles y se apagan solos, o en el peor de los casos, arden con mucha lentitud.

En cuanto a la densidad, ésta en general, oscila entre 0,90 y 2,30, es decir, son muy ligeros.

Todos los polímeros orgánicos son dieléctricos. Su conductividad es baja, por lo que son buenos aislantes térmicos.

Algunos polímeros como el nylon y los acrílicos, tienen un grado de transparencia tal, que pueden sustituir con muchas ventajas a los vidrios; como en el caso de ventanillas para aviones, para lentes, artículos de iluminación, etc.

Por ser biológicamente inertes, algunas variedades tanto de Termoplásticos, como de Termofijos, se han empleado con éxito en medicina, ya sea para sustituir en parte órganos del cuerpo humano u órganos completos. Casi todos los plásticos absorben cantidades variables de agua.

Los Termoplásticos son flexibles.

Los Termofijos son rígidos.

CAPITULO 3.

IDENTIFICACION

DE PLASTICOS.

3.1. Introducción.

Es muy importante que quienes están en contacto con los materiales plásticos puedan identificar, en un momento dado; un tipo específico de plástico para evitar que se deteriore, ya sea por estar sometido a temperaturas de procesamiento o de almacenaje inapropiadas; o bien, en el caso de mayor interés, es decir, la aplicación apropiada, es de vital importancia, no tener ninguna duda acerca de que tipo de material es el que se requiere antes y después de ser procesado. Es una tarea, al parecer muy complicada que requiere por un lado, amplios conocimientos teóricos de los materiales plásticos y por el otro, tiempo para familiarizarse con ellos. En efecto, es una tarea difícil si se toma en cuenta que, es muy amplia la gama en que la tecnología moderna ha logrado fabricarlos. Existen familias de ellos, como es el caso del Poliestireno, Polietileno y Cloruro de Polivinilo, entre otros; que poseen propiedades muy similares, si se trata de miembros de la misma familia y aún cuando se trate de familias distintas; en tales casos, la tarea de identificación se complica. Por lo tanto, no hay un método único y además infalible utilizable para reconocer cualquier tipo de plástico, ya se trate de Termoplásticos o de Termofijos.

Abordando el tema desde otro punto de vista, diremos que existen diversas formas o métodos para identificar un tipo de plástico en particular. Estos métodos difieren entre ellos, según se trate de materiales Termoplásticos o Termofijos.

Básicamente, cualquiera que sea el método utilizado aprovecha-

rá. tanto las propiedades químicas como físicas y mecánicas del material.

3.2. Métodos.

3.2.1. Identificación con empleo de reactivos. Este método está basado en la estabilidad e inestabilidad del material ante determinados reactivos químicos. Su aplicación es muy amplia, pues se aplica tanto a materiales Termoplásticos, como a los Termofijos. Sin embargo, es poco práctico por el equipo de laboratorio que su ejecución requiere y, porque se da el caso en que un mismo reactivo, afecta de igual modo a distintos materiales plásticos, y además, por los conocimientos que sobre reactivos deben tenerse.

Los reactivos utilizados para llevar a cabo este tipo de pruebas, están divididos en dos principales categorías: Acidos y Alcalis.

Como ejemplos de reactivos químicos tenemos los siguientes:

Benzol,
Alcohol,
Bencina,
Cetona, éter, etc.

3.2.2. El segundo método, bien puede llamarsele "método empírico". Este método consiste en diferenciar los materiales plásticos por el color, aspecto físico, olor y forma del suministro.

Debe quedar bien claro que es más importante para el fabricante de artículos de plástico, identificar el tipo de plástico que su necesidad requiere antes de procesarlo. Una vez conformado, la importancia disminuye, más no se desvanece, ya que frecuentemente las piezas en servicio llegan a desgastarse o romperse, se hace entonces necesaria su sustitución por otras idénticas en todo y sobre todo en cuanto al material; es entonces cuando se hace necesario determinar con precisión el tipo de material plástico de la, o las piezas que se han de reponer. En este caso, la experiencia es fundamental.

Este método involucra dos aspectos básicos: Tiempo y experiencia en trato directo con los materiales plásticos. El inconveniente para utilizar este método es obvio; además, debido al acelerado ritmo con que avanza la Industria Petroquímica en la rama de los Polímeros Sintéticos, resulta imposible que un individuo maneje con soltura todos los tipos de materiales plásticos que día a día ingresan al mercado.

3.2.3. Finalmente como tercer método, diremos que este se basa en la combustión de los materiales plásticos. Cabe destacar que con este método se diferencian los Termoplásticos de los Termofijos, ya que los primeros en su mayoría son combustibles, mientras que los segundos no lo son.

Ahora bien, este método es adecuado para identificar materiales Termoplásticos, pues sólo ellos arden en condiciones ambientales ordinarias.

Ya sabemos que los Termoplásticos son combustibles y es por lo tanto, la llama que se genera ante el fuego, dentro y fuera de él, característica, al menos en plásticos de familias distintas. La llama es por lo tanto, la base de este método.

El color de la llama, el humo producido o la ausencia de él, el olor y el goteo, si es que lo hay; son consecuencias de la combustión y valiosos auxiliares en nuestra tarea de identificación.

A continuación incluimos una lista de algunos de materiales Termoplásticos, utilizados con mayor frecuencia tanto para procesarse mediante Extrusión como por Inyección, anotando su comportamiento en presencia de la llama.

Acetato de
Celulosa

Sigue ardiendo fuera del fuego con llama verde amarillenta, chisporrotea y gotea. Despiende un olor semejante a ácido acético y a papel quemado.

Acetobutirato de Celulosa	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama de color amarillo y produce goteo. Despide un olor a ácido butírico y a papel quemado.
Etilcelulosa	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama amarilla y despide olor a papel quemado.
Poliestireno (Normal)	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama amarillenta y abundante humo.
Poliestireno (Anticalórico)	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama luminosa, produce abundante humo y despide un olor muy similar al de la goma.
Poliestireno (Antichoque)	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama luminosa y abundante humo. Olor parecido al de la goma.
Masas S.A.N.	Sigue ardiendo fuera del fuego y produce mucho humo. Despide un olor similar al del caucho.
Masas A.B.S.	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama luminosa y abundante humo. Olor similar al de la goma.
Polimetilmetacrilato	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama luminosa, produce chisporroteo y olor típico a frutas.
Policarbonato	Arde sólo en presencia del fuego con llama luminosa acompañada de humo y olor parecido al fenol.
Cloruro de Polivinilo (Rígido)	Arde sólo en presencia del fuego con llama verde en los bordes y chispeante y despide un olor parecido al ácido clorhídrico.

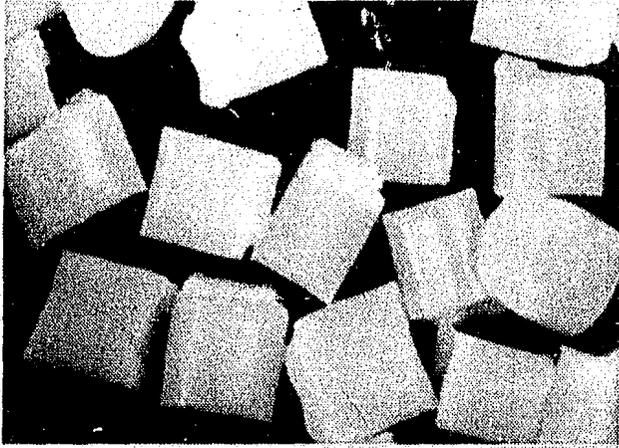
Cloruro de Polivinilo (Posclorado)	Arde en presencia del fuego con llama calorífica, luminosa y chispeante. Olor irritante a ácido clorhídrico.
Cloruro de Polivinilo (Flexible)	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama luminosa y olor a ácido clorhídrico irritante.
Poliamida	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama azul de bordes amarillos, gotea con burbujas y forma hilos como el lacre. Olor similar al cuerno quemado.
Poliuretano	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama azul de bordes amarillos, gotea con burbujas y forma hilos como el lacre. Despide un olor desagradablemente irritante.
Polietileno	Sigue ardiendo fuera del fuego con llama de núcleo azul, gotea y despide un olor semejante a la parafina.
Politrifluor Cloroetileno	No arde, no se carboniza. En incandescencia despide un olor a ácido clorhídrico.

NOTA:

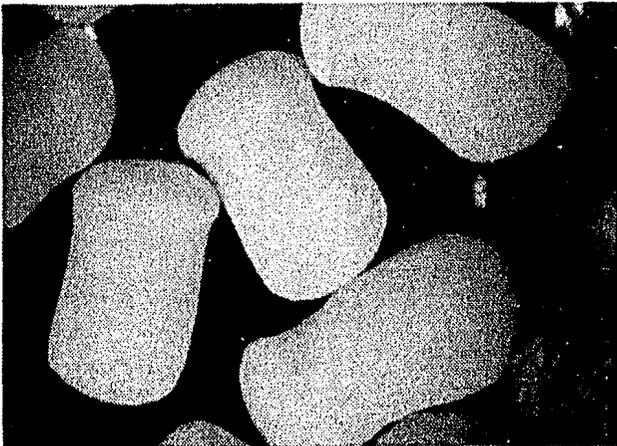
Ninguno de los métodos antes mencionados es de uso general. Sin embargo, los tres, según sea el caso y las circunstancias, son útiles y no deben relegarse por completo. El tercer método es muy práctico por la relativa sencillez de su ejecución y porque los resultados pueden apreciarse a simple vista.

Los resultados, sea cual fuere el método empleado para la identificación, pueden ser hasta cierto punto falsos, pues la presencia de los agentes que modifican las propiedades de los materiales plásticos, de alguna manera influyen en el resultado final.

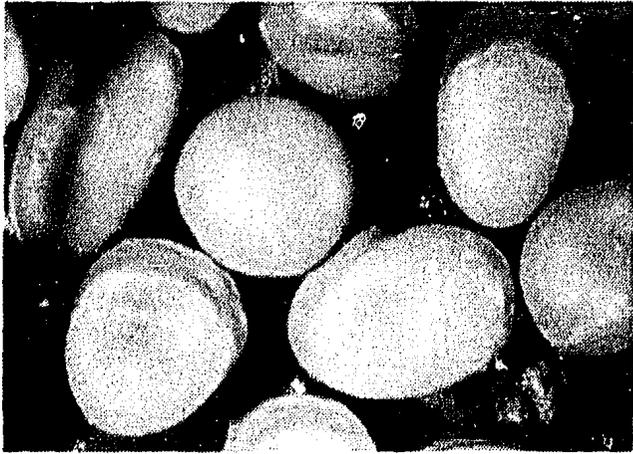
A continuación se incluyen unas fotografías en las que se aprecia la forma comercial de algunos materiales termoplásticos.



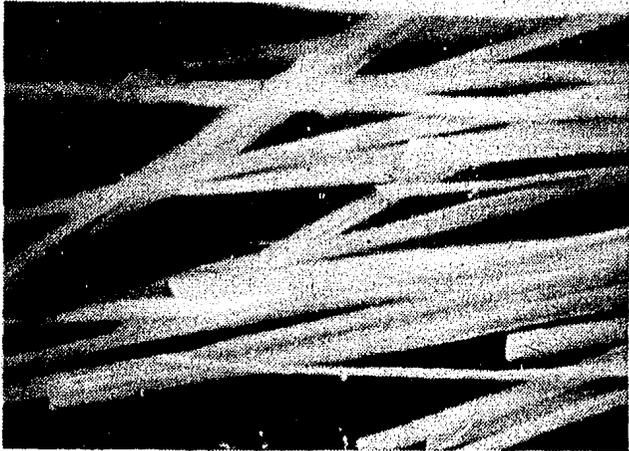
A) Poliestireno de alto impacto



B) Polietileno alta densidad



A) Poliestireno Noryl



C) Fibra de vidrio Roving

CAPITULO 4

PRINCIPALES PROPIEDADES MECANICAS

Y ENSAYOS

4.1. Introducción.

El comportamiento de los materiales plásticos cuando son sometidos a cargas, ya sea de tracción, compresión, torsión; o una combinación de ellas, varía considerablemente de un material a otro. La estructura molecular del polímero ejerce un efecto fundamental sobre las propiedades mecánicas del material.

Cuando un tipo particular de Termoplástico está sometido a una carga de tracción a una temperatura por debajo de su temperatura de transición al estado vítreo, se comporta como un sólido frágil siguiendo la Ley de Hooke y fracturándose sin que ocurra deformación plástica. A temperaturas más próximas a T_g (temperatura de transición); puede tener lugar una pequeña deformación plástica precediendo a la rotura. A una temperatura ligeramente superior, la forma de la curva esfuerzo-deformación varía y tiene lugar el fenómeno de alargamiento en frío, Fig. 4.1 a. A una temperatura correspondiente al punto Y de la curva, la probeta se estrecha considerablemente y aquí tiene lugar la deformación a esfuerzo constante, manteniéndose igualmente constante la sección transversal. El material estirado es más resistente que el no estirado. Durante el alargamiento el material amorfo se orienta de acuerdo con la cadena molecular, tendiendo a alinearse en la dirección de alargamiento. El fenómeno de alargamiento en frío puede también tener lugar en polímeros parcialmente cristalinos, y en éstos puede ocurrir a temperaturas superiores e inferiores a T_g . Como puede observarse, las propiedades de los polímeros lineales son muy sensibles a la temperatura, Fig. 4.1. b. También varía mucho el margen de deformación,

Fig. 4.2.

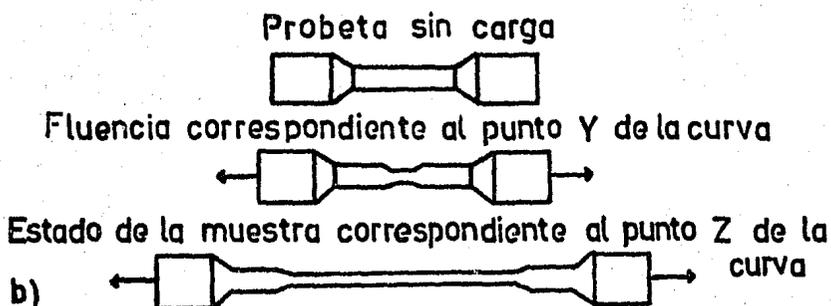
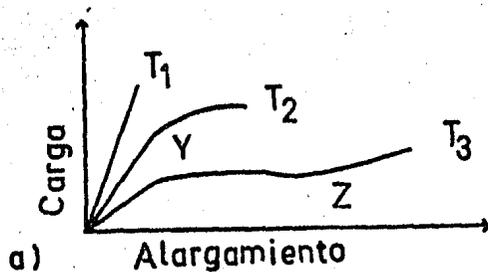


Fig. 4.1. Alargamiento de Termoplásticos.

a). Curva típica carga-alargamiento para un Termoplástico con T_1 , T_2 y T_3 .

b). Forma de alargamiento en frío por acción de una carga de tracción a T_3 .

En el caso de polímeros de estructura molecular en red o Termofijos, dicha estructura hace que el material sea más rígido, pero muy frágil; pues se deforma bajo la acción de una carga de tracción según la Ley de Hooke, para finalmente romperse sin deformación plástica, Fig. 4.3.

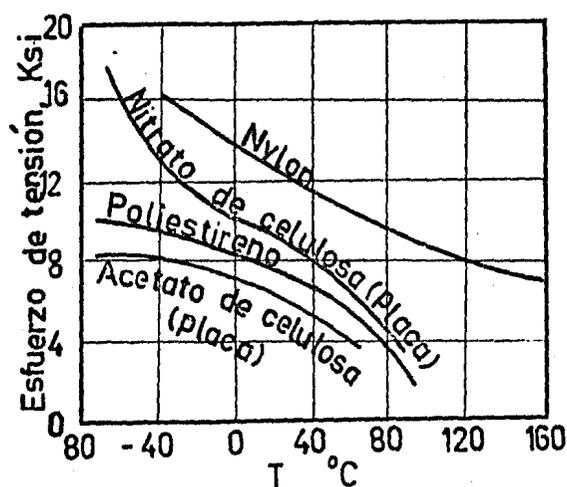


Fig. 4.2. Efecto de la temperatura sobre los esfuerzos de tensión de Termoplásticos.

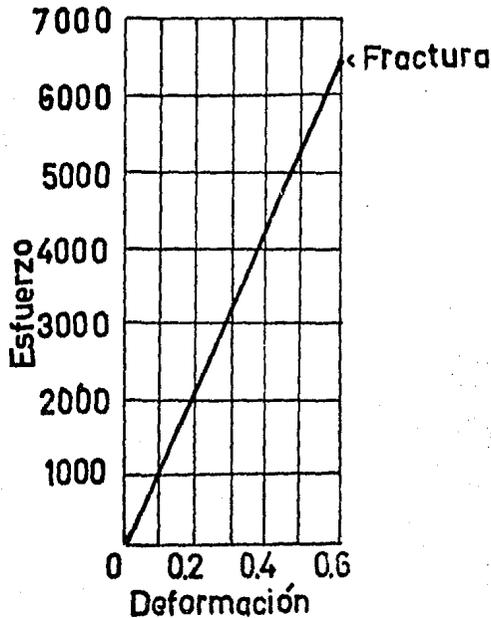


Fig. 4.3. Curva esfuerzo-deformación de la baquelita con aserrín como carga de relleno.

4.2. PROPIEDADES MECANICAS

Los plásticos son materiales que debido a su amplia gama de usos, es de suma importancia conocer, tanto teórica como experimentalmente su comportamiento bajo carga en condiciones variadas. En otras palabras, tanto para Termoplásticos como para Termofijos, nos interesa conocer sus propiedades mecánicas principales, las cuales se mencionan enseguida:

Resistencia a la tracción,
 Resistencia a la compresión,
 Resistencia al impacto,
 Resistencia al desgaste y
 Dureza.

Otras propiedades muy importantes de los materiales plásticos son:

Temperatura de flexión, Resistencia a la intemperie, Efectos permanentes del calor, Absorción de agua, Resistencia al paso de la corriente eléctrica, Inflamabilidad, etc.

Las propiedades mecánicas de los materiales plásticos se ven afectadas marcadamente, por los materiales presentes en ellos, tales como: cargas de refuerzo o de relleno, plastificantes, estabilizadores, colorantes, y pigmentos, aditivos, etc. Asimismo, el compuesto polimérico que se utiliza como base a aglutinador, ejerce una influencia definitiva en la pieza conformada.

En general, en comparación con los metales, los valores de resistencia a la tracción y compresión, son inferiores. Asimismo, los Módulos de Elasticidad, son bajos; por consiguiente la carga que soportan, también es menor. En la tabla 4.2,1 aparecen algunos materiales plásticos y sus propiedades mecánicas.

Las propiedades no mecánicas, no se tratarán en éste trabajo, debido a que están más relacionadas con otras áreas de aplicación, que las de tipo ingenieril.

4.3. ENSAYOS PARA EVALUAR LAS PROPIEDADES MECANICAS

Los ensayos para evaluar las propiedades mecánicas en materiales Termoplásticos y Termofijos, están normalizados por diferentes Asociaciones Internacionales sobre Manufactura y Pruebas de Materiales. En el presente trabajo, nos basamos en las normas elaboradas por la Sociedad Americana de Pruebas de Materiales (A.S.T.M.).

El objetivo de los ensayos consiste en realizar pruebas destructivas sobre muestras normalizadas de materiales tanto Termoplásticos, como Termofijos; según sea apto o no el material, pues como se ve

TABLA 4.2.1. PROPIEDADES DE ALGUNOS TERMOPLASTICOS Y TERMOFIJOS

Nombre del plástico	Densidad ($10^3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$)	Resistencia a la tensión $10^5 \frac{\text{Kg f}}{\text{cm}^2}$	Módulo de Elasticidad $10^5 \frac{\text{Kg f}}{\text{cm}^2}$	Alargamiento de rotura (%)	Tg (°C)	Características y aplicaciones principales.
Polietileno A	0.91-0.92	0.00071-0.00163	0.012-0.0244	90-650		Termoplástico fácilmente moldeable que se ablanda en agua hirviendo. Es flexible hasta -75 °C. Lámina, juguetes, aislamientos eléctricos.
Polietileno B	0.92-0.96	0.00224-0.00387	0.056-0.107	50-800		Termoplástico fácilmente moldeable que no se ablanda en agua hirviendo.
Polipropileno	0.90-0.91	0.00305-0.004	0.0917-0.1427	50-600		Bolsas, embalajes, aislamientos eléctricos, botellas y recipientes.
Cloruro de polivinilo rígido	1.4	0.0053-0.0059	0,203-0.2855	2-40		Tenaz y córneo
P.V.C. plastificado. (Bajo contenido de plastificante).	1.3-1.35	0.0028-0.0042	0.356-0.4894	200-250		Tenaz pero plegable
P.V.C. plastificado. (Alto contenido de plastificantes).	1.2-1.3	0.00142-0.0021		350-450		Blando, flexible y semejante al caucho.

PROPIEDADES DE ALGUNOS TERMOPLASTICOS Y TERMOFIJOS

Nombre del plástico	Densidad ($\frac{10^3 \text{Kg}}{\text{m}^3}$)	Resistencia a la tensión $10^5 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$	Módulo de Elasticidad $10^5 \frac{\text{Kgf}}{\text{cm}^2}$	Alargamiento de rotura (%)	Tg (°C)	Características y aplicaciones principales.
Politetrafluoretileno PTFE (Teflón)	2.1-2.25	0.0017-0.0028	0.0356-0.0662		300	Coefficiente de rozamiento sumamente bajo, no se adhiere a la mayoría de los materiales. No se inflama.
Poliestireno	1.05-1.1	0.0025-0.0061	0.254-0.418	1-3		Es atacado por los ácidos, es aislante, fácilmente moldeable para la obtención de espumas.
Poliestireno tenaz	1.0-1.1	0.0017-0.00428	0.1784-0.3161	8-50		
ABS (Copolímeros)	1.0-1.1	0.0017-0.0059	0.142-0.356	10-140		Resiste los ácidos comunes y resiste disolventes derivados del petróleo. Carrocerías y cubiertas.
Polimetilmetacrilato (PMMA)	1.18	0.005-0.0076	0.275-0.356	5-8	110	Estado amorfo a temperatura ordinaria, transparente y resistente al impacto. Para vidrios de aviones.
Nylon 6.6.	1.1	0.005-0.00815	0.183-0.316	60-300		Atacado por gasolina y acetona
Nylon 6.6. (Con fibra de vidrio)	1.4	0.0163		1-2		Fibras textiles e hilazas, botellas, recipientes, engranajes, válvulas y cojinetes.
Nylon 6.10	1.08	0.0061	0.193-0.214	85-230		
Nylon 6	1.13	0.0071-0.0081	0.112-0.356	90-320		
Nylon 11	1.05	0.0045-0.0061	0.066-0.152	70-300		

PROPIEDADES DE ALGUNOS TERMOPLASTICOS Y TERMOFIJOS

Nombre del plástico	Densidad ($10^3 \frac{Kg}{m^3}$)	Resistencia a la tensión $10^5 \frac{Kg}{cm^2}$	Módulo de Elasticidad $10^5 \frac{Kg}{cm^2}$	Alargamiento de rotura (%)	Tg (°C)		Características y aplicaciones principales.
Fenolformaldehído. (PF) sin relleno	1.25-1.3	0.0035-0.0055	0.530-0.713	1-1.9			Materiales duros, rígidos. Aislantes eléctricos. Resisten aceites y grasas, así como a la mayoría de disolventes comunes. Clavijas Enchufes Interruptores Lámina Engranajes Cojinetes etc. Materiales duros, rígidos, aislantes eléctricos. Resistentes a la mayoría de los productos químicos.
Con relleno de aserrín molido	1.32-1.45	0.0045-0.0060	0.56-0.815	0.4-0.8	150	Termofijo	
Con relleno de amianto (Asbesto)	1.6-1.85	0.0028-0.0055	0.917-1.17	0.1-0.2			
Con relleno de fibra de vidrio	1.5-2.0	0.0046-0.0071	0.713-1.42	0.5			
Urea-formaldehído (UF) relleno de celulosa	1.5-1.6	0.0050-0.0081	0.713-1.37	0.5-1.0	60		
Con relleno de aserrín molido	1.5-1.6	0.0050-0.0081	0.713-1.22	0.5-1.0	70	Termofijo	
Melamina formaldehído (MF) con relleno de celulosa.	1.5-1.6	0.0056-0.0086	0.713-1.07				
Con relleno de fibra de vidrio	2.0	0.0040-0.0070					

rá más adelante, un tipo de ensayo puede ser no aplicado a Termoplásticos y a Termofijos; por ejemplo, los ensayos de compresión y flexión, sólo se aplican a materiales Termofijos.

Los ensayos de mayor interés desde el punto de vista mecánico son:

Ensayo de Tracción (ASTM D638),
 Ensayo de Compresión (ASTM D 695),
 Ensayo de Flexión (ASTM D790),
 Ensayo de Impacto (ASTM D256) y
 Ensayo de Dureza (ASTM D785).

4.3.1. ENSAYO DE TRACCION

El ensayo de tracción para materiales plásticos es parecido al correspondiente en materiales metálicos. Este ensayo proporciona información sobre las propiedades del material que se está probando. Sin embargo, debido a que las propiedades de los materiales plásticos, en general, varían con el contenido de cargas de refuerzo, con la temperatura y con la magnitud de la carga aplicada; es importante por eso, controlar estas variables.

Al contrario de los metales, la mayoría de los Termoplásticos se comportan como si se estiraran en frío, es decir, se presenta el fenómeno de fluencia para un determinado valor de carga, bajo esas condiciones, el material continúa alargándose, sin que haya incremento de carga; cuyo valor numérico se determina mediante la siguiente expresión:

$$\text{Tensión de alargamiento} = \frac{\text{Carga de alargamiento}}{\text{área transversal original.}}$$

Las curvas de esfuerzo-deformación obtenidas para la mayoría de Termoplásticos, no presentan una zona lineal (línea recta), o bien, muestran un comportamiento inicial de acuerdo con la Ley de Hooke con

valores muy bajos de carga aplicada. Esto significa que el Límite de Proporcionalidad tiende a ser cero. Esto ocasiona dificultades para determinar la magnitud del Módulo de Elasticidad. El valor que se da como Módulo de Elásticidad (E) en los plásticos (Termoplásticos), es de hecho, la magnitud de la secante que se obtiene determinando la carga correspondiente a un valor de 0,2% de deformación, Fig. 4.4.

Muchos Termoplásticos se alargan considerablemente durante el ensayo de tracción, pero existe recuperación casi instantánea de la deformación, tan pronto como se rompe la probeta. El valor de alargamiento en porcentaje se denomina Alargamiento de rotura y se determina anotando la distancia entre marcas de calibrado en el momento de la fractura, y no poniendo juntas las dos partes después de la fractura durante el ensayo de tracción.

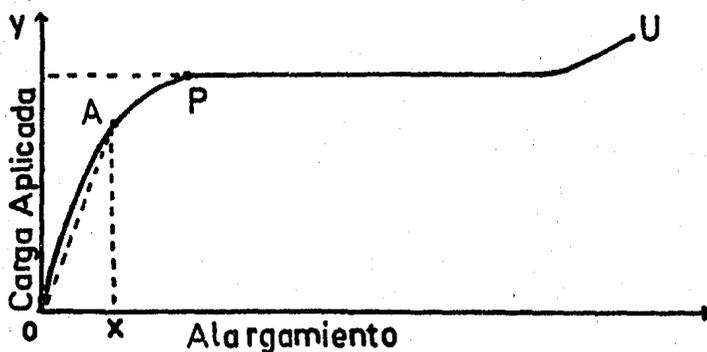


Fig. 4.4. Diagrama carga-alargamiento para un Termoplástico. La inclinación de la recta OA se usa para determinar el Módulo de Elasticidad de un material plástico, es decir, la magnitud de la secante.

Resistencia a la tracción.- Se define como la carga máxima que puede aguantar una probeta cuando se le somete a un ensayo destructivo, correspondiente al punto U de la Fig. 4.4., y está dada por la

relación.

$$RT = \frac{\text{Carga máxima}}{\text{Sección transversal original.}}$$

Límite aparente de elasticidad.- Es el punto en el diagrama esfuerzo-deformación a partir del cual el material cederá de repente con muy poco o sin incremento de la carga necesaria aplicada (punto P de la Fig. 4.4.).

El alargamiento con ésta cesión repentina es del orden del 5 al 7% de la longitud calibrada original. El punto de cesión o límite aparente de elasticidad, está muy cerca del límite elástico o coincide con él. El valor de la carga correspondiente al límite de elasticidad, o esfuerzo de cesión viene dada por.

$$S_c = \frac{\text{Carga aplicada hasta el punto de cesión.}}{\text{Sección transversal inicial.}}$$

Límite de proporcionalidad.- Corresponde al valor de la carga para el cual la curva esfuerzo-deformación deja de ser una línea recta, es decir, el punto donde deja de cumplirse la Ley de Hooke.

Límite elástico.- Es el valor de la carga en el que la deformación deja de ser recuperable, es decir, completamente elástica. En muchos casos el límite de proporcionalidad y el límite elástico coinciden; en otros casos resulta difícil determinar esos puntos, ya que el comportamiento no sigue la Ley de Hooke, dichos materiales se denominan "anelásticos".

Tensión de prueba.- Para materiales tales como los plásticos en los que no está bien deninado el límite de proporcionalidad, se fija una tensión admisible o tensión de prueba, que se define como la tensión requerida para causar una deformación permanente especificada (en la probeta), por ejemplo de 0,1 ó 0,2% de la longitud calibrada _____

original (para norma norteamericana se usa 0,2%).

4.3.2. ENSAYO DE COMPRESION

Para efectuar el ensayo de compresión, se utilizan probetas cilíndricas con una relación altura-diámetro de 3/1, ya que con probetas que superen ésta relación se corre el riesgo de que se panden o se doblen bajo la carga. Los ensayos de compresión raramente se llevan a cabo en materiales dúctiles, ya que los resultados obtenidos son de escaso valor.

El ensayo de compresión se usa principalmente para determinar la resistencia de compresión de sólidos frágiles. Para mayor información sugerimos consultar la Norma correspondiente, la cual se anexa en el Apéndice.

La dificultad principal para efectuar la prueba, consiste en diseñar el dispositivo para montar la pieza de tal modo que la carga aplicada sea totalmente axial.

4.3.3. ENSAYO DE FLEXION

Se utiliza éste ensayo para materiales frágiles, tales como los Termofijos; con el objeto de determinar por el ensayo de los mismos a flexión con una carga transversal, el esfuerzo máximo del material. La norma D 790, contiene toda la información acerca de éste ensayo.

La probeta normalizada consiste en una barra de sección rectangular o cuadrada, simplemente apoyada en sus extremos y la carga aplicada en el centro.

El Módulo de ruptura o resistencia de ruptura transversal, es la tensión máxima desarrollada en las fibras del material en el momento de la fractura; puede calcularse por medio de la expresión general relativa a la deformación.

$$S = M.y/I$$

donde:

M es el máximo momento de flexión,

I es el momento de inercia de la sección e

y es la distancia del eje neutro a la fibra más alejada.

Este tipo de ensayo de flexión transversal se emplea para materiales Termofijos, particularmente para los de fenol-formaldehído.

Para llevar a cabo éste tipo de prueba, hemos diseñado y construído un dispositivo que se acopla a la máquina Instron, y cuya información aparece en el Apéndice.

4.3.4. ENSAYO DE IMPACTO

Para éste tipo de ensayo se utiliza un probeta entallada por fresado, la cual se somete a una carga de impacto producida por un péndulo, el cual al golpear a la probeta en el lado opuesto a la muesca, le produce la fractura. Este tipo de ensayo ofrece la ventaja de revelar la tendencia a la fragilidad que no se aprecia en un ensayo de tracción normal, o en un ensayo de dureza.

La temperatura de transición de dúctil a frágil es considerablemente mayor para condiciones de carga de impacto que para condiciones de deformación lenta.

Los tipos de ensayo de resiliencia (de impacto) con probetas entalladas más comúnmente utilizados son el de Charpy y el de Izod. En ambos casos se deja caer un péndulo, de modo que golpee la probeta al final de su oscilación. Parte de la energía del péndulo se consume en romper la probeta. Si se mide la altura que alcanza el péndulo en el balanceo (altura de caída), esta sirve para determinar la energía absorbida en la fractura.

En el ensayo de Charpy, la probeta se coloca como una viga

simplemente apoyada, golpeando la arista aguda del péndulo en el punto medio de la longitud entre puntos de apoyo por la parte opuesta a la entalla.

En el ensayo Izod, la probeta está en voladizo y está sujeta en uno de sus extremos por una mordaza, Fig. 4.5., quedando la entalla a nivel del plano de sujeción. El golpe del péndulo se aplica por el mismo lado de la entalla.

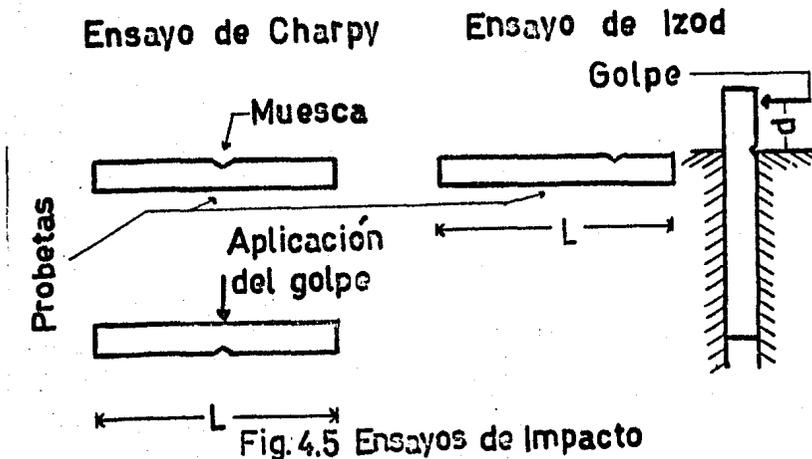


Fig. 4.5 Ensayos de Impacto

Las resistencias al choque determinadas por ambos tipos de ensayos, son relativamente comparables, siempre que se utilice el mismo tipo de entalla.

Para materiales plásticos se utiliza una máquina miniatura con respecto a las empleadas para metales.

4.3.5. ENSAYO DE DUREZA

La dureza es otra propiedad muy importante de los materiales plásticos y puede determinarse por medio de dos tipos de pruebas:

- Resistencia a un rayado en la superficie y
- Resistencia a ser penetrado en su superficie.

Este último tipo de prueba puede usarse solamente para materiales que admitan deformación plástica; a saber, metales y Termoplásticos. La resistencia de un material a la impresión de una huella, no es necesariamente igual a la resistencia a la abrasión.

De los diferentes tipos de ensayos a base de huella para determinar la dureza de los metales y de los plásticos, los más comúnmente usados son:

Ensayo Brinell,
Ensayo Vickers y
Ensayo Rockwell.

De los tres tipos de ensayos, sólo el último es apropiado para materiales plásticos.

Ensayo de dureza Rockwell.- Para éste ensayo se utiliza una máquina de lectura directa de huella, lo que hace que se trate de un método muy conveniente para el ensayo comparativo rápido. El ensayo consiste en aplicar con fuerza un penetrador sobre la superficie del material que se desea probar y midiendo la profundidad de la huella obtenida sobre un disco calibrado. Dependiendo del material que se va a ensayar, se seleccionará el penetrador.

En el ensayo Rockwell, los penetradores son esferas metálicas de distinto diámetro. La profundidad máxima no debe exceder 0,2 mm.

Matemáticamente, la dureza de un material, aprovechando la información obtenida mediante el método de Rockwell, se calcula mediante la siguiente expresión:

Dureza es inversamente proporcional a la profundidad de penetración, por lo tanto:

$$HR = 130 - k (p) .$$

4.4. NORMAS

La normalización consiste en la adopción y en la utilización

de lo mejor que hay en la inmensa cantidad de conocimientos y de la experiencia sobre un tema cualquiera; en nuestro caso particular, de los materiales plásticos.

Normalizar significa canalizar racionalmente el cúmulo de conocimientos que alrededor de un tema se han logrado reunir y los reduce al mínimo, con el propósito de simplificar el trabajo de quienes tienen la necesidad de hacer uso de tales conocimientos y experiencia.

La Sociedad Americana para Pruebas de Materiales (ASTM), es una de las encargadas de elaborar las normas que deben regir los ensayos para determinar las distintas propiedades, tanto mecánicas como químicas de los materiales plásticos en particular.

Una norma establece: objetivo de la prueba, métodos, procedimientos, equipo empleado, especificaciones de las probetas, condiciones ambientes bajo las cuales se realizará la prueba, cálculos y resultados; entre las más importantes.

Las normas que rigen los ensayos más importantes, desde el punto de vista mecánico son:

Dureza (Rockwell Hardness of Plastics and Electrical Insulating Materials, Test for D785).

Flexión (Flexural Properties, Test for D790).

Compresión (Compressive Properties of Rigid Plastics D695).

Tracción (Tensile Properties of Plastics, Test for D638).

Impacto (Impact Resistance of Plastics and Electrical Insulating Material, Test for D256).

Analizando cada una de éstas normas, debido a que son muy extensas, y debido también a que cada persona interpreta a su muy particular manera lo escrito en otro idioma, decidimos no traducirlas; ya que al hacerlo se cometen frecuentes y graves errores. En el Apéndice se anexan algunas de ellas.

CAPITULO 5

PROCESOS DE CONFORMADO

5.1. INTRODUCCION

Los materiales plásticos difieren grandemente entre ellos y se prestan para ser conformados por métodos, tales como: Extrusión, Inyección, Soplado, Formado al vacío, Calandreado, Moldeo de transferencia, Moldeo por compresión y Preformado, entre los más importantes.

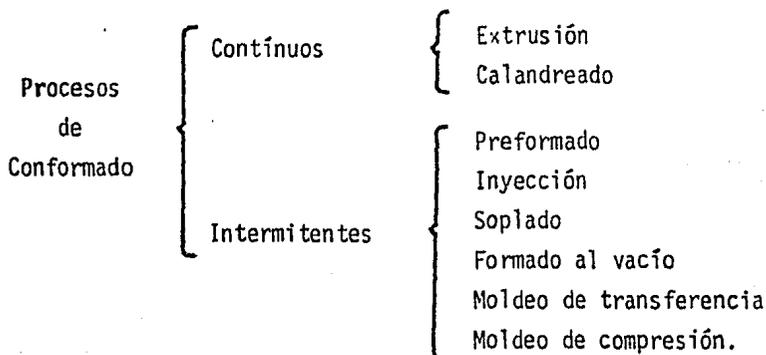
Hablando de materiales, se puede decir que los Termoplásticos y los Termofijos, cada categoría se adapta mejor a alguno de los procesos antes mencionados, aunque muchos artículos, ya sea terminados o semielaborados, se pueden fabricar por varios de ellos. En la mayor parte de los procesos, el material que se va a conformar se encuentra en forma de polvo o granular, aunque para algunos existe una operación de preformado, antes de usarlo.

El proceso de conformado, puede definirse en los siguientes términos: es la transformación paulatina del material, desde su estado inicial sólido (en polvo, grano o fibra), o líquido, mediante la aplicación de calor y presión controladas, a través de equipo diseñado especialmente para tal fin. El resultado de la conformación, puede ser una preforma o artículos terminados diversos.

5.2. CLASIFICACION DE LOS PRINCIPALES PROCESOS DE CONFORMADO

Los principales procesos para la conformación de materiales plásticos, se pueden clasificar de diversas maneras. En el presente

trabajo se clasifican de acuerdo con la continuidad con que vaya saliendo el producto, tanto terminado, como intermedio, de la siguiente manera:



5.3. EXTRUSION .

Por extrusión de plásticos se entiende el proceso de conformado contínuo, mediante el cual se obtienen artículos con una forma o perfil que queda determinada por una cabeza, hilera o dado. Los artículos obtenidos pueden tener las dimensiones finales o bien, pasar por un proceso posterior de calibrado; cuando se trata de Termoplásticos.

El proceso de extrusión se aplica tanto a Termoplásticos, como a Termofijos, aunque éstos últimos presentan muchas dificultades, mismas que se explicarán más adelante; por ello, la extrusión de Termofijos es muy limitada.

5.3.1. DESCRIPCION GENERAL DEL PROCESO

En la fig. 5.1, se muestra esquemáticamente una extrusora horizontal de un husillo, para Termoplásticos. Examinando el dibujo podemos ver claramente que el husillo 5 recoge el material de la tolva de carga 4 en forma de gránulos, polvo, fibra o masa caliente y lo mezcla, plastifica, comprime y lo desplaza por el canal helicoidal del husillo a lo largo del cilindro 6. Mediante el husillo se consigue la homogeneización del material fundido y su extrusión a través de las mallas filtrantes 7, rejilla y cabezal o hilera perfiladora 9.

El husillo es el órgano fundamental de trabajo de una extrusora. Tanto la producción, como la aplicación de la extrusora dependen del diámetro del husillo, de la relación entre longitud y diámetro (L:D), de la velocidad de giro, del perfil del vértice de los filetes y del cabezal, de la existencia de refrigeración; del coeficiente de fricción que surge como consecuencia del roce del material con las paredes internas del cilindro y la superficie del husillo. Estos coeficientes dependen, principalmente del material a transformar y de la temperatura de las superficies del cilindro y del husillo. El material será impulsado con mayor efectividad por el husillo, cuanto mayor sea la fricción entre el material y las paredes del cilindro, y cuanto menor sea en la superficie del husillo. Para reducir la fricción entre el material y el husillo, éste último se refrigera con agua; siendo muy importante el control de la temperatura, pues de lo contrario, su disminución causará caída de presión y por consiguiente de la producción. Si la temperatura excede el nivel de operación, se produce destrucción de las capas del material próximas a la superficie del cilindro.

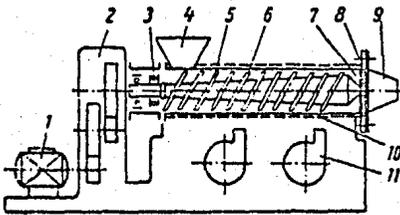


FIG.5.1. Máquina de extrusión de un husillo para transformar materiales termoplásticos.

El proceso de extrusión propiamente dicho, depende de la temperatura del cilindro en las diferentes zonas y de la temperatura del husillo. Durante el proceso de extrusión se deberá poner particular atención para que la regulación automática de la temperatura en el cilindro y husillo, sea lo más exacta posible.

Durante el proceso de extrusión, el material pasa por tres estados físicos: sólido, conglomeración del material sólido con la masa caliente y masa fundida.

Tiene mucha importancia en el trabajo de una extrusora la medida del huelgo anular entre las crestas del filete del husillo y la superficie interior del cilindro, Fig. 5.2.

Quando el huelgo es grande, el material se mezcla con mayor efectividad, pero disminuye el avance del mismo por aumentar el flujo inverso de material.

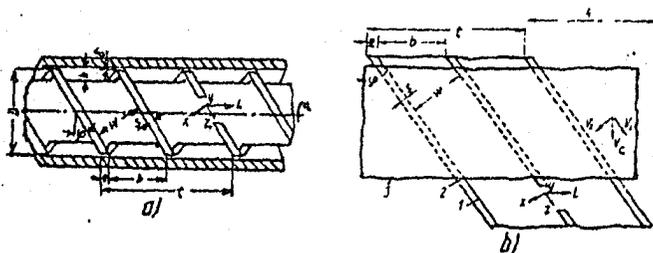


Fig. 5.2. Sección de un cilindro con husillo de dos canales:
a, vista general; b, esquema del desarrollo.

En los husillos dosificadores, Fig. 5.3, provistos de zonas de alimentación, compresión y dosificación (extrusión), resulta más sencillo analizar la zona de dosificación, ya que el flujo de material plastificado de ésta zona se comporta como un fluido viscoso. Generalmente,

ésta zona es la que determina la producción de una extrusora de husillo.

En la zona de dosificación existen tres flujos: el directo y el inverso a lo largo del canal helicoidal del husillo y el correspondiente a las fugas de la masa que tiene lugar a través de los huelgos radiales existentes entre las crestas o vértices de los filetes del husillo y la superficie interior del cilindro. Este último flujo, comparado con los otros dos anteriores, resulta tan insignificante que, en la mayoría de los casos no se considera al efectuar los cálculos de producción.

La producción o caudal de la zona dosificadora, es igual a la diferencia entre el flujo directo e inverso, su mando a éste último las fugas.

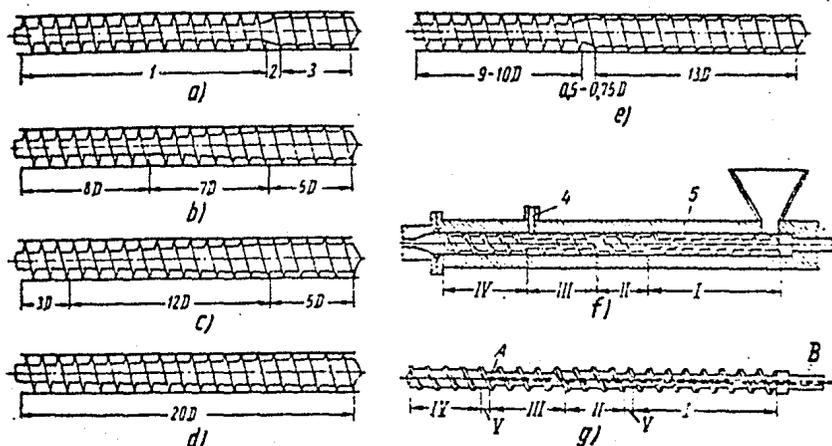


Fig. B.3 Husillos generalmente empleados en la transformación de diversos materiales termoplásticos:

a, husillo con zona de alimentación larga y zona de compresión corta; b y c, husillos con zona de compresión larga; d, husillo con una zona de compresión creciente para transformar cloruro de polivinilo; e, husillo con zona de compresión corta para la transformación de polietileno; f, husillo de dos etapas con zona de descompresión; g, husillo con zona de descompresión y canal de succión por vacío.

Los flujos directo e inverso, también son conocidos como flujo forzado y flujo de presión, respectivamente. El primero constituye un flujo de arrastre, originado por el desplazamiento relativo del husillo respecto al cilindro. El material acumulado en el espacio anular formado por el núcleo del husillo y la superficie interior del cilindro es sometido a deformaciones de cortante, que las paredes del canal helicoidal transforman en movimiento de arrastre o de avance, es decir, en flujo directo. El consumo o caudal volumétrico del flujo directo, queda determinado por la profundidad y anchura del canal, diámetro del husillo y su velocidad de giro.

El flujo inverso surge como resultado de la presión sobrante acumulada en la cabeza extrusora que hace que la masa fluya en la dirección contraria. Sin embargo, como el flujo directo es considerablemente mayor, se observará sólo la reducción de este en magnitud correspondiente al flujo inverso, sin que se aprecie a simple vista la corriente de material en sentido contrario. La magnitud del flujo inverso, depende de la profundidad del canal helicoidal, diámetro del husillo, presión ejercida por la masa sobre la cabeza extrusora y de la viscosidad de la masa.

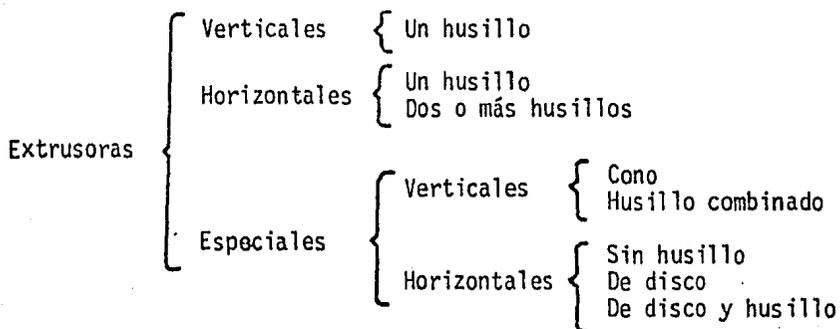
5.3.2. EQUIPO EMPLEADO PARA EL PROCESO

Las máquinas extrusoras se clasifican de diversas maneras; de acuerdo al órgano fundamental de trabajo, según la estructura del cilindro, según el tipo de calentamiento, por el tipo de accionamiento, etc.

La clasificación siguiente, se hizo básicamente de acuerdo con la posición del cilindro y el tipo de husillo empleado o ausencia de él.

En éste trabajo, nos referiremos con mayor detalle a las extrusoras de uno y de dos husillos; horizontales y verticales, respectivamente; ya que son las más empleadas en la industria del plástico en Mé

xico. Las extrusoras de tipo especial, sólo se mencionan para hacer notar su existencia.



5.3.3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL EQUIPO

Extrusoras horizontales de un husillo.- Las máquinas de extrusión de un husillo, por lo general, son máquinas universales empleadas para mezclar, plastificar y granular materiales; fabricar película, lámina, tubos y artículos de configuración compleja; así como para revestir, telas, papel, alambre, etc.

Existen numerosos tipos y tamaños de máquinas que difieren entre ellas por sus características propias y forma constructiva, a saber: clase de material a transformar, diámetro y longitud del husillo, tipo de accionamiento, gama y procedimientos de regular las velocidades de giro del husillo, potencia total y específica de calentamiento del cilindro y procedimiento automático de regular la temperatura requerida y existencia de dispositivos de carga.

Al diseñar una máquina de extrusión se pone el máximo interés en encontrar la geometría óptima de los husillos, con la cual se puedan alcanzar las máximas presiones y temperaturas del material lo más cerca posible de la zona de carga, con la finalidad de utilizar la mayor parte del husillo para la homogeneización del material. Experimentalmente se ha encontrado que la longitud óptima del husillo varía de 20 a 30 veces el diámetro.

En la página siguiente aparece un modelo reciente de una extrusora de un husillo y un resumen de sus principales características.

Ventajas y desventajas.- Es evidente que las máquinas de extrusión horizontales de un husillo, son constructivamente más simples y económicas que las de dos husillos. Sin embargo, el mezclado del material no es tan efectivo como en el caso de las extrusoras de dos husillos.

Extrusoras de dos y más husillos.- Debido a sus cualidades Tecnológicas, las extrusoras de dos y más husillos ofrecen mayores ventajas de producción y son mejor aceptadas en el mercado por su gran capacidad de aplicación. Son ideales para trabajo de gran producción donde debe obtenerse un mezclado completo del compuesto de moldeo y una excelente granulación de los materiales Termoplásticos; una eliminación completa de los defectos gelificantes y el coloreado uniforme en la dispersión de los pigmentos, la eliminación justa de la humedad y monómeros del material durante su transformación.

La zona de carga de una máquina de dos husillos tiene mayor capacidad de compresión, lo que permite transformar material en polvo muy fino y asegurar un llenado completo del cilindro. La presión en la zona de carga, aumenta con mayor rapidéz que en las máquinas de un sólo husillo.

Existen numerosos tipos de extrusoras con varios husillos que difieren entre ellas por el número de husillos, posición mutua y sentido de giro, tipo de acoplamiento, procedimiento empleado para alcanzar el grado de presión necesario, geometría de los husillos y cilindros. Estos parámetros pueden combinarse de muchas maneras; de aquí la gran diversidad de máquinas de extrusión de diferente forma constructiva y tamaño.

Cuando los husillos giran en el mismo sentido, el fileteado es

EXTRUSORAS EXTRUDERS EXTRUDEUSES



Datos técnicos Technical data Données techniques	Modelos - Models - Modèles					
	E 30 / 25	E 40 / 25	E 60 / 25	E 75 / 25	E 90 / 25	E 120 / 25
Diámetro plastificador Spindle diameter Diamètre du mandrin	30	45	60	75	90	120
Relación diámetro/longitud Diameter/length relation Rapport diamètre/longueur	28 : 1	28 : 1	28 : 1	28 : 1	28 : 1	28 : 1
Potencia motor vel. variable cc Motor power d.c. at var. speed Puissance moteur a vitesse var.	5 CV	15 CV	25 CV	45 CV	75 CV	140 CV
Velocidad husillo r.p.m. Spindle speed r.p.m. Vitesse du mandrin	15-180	15-150	10-110	8-90	10-70	10-70
Calefacción kw. Heating kw. Chauffage kw.	4	8	8	12	18	27
Peso kg. Weight kg. Poids kg.	420	1120	1 10	2500	3000	6350

LONGITUDES

LENGTHS

LONGUEURS

450

650

950

1.350

igual y cuando giran en sentido contrario, el fileteado es opuesto.

Por la posición mutua de los husillos, éste tipo de máquinas se clasifican en: máquinas con husillos engranados y sin engranar. Una característica de estas máquinas es la disposición de varios husillos en un mismo canal del canal de cilindro. Cuando varios husillos están montados en diferentes canales de uno o de varios cilindros, la máquina se considera de un sólo husillo.

Ventajas.- A consecuencia de la agitación tridimensional del material, se observa mayor intercambio térmico y un mezclado más intensivo. El material plastifica a presiones más reducidas, sin elevación local de la temperatura que suele observarse en las máquinas de un sólo husillo. Por otro lado, estas máquinas aseguran una eliminación más efectiva de los elementos volátiles debido a la fuerte agitación del material que obliga a las partículas interiores a salir a la superficie de la masa. Esto permite instalar en las máquinas varias zonas de vacío.

Extrusoras verticales.- Las máquinas de extrusión verticales son idénticas a las horizontales, en cuanto a los elementos que las constituyen y funcionamiento. La diferencia fundamental radica en la posición vertical del cilindro y husillo. Algunos tipos de éstas son empleados por excelencia en la fabricación de película.

Ventajas.- Este tipo de máquinas permite eliminar prácticamente el flujo inverso perjudicial de material entre el husillo y la hileradora perfiladora. Esta ventaja resulta verdaderamente notable durante la extrusión de película con cabezal anular acompañada de un soplado posterior y al aplicar revestimientos por el procedimiento de extrusión. La ventaja fundamental consiste en la posibilidad que ofrece de montar en su parte superior una extrusora pequeña auxiliar, para fabricar artículos de dos colores a través de un cabezal perfilador único.

Máquinas de extrusión especiales.- Este tipo de máquinas se diferencian principalmente por lo siguiente: el material se calienta y plastifica a consecuencia de la agitación intensiva a que es sometido durante el mezclado debido al rozamiento con las superficies del cilindro y husillo y debido también al rozamiento entre sí de las partículas del material. La masa fundida y homogeneizada es extruida a través del cabezal en la misma forma que en las máquinas de extrusión comunes.

5.3.4. MATERIALES PARA EXTRUSION

El número de materiales plásticos disponibles para procesarse por extrusión crece continuamente, así como la gama de productos terminados y semielaborados que se pueden fabricar por este método. La extrusión es probablemente el proceso más versátil en la industria del plástico debido a su alta capacidad de producción. Por lo tanto, los fabricantes de materiales plásticos se encuentran, en general, preparados para invertir cantidades considerables de tiempo y dinero en el desarrollo de grados especiales de extrusión de cualquier nuevo material que puedan producir y para la investigación de nuevas aplicaciones del proceso de extrusión.

Los materiales para extrusión frecuentemente son suministrados por los fabricantes en forma de compuestos especialmente formulados. Estos materiales que normalmente están en forma granular, pueden contener estabilizadores, lubricantes, colorantes, pigmentos, plastificantes y otros elementos; los cuales mejoran las propiedades de los materiales para facilitar el proceso, o dan las características requeridas del producto terminado.

Existe algo de controversia con respecto a la forma y tamaño de los compuestos para extrusión y mucho depende del tipo de Termoplástico y de las características de la máquina que se vaya a utilizar. Sin embargo, en general, se puede decir que los vinilos plastificados, el

polietileno, los materiales celulósicos y el nylon dan mejores resultados cuando se encuentran en forma de esferas, cilindros o cubos regulares de 3 mm (1/8 plg) o 2,3 mm (3/32 plg), mientras que para el cloruro de vinilo no plastificado y el poliestireno, el tamaño menor puede traer mayores ventajas.

En general, existen 16 grupos de materiales que se procesan comercialmente por las técnicas de extrusión.

1. Resinas acrílicas (Polimetacrilato de metilo).
2. Copolímeros ABS (Copolímeros del Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno).
3. Plásticos de la caseína.
4. Materiales celulósicos (Acetato de celulosa, acetato butirato de celulosa, nitrato de celulosa y etil celulosa).
5. Espuma de plásticos (Espuma del poliestireno, espuma de cloruro de polivinilo y espuma de poliolefinas).
6. Poliacetales.
7. Poliamidas (Incluyendo poliuretanos lineales).
8. Policarbonatos.
9. Polietilenos de alta y de baja densidad.
10. Polipropileno.
11. Poliestirenos (Incluyendo poliestirenos modificados).
12. Plásticos vinílicos (Tanto homopolímeros, como copolímeros en forma flexible y plastificada).
13. Materiales basados en el cloruro de polivinilideno.
14. Plásticos vinílicos (Tanto homopolímeros como copolímeros en forma rígida no plastificada).
15. Resinas fluorocarbónicas.
16. Materiales Termofijos.

5.3.5. ARTICULOS OBTENIDOS MEDIANTE EXTRUSION

El proceso de extrusión de Termoplásticos, se aplica para obte

ner diversos artículos, tales como: perfiles sólidos y huecos, lámina, película, productos intermedios para moldeo por soplado y formado al vacío, revestimientos para alambre y cables eléctricos, tela, cartón, etc.

A continuación se proporciona un resumen de algunos materiales procesados mediante extrusión, así como los artículos terminados e intermedios más destacados.

Resinas acrílicas.- Debido a su excelente transparencia, se utilizan para tubos, barra, difusores y uniones para iluminación fluorescente; lámina plana y corrugada.

Copolímeros ABS.- Se extruyen en dos formas principales: lámina plana para fabricación de portafolios, partes internas de refrigeradores y tubo para el transporte de gas natural, agua y sustancias químicas.

Celulósicos (Acetato y butirato de celulosa).- Tubos para transporte de petróleo, gas natural, tubería para irrigación y lámina para formado al vacío.

Poliacetales.- Destacan como substitutos de partes metálicas en la industria de la electrónica y automotriz, debido a su alta resistencia al desgaste, estabilidad dimensional y resistencia química. Se procesan en forma de lámina, barras, tubos y para revestimiento de alambre.

Materiales tipo nylon (Poliamidas).- Por su alta resistencia a la tracción y a la abrasión, se extruye en barras para maquinado de engranajes, levas y rodamientos; tubería para agua, aceite y petróleo.

Policarbonatos.- Para barras, tubería, lámina y película para usos especiales en la industria automotriz y aeronáutica.

Polietilenos (es el material más versátil para extrusión).- El

polietileno de baja densidad se extruye en forma de película para envolturas y en forma de lámina compuesta para empaques. Además, se obtienen tubos semielaborados para moldeo por soplado de botellas, tanto de alta como de baja densidad.

Polipropileno.- Por su alta resistencia al calor, se usa para empaques en forma de película, lámina para formado al vacío, tubería, perfiles, cerdas para cepillos, etc.

Poliestirenos.- Lámina para charolas, recipientes, puertas para refrigeradores, etc.

Materiales de cloruro de vinilo plastificado (bastante versátil para extrusión).- Su uso es muy amplio, tanto en perfiles, lámina, película y tubería, como para recubrimientos.

5.3.6. EXTRUSION DE TERMOFIJOS

Debido al comportamiento irreversible de los materiales Termofijos durante un ciclo de calentamiento, los métodos que se utilizan para moldearlos o extruirlos, son diferentes de los métodos adecuados para los materiales Termoplásticos. Para obtener productos de buena calidad a partir de materiales Termofijos, no solamente es necesario calentar el material, sino también someterlo a una presión de varias toneladas por centímetro cuadrado. La necesidad de tan altas presiones, descarta la posibilidad de adaptar una máquina de extrusión de husillo para moldear estos materiales. Además, existe la posibilidad de que el material se pueda endurecer exotérmicamente por calor dentro del mecanismo, con las dificultades resultantes de desmontar y limpiar, los husillos, hacen que la técnica de extrusión con husillo sea inapropiada.

Principalmente, debido a las altas presiones que se requieren, los materiales Termofijos se extruyen en máquinas que son esencialmen-

te prensas hidráulicas alternativas, Fig. 5.4.

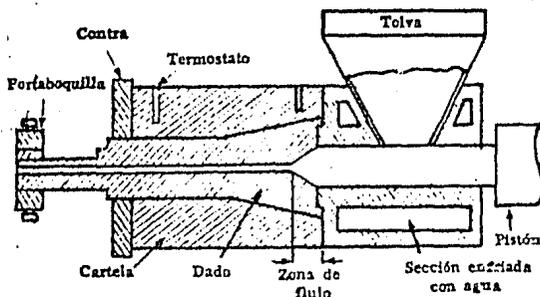


FIG. 5.4, Diagrama del proceso de extrusión para materiales termofijos. (Cortesía de British Resin Products Ltd.)

5.3.7. PLÁSTICOS REFORZADOS

Como ya se mencionó en el capítulo anterior, con frecuencia se agregan cargas de refuerzo, tanto a Termoplásticos como a Termofijos; cuando se requiere que los artículos extruidos tengan buena estabilidad dimensional, dureza y excelente resistencia al impacto.

Uno de los más importantes materiales utilizados como carga de refuerzo, es la fibra de vidrio, ya sea como filamento continuo, fibra picada, tela o en otras formas.

La fibra de vidrio tiene un Módulo de Elasticidad y una resistencia a la tracción excepcionalmente altos, es a prueba de fuego e inmune al ataque microbiológico y a la mayoría de formas de ataque químico; además de una buena estabilidad dimensional y resistencia al desgaste.

El empleo de plásticos reforzados con fibra de vidrio para conformado por distintos procesos, incluye una forma de extrusión conti-

nua, la cual es una importante rama de la industria de los plásticos en la actualidad.

5.3.8. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

La gama de productos que se pueden extruir con materiales Termoplásticos, desde película, hasta secciones sólidas, es muy superior a la gama de secciones posibles hechas con materiales Termofijos, y no parece posible que ésta situación vaya a cambiar.

Debido al hecho de que se puede efectuar muy poco cambio o ninguno en la forma de un producto de material Termofijo, una vez que ha dejado la máquina, se necesita un dado separado para cada sección individual y además, el dado debe corresponder con precisión al perfil requerido. Por otra parte, se pueden efectuar grandes cambios en las secciones extruidas a base de material Termoplástico, después de que han dejado el dado. Esto otorga una gran flexibilidad y versatilidad a éste proceso y, como resultado, los dados para Termoplásticos no requieren ser tan precisos en la sección requerida.

Hay una gran diferencia en el costo de los dados para producir secciones comparables para ambos tipos de materiales. La longitud de dado que deberá ser maquinada con precisión es mucho mayor para aplicaciones de materiales Termofijos y debido a las altas presiones de operación, se deben usar materiales más tenaces, con las consecuentes dificultades de maquinado.

La velocidad a la cual se pueden producir secciones por los dos procesos difiere ampliamente. Una máquina de extrusión de Termoplásticos, puede conformar un material razonablemente consistente a velocidades que se miden en metros por minuto, dependiendo también de la velocidad de enfriamiento del producto. En contraste, las secciones hechas de materiales Termofijos, se miden en centímetros por minuto, y la velocidad de éste proceso, está limitada por la velocidad de curado; la cual, por supuesto, no se puede variar ampliamente. Con el ob-

jeto de acelerar el tiempo de curado y la velocidad de producción, se han desarrollado grados especiales de materiales Termofijos.

A pesar de las desventajas antes señaladas, siempre habrá demanda de artículos, debido a las características que les otorga el material Termofijo. Dichos artículos poseen excelentes propiedades dieléctricas, razonable resistencia química y algunas extrusiones soportan continuamente temperaturas de 110 a 160 °C por periodos cortos, sin que su resistencia se vea afectada por trabajar en estas condiciones. Además, son dimensionalmente estables y poseen buen acabado superficial.

5.4. INYECCION

5.4.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

Para describir el proceso de inyección en sus fases principales, nos auxiliaremos del esquema de una máquina de inyección horizontal, Fig. 5.5.

Recorriendo la trayectoria que el material (M_1) sigue desde su estado como materia prima, hasta producto terminado en las cavidades del molde, tenemos: el material (M_1) se alimenta desde la tolva de la máquina mediante un dispositivo dosificador situado sobre la unidad inyectora, dicha cantidad cae ante el émbolo (17). Esta porción de material es empujada hacia adelante por el émbolo durante el curso del ciclo de trabajo, ésta cae primeramente sobre el émbolo de inyección a través del pozo vertical de la placa transversal (19), cayendo de nuevo ante este cuando efectúa su movimiento de retroceso. Esta porción de material dosificada se designa con (M_2). El émbolo de inyección (18) impulsa a éste material (M_2) hacia adelante al iniciar el movimiento de trabajo a través de la camisa (20) hacia el cilindro de plastificación (13), las bandas calefactoras (12) y (21) situadas en la superficie exterior del cilindro, le proporcionan el calor necesario para su transformación a masa termoplástica.

La pared interior del cilindro transmite continuamente calor al material (M_2) que empieza rápidamente a modificar su consistencia sólida granular bajo la influencia de la temperatura. Para empujar al material hacia la pared interior del cilindro para conseguir la influencia térmica, se ha dispuesto en el interior del mismo un elemento que presiona a la masa, conocido como torpedo (22).

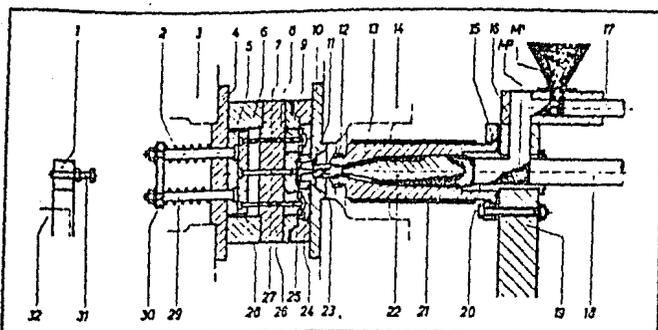


Fig. 5.5. Esquema del proceso de inyección: «primer ciclo de trabajo». El molde ha sido cerrado por la unidad de cierre de la máquina.

Los números de referencia de las representaciones esquemáticas significan: (1) soporte extractor. (2) resorte placa extractora. (3) plato portamolde lado extractor. (4) cuerpo de fijación posterior. (5) placa extractora posterior. (6) placa distanciadora. (7) expulsor. (8) elemento posterior de moldeo. (9) placa posterior del molde. (10) cuerpo de fijación anterior. (11) bebedero. (12) banda calefactora. (13) cilindro de plastificación. (14) plato portamolde lado boquilla. (15) anillo fijación cilindro. (16) dispositivo de dosificación. (17) material dosificado. (18) material en la tolva. (19) émbolo de dosificación. (20) émbolo de inyección. (21) placa transversal. (22) camisa. (23) banda calefactora. (24) presor de la masa (torpedo). (25) boquilla. (26) cuerpo anterior de moldeo. (27) placa anterior del molde. (28) pieza moldeada. (29) placa intermedia. (30) expulsor de mazarota. (31) placa extractora anterior. (32) perno extractor. (33) puente extractor. (34) tope extractor. (35) cuerpo de la máquina.

La característica intermitente del proceso de inyección, hace que el avance del material no sea permanente, sino que haya una cierta permanencia de la masa en el cilindro.

A través de la boquilla (23), la masa es empujada por el torpedo para que llene las cavidades del molde previamente cerrado. En la práctica, a la cantidad de material inyectada se le designa como dispa

ro y va acompañada de un alto despliegue de energía. La velocidad de disparo depende de las propiedades del plástico que se emplea. El émbolo puede moverse en forma lenta o brusca, según sea el diseño de la máquina.

El material inyectado a través del bebedero (11), está dosificado de tal manera que llene perfectamente la o las cavidades del molde.

La masa plastificada enfría al poco tiempo dentro del molde, donde un sistema de enfriamiento dispuesto en sus dos mitades, disipa el calor y acelera el proceso de solidificación de la pieza. El proceso finaliza cuando puede abrirse el molde y la pieza es extraída mediante los pernos expulsores (7) del sistema extractor.

Resumiendo, el proceso de inyección puede subdividirse en varias operaciones, como sigue:

a). Dosificación de una cantidad de granulado correspondiente al volumen del molde, ante el émbolo de inyección.

b). Fusión de este material en el sistema de plastificación, hasta alcanzar una consistencia termoplástica apta para el disparo.

c). Inyección del material plastificado en el molde relativamente frío.

d). Enfriamiento del material inyectado hasta la solidificación que permita el desmoldeo de la pieza.

e). Desmoldeo de la pieza.

Los conductos a través de los cuales el material plastificado llega desde la boquilla hasta las cavidades del molde se llaman canales de llenado y son de fundamental importancia en el resultado del proceso de inyección. La sección de éstos canales, se reduce antes de llegar a la cavidad del molde con el fin de facilitar el desprendimiento de las mazarotas, Fig. 5.6.

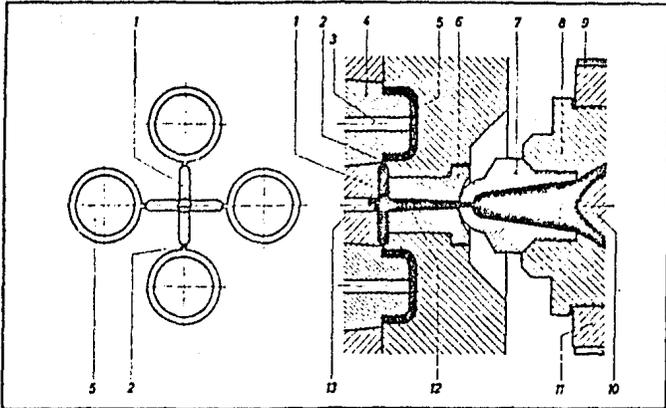


Fig. 5.6. Representación esquemática de la técnica de llenado de piezas Inyectadas. (El ejemplo mostrado se refiere a un molde cuádruple). (1) canal de distribución (cruz de distribución). (2) canal de corte. (3) expulsor. (4) elemento de moldeo. (5) pieza Inyectada. (6) bebedero. (7) boquilla. (8) cabezal de cilindro. (9) banda calefactora. (10) torpedo. (11) cilindro de plastificación. (12) canal de llenado. (13) expulsor de mazarota.

En el proceso de inyección, durante el llenado del molde, el flujo no sigue la Ley de Newton, la cual afirma que la fluidez de un fluido es proporcional a la presión aplicada, debido a que los plásticos siguen un comportamiento muy característico. Su capacidad de fluidez tiene una proporcionalidad doble y aún mayor, con la diferencia de presión, la cual requiere un suministro elevado de energía.

El flujo de material llena la cavidad del molde, como puede verse en la Fig. 5.7., y empieza a solidificar al contacto con la pared, debido a la disipación térmica. El centro de la masa fluyendo permanece en estado plástico durante el máximo tiempo, lo cual permite un flujo posterior del material sometido a presión, para compensar las contracciones de volumen que se presentan en el curso del proceso de solidificación.

El flujo dentro del molde se configura en forma de crecimiento

esférico y no sigue el contorno de las paredes. La formación de la pieza en el proceso de inyección se inicia desde dentro hacia afuera.

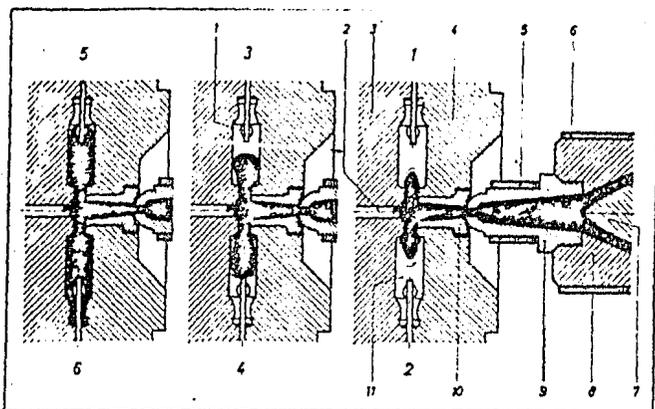


Fig. 5.7. Representación esquemática del llenado del molde en el proceso de inyección. (Materia termoplástica.) Las posiciones (1) a (6) ilustran el llenado del molde. (1) elemento metálico inserto (hoja de destornillador). (2) expulsor de mazarota. (3) elemento posterior del molde. (4) elemento anterior del molde. (5) banda calefactora boquilla. (6) banda calefactora cilindro. (7) torpedo. (8) cilindro de plastificación. (9) boquilla. (10) bebedero. (11) cavidad del molde.

En el curso de la plastificación (disgregación) del material, este pasa por tres estados físicos distintos, cuyas fronteras intermedias no se han podido delimitar. El material se encuentra en estado sólido en su forma de suministro, hasta que llega al cilindro de plastificación. El estado termoelástico, se inicia cuando el material alcanza la temperatura de reblandecimiento y se caracteriza por una reducción de las fuerzas de cohesión intermoleculares y un descenso en la resistencia del material debido a la disgregación de la estructura molecular. Al progresar la influencia térmica, se hace cada vez mayor la flexibilidad de los elementos de unión intermoleculares hasta que se pierden por completo al sobrepasar la zona de temperatura de fluidez, y se hace posible un desplazamiento de la macromolécula, llegando

en este punto a su estado final de elaboración llamado temoplástico.

La plastificación empieza tras la entrada del granulado en la cámara interior del cilindro, conjuntamente con una compresión que se produce por la influencia de la presión del émbolo, en el curso del movimiento de avance. Tiene lugar entonces un intercambio de energía en forma de calor desde las superficies interiores del cilindro de plastificación que están en contacto con el material.

La conductividad térmica de los materiales Termoplásticos es extraordinariamente baja, situándose, según el tipo de material de 300 a 400 veces por abajo de los valores para metales.

Debido a las malas propiedades de conductividad térmica del material, existe siempre el peligro de un sobrecalentamiento de la capa expuesta directamente a la superficie calefactora, mientras que las partes internas no han reblandecido aún. En máquinas con cilindro horizontal, el ángulo de talud condicionado por la caída de material, provoca adicionalmente un flujo de material.

Las máquinas con cilindro vertical, proporcionan un flujo más uniforme, porque el granulado no forma apenas talud en su caída.

Para obtener en la boquilla un flujo de material de viscosidad uniforme, que permita también la producción sin problemas en piezas de fino espesor, la condición es que la mezcla sea lo más homogénea posible en el momento del disparo.

En los últimos años, se han equipado con éxito en Europa, máquinas de inyección con dispositivos de plastificación que trabajan según el principio del husillo extrusor.

El desarrollo reciente, ha confirmado como método preferido de plastificación, a aquel que se basa en el principio del husillo extrusor, a causa de sus ventajas sobre los otros sistemas de plastificación. Dichas ventajas, se mencionan en el tema de extrusión.

5.4.2. MAQUINAS DE INYECCION

Para el conformado de materiales Termoplásticos por el proceso de inyección, se dispone actualmente de una gran variedad de máquinas, que se diferencian, no tanto por su concepción constructiva básica con dicionada por el proceso, sino por variantes en el diseño de sus elementos de montaje; así como por sus sistemas de accionamiento.

Las máquinas de inyección se caracterizan por dos componentes principales: la Unidad de Cierre y la Unidad de Inyección.

La unidad inyectora abarca el dispositivo de aportación de material, los elementos mecánicos para la plastificación del mismo y el accionamiento del émbolo inyector.

La unidad de cierre efectúa los movimientos de apertura y cierre del molde de inyección.

El tipo de construcción más corriente, en las máquinas de inyección, es el horizontal; en él, las unidades de cierre e inyección trabajan horizontalmente en alineación axial.

En las máquinas verticales que se desarrollaron principalmente para funcionamiento manual (inserción de elementos metálicos y similares), se conserva también el trabajo axial de las unidades de inyección y de cierre. Sin embargo, existen variantes en que la unidad inyectora está dispuesta perpendicularmente respecto al eje de la unidad de cierre; el desvío de la corriente de material plastificado hacia la boquilla alineada axialmente con la unidad de cierre, se efectúa dentro del cilindro especial de plastificación. También hay tipos especiales de máquinas de inyección para usos particulares; por ejemplo, las de tipo revólver automáticas para alta producción.

Las modernas máquinas de inyección funcionan de tres maneras: manual, semiautomática y automática.

En el trabajo manual, todas las funciones son dirigidas por los operarios. En el trabajo semiautomático, un impulso de mando dispara el ciclo total de trabajo; la duración de las diversas funciones queda determinada por relevadores. En operación automática, un impulso de mando introduce el ciclo de trabajo, que se repite entonces automáticamente. El cambio de una forma de trabajo a otro se efectúa, generalmente, mediante conmutador.

5.4.3. UNIDAD INYECTORA

La función de la unidad inyectora, consiste en introducir en los canales de flujo del molde, una cantidad de material previamente determinada, la cual corresponde al volumen de la cavidad o cavidades del molde y disgregada mediante alguno de los sistemas de plastificación que más adelante se mencionan.

La amplia gama de materiales Termoplásticos disponibles y sus diversas propiedades de elaboración, hacen problemático encontrar un diseño para una máquina universal, bajo el aspecto de las diversas tareas de producción, cuyo rendimiento no sea menor al de las máquinas especiales para un sólo uso.

La velocidad de inyección es muy variable. Las piezas con inserciones metálicas, requieren bajas velocidades, ya que las inserciones no pueden ser fijadas firmemente dentro del molde y pueden cambiar su posición bajo la influencia del flujo de material que penetra en la cavidad. También la producción de piezas con paredes extremadamente delgadas, exige un llenado lento para poder compensar los fenómenos negativos que se presentan en el curso de la solidificación.

En lo que se refiere a la presión, las presiones máximas específicas se obtienen utilizando pequeños diámetros de émbolo con reducido volumen de inyección. De este modo se procesan principalmente, materiales como; polivinil-carbazol, politrifluorcloretileno y PVC rígido; es decir, materiales con un campo de disgregación relativamente es

trecho.

Por el contrario, para procesar materiales de mayor fluidez, como el polietileno, se eligen cilindros de inyección de gran volumen, utilizando diámetros de émbolo grandes, de este modo, las presiones específicas son bajas.

La unidad inyectora, tiene que ofrecer, además, la posibilidad de compensar mediante manipulación de compresión las contracciones de volumen que se presentan en la pieza durante la solidificación. En la práctica se deja actuar el pistón de inyección durante un tiempo determinado sobre el material disgregado, bajo la presión específica correspondiente, con el objeto de poder equilibrar mediante nueva aportación de material plastificado, la contracción de volumen que se presenta durante el enfriamiento, lo cual se manifiesta por la formación de depresiones y cavidades (ver tabla 5.4.1.) .

Al inyectar piezas con paredes gruesas, es necesario mantener bajo compresión el material durante un tiempo preciso, para que el proceso de solidificación por enfriamiento, esté ya tan avanzado que no sea posible una deformación de la pieza.

Las máquinas modernas tienen separada la unidad inyectora de la de cierre, de esta forma, no sólo pueden combinarse unidades inyectoras de diverso rendimiento con la unidad de cierre, sino que puede modificarse el movimiento de apertura del molde respecto al eje.

5.4.4. CILINDRO DE PLASTIFICACION

La tarea principal del cilindro de plastificación consiste en disgregar en una masa lo más homogénea posible, con reducidas diferencias de temperatura el material dosificado.

En un cilindro bien construido, la disgregación del material

TABLA 5.4.1. MATERIALES PARA INYECCION Y SUS PRINCIPALES CARACTERISTICAS

NOMBRE, ASPECTO Y TEMPERATURA*	FORMA Y COLOR DEL SUMINISTRO	PROPIEDADES CONTRACCION*	CARACTERISTICAS Y PRINCIPALES APLICACIONES
ACETATO DE CELULOSA (CA). ASEPCTO: CORNEO. TEMP.: 60-85 °C.	MASA GRANULADA. COLOR: TRANSPARENTE. INCOLORO Y COLOREADO.	$\rho=1,3 \text{ KG/CM}^3$ A 20 °C. ESTABLE ANTE PRODUCTOS QUIMICOS. CONTRACCION 0,5-0,7%	APROPIADO PARA USAR INSERCCIONES. ARTICULOS: PEINES, MANGOS, JUGUETES, TACONES PARA CALZADO, ETC.
ACETOBUTIRATO DE CELULOSA (CAB). ASPECTO: CORNEO TEMPERATURA 70 °C.	GRANOS TRANSPARENTES Y OPACOS DE TODAS TONALIDADES.	$\rho=1.8 \text{ KG/CM}^3$ A 20 °C. ESTABLE ANTE ACIDOS Y ALCALIS DEBILES. CONTRACCION 0,4-0,7%	RESISTE BIEN EL CALOR Y LA HUMEDAD. ARTICULOS: ASAS PARA MALETAS, MANGOS, TABLEROS DE MANDO, ETC.
ETILCELULOSA (EC) ASPECTO: CORNEO TEMPERATURA 66 °C.	MASAS GRANULADAS EN COLORES CLAROS, OPACOS Y OSCUROS.	ESTABLE FRENTE A ACIDOS Y ALCALIS DEBILES. CONTRACCION 0,4-0,7%	ALTA TENACIDAD Y REDUCIDA ESTABILIDAD DE FORMA ANTE EL CALOR. ARTICULOS: BOBINAS PARA HILATURAS, AURICULARES TELEFONICOS, ETC.
POLIESTIRENO (NORMAL PS1) TEMP.: 60-75 °C.	MASAS COLOREADAS UNIFORMES DE FORMA CILINDRICA O ESFERICA DE TONOS DESDE TRANSPARENTE HASTA OPACO.	$\rho=1,05 \text{ KG/CM}^3$ A 20 °C ESTABLE ANTE ACIDOS Y ALCALIS. CONTRACCION 0,4-0,6%	GRAN RIGIDEZ Y ESTABILIDAD DIMENSIONAL. ARTICULOS DOMESTICOS, BOTES Y PEQUEÑOS RECIPIENTES.
POLIESTIRENO (ANTICALORICO, PS2) TEMP. 70-95 °C.	GRANZA TRANSPARENTE Y OPACA EN CUALQUIER TONALIDAD, COLOR NATURAL GENERALMENTE ALGO AMARILLENTO.	ESTABLE FRENTE A ACIDOS Y ALCALIS DEBILES. CONTRACCION 0,5-0,6%	ESTABILIDAD TERMICA Y DIMENSIONAL REGULARES. ARTICULOS: VAJILLAS, CUBIERTOS, ETC.
POLIESTIRENO (ANTICHOQUE, PS3) TEMP.: 60-70 °C.	GRANZA EN COLORES OPACOS.	ESTABLE FRENTE A ACIDOS Y ALCALIS DEBILES CONTRACCION 0,4-0,6%	ALTA RIGIDEZ, DUREZA Y TENACIDAD; RESISTENTE AL CHOQUE Y ES BUEN DIELECTRICO. ARTICULOS: GABINETES PARA RADIO, TELEVISION Y TELEFONO; CAJAS DE INSTALACIONES, CUBIERTOS, VASOS Y JUGUETES.

COPOLIMEROS ESTIRENO-ACRILONITRILLO (SAN) TEMPERATURA 85 °C	GRANULADO INCOLORO. TONOS TRANSPARENTES Y OPACOS.	ESTABLE EN AGUA CALIENTE, DISOLVENTES ORGANICOS, ACIDOS Y ALCALIS DEBILES. CONTRACCION 0,4-0,6%	POSEE DUREZA Y TENACIDAD ALTOS. ARTICULOS: VAJILLAS, CAJAS Y PIEZAS DIVERSAS DE APARATOS DE OFICINA Y DOMESTICOS
COPOLIMEROS ACRILONITRILLO BUTADIENO ESTIRENO (ABS) TEMP.: 60-80 °C.	GRANZA EN TONOS OPACOS. COLOR NATURAL: AMARILLO CREMOSO, OPACO.	ESTABLE ANTE ACIDOS Y ALCALIS DEBILES. CONTRACCION 0,4-0,6%	POSEE GRAN RESISTENCIA DE TRACCION, RIGIDEZ, DUREZA Y TIENE BUENAS PROPIEDADES DIELECTRICAS. ARTICULOS: PIEZAS PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, MAQUINAS DE OFICINA, TELEFONOS, JUGUETES, ETC.
POLIMETIL-METACRILATO (PMMA). TEMP.: 70-90 °C.	MASAS GRANULADAS TRANSPARENTES EN TODAS TONALIDADES	$\rho=1.8 \text{ KG/CM}^3$ A 20 °C ESTABLE ANTE ACIDOS Y ALCALIS DEBILES. CONTRACCION 0,4-0,7%	ALTA RESISTENCIA MECANICA, DUREZA Y ES TRANSPARENTE COMO EL VIDRIO. ARTICULOS: PARA OPTICA E ILUMINACION, PLUMAS, CARATULAS PARA RELOJES, TECLAS PARA MAQUINAS DE ESCRIBIR E INSTRUMENTOS MUSICALES, CARLINGAS PARA AVIACION Y ESCALAS.
POLIVINIL-CARBAZOL (PVZ) TEMPERATURA 170 °C	MASA GRANULADA Y GRANZA COLORES NATURALES: GRIS A VERDE OLIVA, OPACO.	ESTABLE ANTE ACIDOS Y ALCALIS. INESTABLE FRENTE A BENZOL. CONTRACCION 0,6%	POSEE ALTA ESTABILIDAD TERMICA, TIENE DESTACADAS PROPIEDADES DIELECTRICAS, ES FRAGIL. ARTICULOS: PIEZAS DE AISLAMIENTO ELECTRICO SOMETIDAS A ALTAS CARGAS TERMICAS.
POLICARBONATO (PC) TEMP. 110-135 °C	GRANZA DE GRANO UNIFORME. COLORES NATURALES: TRANSPARENTES-INCOLORO AMARILLENTO Y COLOREADO.	$\rho=1,2 \text{ KG/CM}^3$ A 20 °C. ESTABLE ANTE ACIDOS DEBILES. INESTABLE ANTE ALCALIS CONCENTRADOS. CONTRACCION 0,4-0,8%	ALTA RESISTENCIA MECANICA AUN BAJO ELEVADAS TEMPERATURAS, DIMENSIONALMENTE ESTABLE. ARTICULOS: PARA LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, DE ILUMINACION Y ELECTRICA; APARATOS MEDICOS, CASCOS PROTECTORES, ETC.

* Para la construcción de Moldes hay que considerar una contracción de este porcentaje.

es uniforme, sin que se formen restos sometidos durante un tiempo prolongado al calor. Los canales de flujo están configurados de forma que la masa fluya en todos los puntos.

Al diseñar tales cilindros, se tiende a una solución que ofrezca la mínima resistencia posible al flujo de material. Un cilindro de éste tipo permite un llenado del molde más rápido para una presión dada del émbolo, influyendo positivamente en las propiedades de la pieza inyectada y aportando así, una producción rentable.

El cilindro de plastificación es calentado normalmente mediante elementos calefactores eléctricos fijados sobre su superficie exterior. El calor se transmite a los elementos internos del cilindro a través de sus nervios de soporte. La magnitud de la transmisión térmica depende del tamaño de la superficie de contacto entre los nervios y la pared del cilindro calefactor.

Para eliminar los problemas que durante la plastificación se presentaban, en lo que se refiere a un mezclado y calentamiento uniformes, se sustituyó el torpedo común por un torpedo llamado rotatorio, Fig. 5.8. Este sistema de plastificación se ensayó primero en diversas variantes constructivas; los resultados obtenidos fueron excelentes, registrándose una distribución uniforme de temperatura, un vaciado rápido del cilindro; así como un aumento general de la capacidad de disgregación en comparación con cilindros de torpedos convencionales.

El rendimiento de una máquina inyectora queda determinado por la capacidad de su cilindro de plastificación. Es por ello normal que el desarrollo de los elementos mecánicos, no esté enfocado solamente al proceso de plastificación, sino también, en un movimiento del material para conseguir una mezcla homogénea, durante el proceso de plastificación.

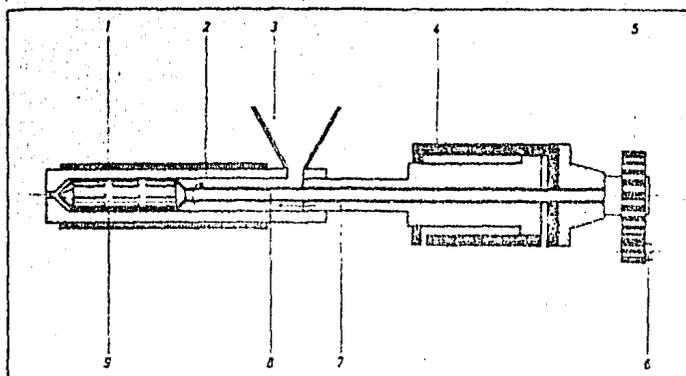


Fig. 5.8. Esquema de un torpedo de rotación en el cilindro de plastificación de una máquina inyectora (DU PONT).

(1) elementos calefactores. (2) cilindro. (3) tolva de material. (4) cilindro hidráulico. (5) transmisión de fuerza motriz al árbol de torpedo, (6) rueda de arrastre de engranaje reductor. (7) pistón angular de inyección. (8) árbol de torpedo. (9) torpedo de rotación.

5.4.5. SISTEMAS DE PLASTIFICACION

Los sistemas de plastificación que utilizan las máquinas de inyección, son: plastificación mediante émbolo, plastificación mediante husillo y plastificación mediante émbolo-husillo.

La plastificación por émbolo se basa en el principio de ablandar el material por separado hasta dejarlo listo para que entre en juego la unidad inyectora mediante un sistema de canales.

Plastificación por husillo, éste sistema, emplea el mismo principio del extrusor. La cantidad de material necesario para llenar la cavidad del molde, se controla mediante una válvula rotatoria, colocada poco antes de la boquilla.

Plastificación por émbolo-husillo, es una combinación de los

dos sistemas antes mencionados.

5.4.6. BOQUILLA DE INYECCION

Mediante las boquillas de inyección se establece la conexión con el molde, para dirigir el flujo de material plastificado al bebedero. Análogamente a la diversidad de posibilidades en las técnicas de llenado, se dispone de boquillas de diversas construcciones. Las boquillas se fijan a la parte anterior del cilindro de inyección mediante rosca o mediante un perfil de bayoneta. Este último ofrece la ventaja de un rápido cambio de boquilla, y permite en muchos casos el desmontaje del émbolo hacia adelante.

El diámetro del canal de flujo en la boquilla depende del volumen de la cavidad del molde. En las piezas con peso reducido (20 a 30 gr), el orificio de la boquilla tiene que poseer un diámetro de unos 3 a 3,5 mm. Para moldes mayores y piezas con diverso espesor de pared pueden utilizarse boquillas con diámetro hasta de 6 mm. Algunos métodos especiales de elaboración y las piezas de grueso espesor, exigen muchas veces mayores orificios de la boquilla para poder compensar contracciones de volumen a través del eje del canal de llenado que conserva su consistencia plástica durante el máximo tiempo, Fig. 5.9 y 10.

5.4.7. UNIDAD DE CIERRE

La unidad de cierre tiene la misión de efectuar el movimiento hacia la posición de cierre y apertura del molde dentro del ciclo total de trabajo de la máquina.

Los moldes, constan en su mayoría de dos mitades que se unen y separan por el plano de separación. La mitad correspondiente al bebedero está unida a la placa portamolde lado boquilla, que generalmente está fija o tiene escaso movimiento. La mitad del molde del lado del expulsor efectúa en cambio, juntamente con la placa portamolde lado ex

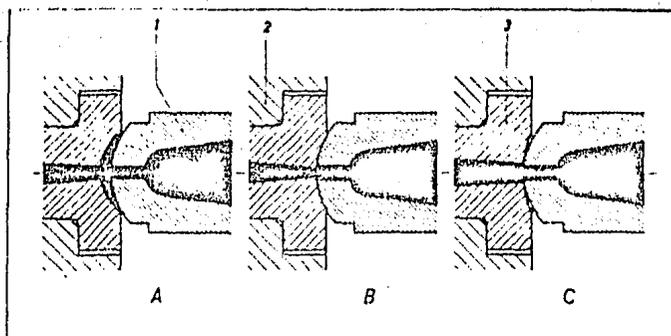


Fig. 5.9. Representación esquemática de la utilización de boquillas convexas.

Esquema A falso. El radio de la convexidad es mayor que el radio de la concavidad del bebedero. Esquema B falso. El orificio de la boquilla tiene un diámetro mayor que el canal del bebedero. Esquema C correcto. El radio de la boquilla es menor que el radio de la concavidad del bebedero. El diámetro del canal del bebedero es mayor que el de la boquilla. (1) boquilla. (2) cuerpo delantero de fijación del molde. (3) bebedero.

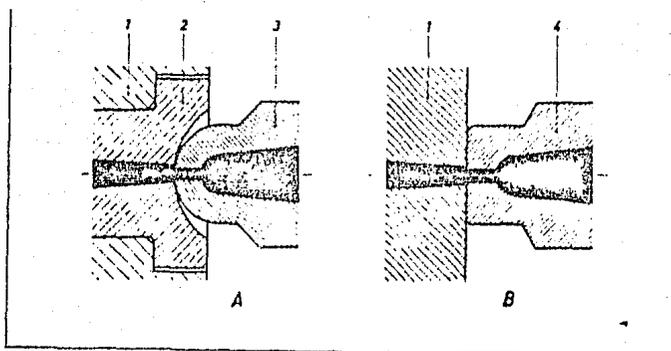


Fig. 5.10. Confrontación esquemática de boquilla convexa y plana. A, boquilla convexa. B, boquilla plana.

(1) cuerpo delantero de fijación del molde. (2) bebedero. (3) boquilla convexa. (4) boquilla plana.

pulsor al que va unida, los movimientos de apertura y cierre.

Fundamentalmente existen dos sistemas de accionamiento de la unidad de cierre.

a). Sistema por arrastre de fuerza. El cierre y apertura del molde se produce exclusivamente con ayuda de uno o varios cilindros hidráulicos.

b). Sistema de arrastre de forma accionado hidráulica o electrónicamente. La apertura y cierre del molde se realiza mediante elementos de cierre mecánicos autobloqueables.

Con ambos sistemas se produce al final del movimiento de cierre, una energía que mantiene al molde cerrado actuando contra la fuerza de apertura (presión interna). Cualquiera que sea la construcción de la unidad de cierre de una máquina, proporciona siempre un determinado valor de presión de cierre. Partiendo de aquí, hay que observar siempre que la fuerza de apertura del molde, resultante de la presión interna, sea siempre menor que la presión de cierre.

Para absorber las altas presiones internas de llenado que se producen durante la operación de inyección y evitar que las mitades del molde se separen por el plano de separación e impedir la salida de material o formación de gruesas rebabas, debe tenerse mucho cuidado al seleccionar la unidad de cierre.

Las construcciones con arrastre de forma emplean, en general, sistemas de palancas acodadas o extensoras, sencillas o dobles. El bloque es aquí tanto más rígido cuantos menos elementos intermedios contenga la construcción. Se ha visto en la práctica, que la rigidez en el cierre del molde puede aumentarse considerablemente, cuanto más se renuncie a miembros intermedios móviles.

El accionamiento hidráulico del sistema de cierre con arrastre de forma ofrece la ventaja de la posibilidad de regulación continua de

la velocidad de apertura y de cierre. Como la cantidad de aceite a presión que actúa sobre el émbolo en el cilindro hidráulico determina la velocidad de movimiento del vástago y del émbolo, es posible la variación de los movimientos de apertura y cierre, según requerimientos de la producción, mediante válvulas de estrangulación.

En las siguientes páginas, incluimos un modelo de una máquina de inyección automática para Termoplásticos y un resumen de sus principales cualidades.

5.4.8. VENTAJAS DEL PROCESO

Las principales ventajas del proceso de inyección residen en el ahorro de material, espacio de fabricación y tiempo de producción.

Pese a los costos de instalación, el proceso ofrece considerables ventajas económicas a partir de series superiores a mil piezas.

Otras ventajas son:

a). Máxima exactitud de forma y dimensiones de las piezas inyectadas.

b). Posibilidades de formación de orificios, refuerzos, ajustes, marcas; así como la inserción de elementos de otros materiales, con lo que la producción se hace completa y las piezas quedan prácticamente listas para el montaje.

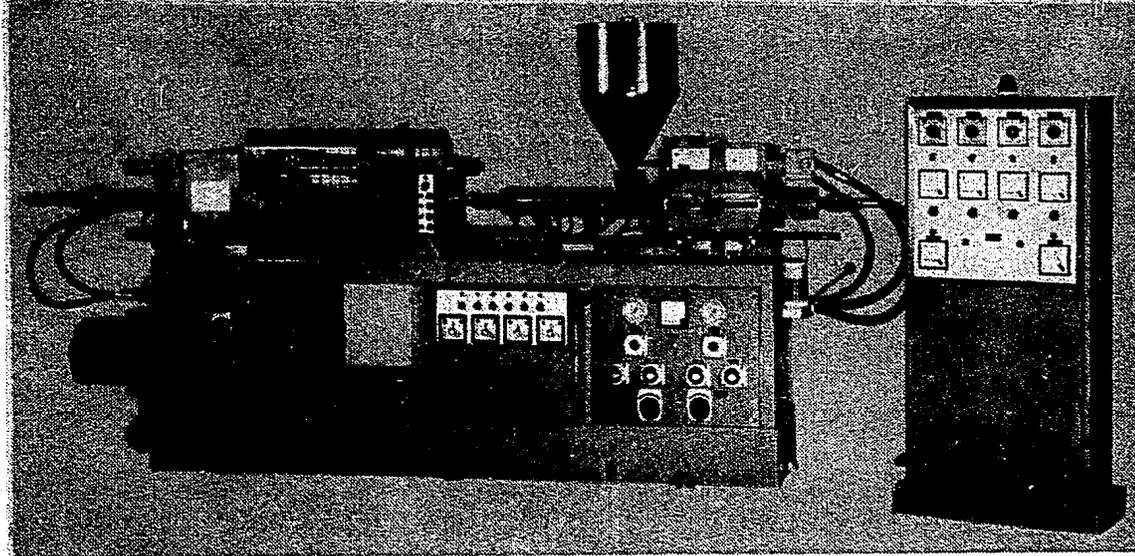
c). Las piezas inyectadas poseen superficies limpias y lisas.

d). Rápida producción de gran cantidad de piezas en moldes duraderos con una o varias cavidades, esto permite plazos de entrega cortos y una capacidad de almacenaje reducida.

e). Gran aprovechamiento del material empleado. En muchos casos puede efectuarse la trituración de las mazarotas y mezclar de nuevo la molienda con el granulado fresco.

f). La pieza inyectada queda determinada por el molde en todos sus detalles superficiales en cuanto a forma y dimensiones.

INYECTORA AUTOMATICA PARA TERMOPLASTICOS



DESCRIPCION

La inyectora hidráulica automática METEOR-40, es de construcción sencilla y robusta, sus movimientos son rápidos pero no bruscos, y cuenta con los equipos necesarios para satisfacer las modernas técnicas de moldeo por inyección.

CARACTERISTICAS DE INTERES EN ESTE MODELO:

- ④ Cierre de doble rodillera equilibrada, rápido, potente y guiado por cuatro columnas bien dimensionadas, que asegura la perfecta unión del molde.
- ④ Juego doble de bielas equilibrado y robusto, dispuesto en el sentido vertical para facilitar el acceso a los expulsores.
- ④ Acción de la fuerza de cierre repartida en las proximidades de las barras.
- ④ Columnas tratadas, rectificadas y dur-cromadas.
- ④ Carrera de apertura muy holgada para el moldeo de piezas profundas.
- ④ Espesor del molde independiente de la carrera de apertura.
- ④ Plastificación y dosificación del material independiente del movimiento de cierre.
- ④ Husillo universal estudiado para la transformación de todos los termoplásticos.
- ④ Limitación del par del husillo para su seguridad.
- ④ Velocidad de inyección elevada, que en moldeos difíciles, elimina el recurso de subir temperaturas.
- ④ Tolva de acero inoxidable, basculante para su descarga y limpieza.
- ④ Refrigeración del aceite mediante intercambiador de calor de alto rendimiento.
- ④ Cubeta de distribución de agua para la refrigeración.
- ④ Producción óptima por el empleo de velocidades importantes en los movimientos.
- ④ Armario independiente de la máquina, con todos los elementos de control para la marcha, paro y calefacción.
- ④ Reguladores de temperatura y tiempo completamente electrónicos.
- ④ Armario de maniobra y caja de pulsadores en la parte central de la máquina.
- ④ Todos los elementos del circuito hidráulico están en lugares muy accesibles en el interior de la bancada.

meteor/40

Clasificación EUROMAP 60/35 (1)

PLASTIFICADOR

Diámetro del husillo mm.	22	26 (5)	30
Presión de inyección máxima Kp/cm. ²	1800	1300	1000
Velocidad de inyección máxima cm. ³ /sg.	32	45	60
Carrera del husillo máxima mm.	85	85	85
Velocidad del husillo máxima rpm	300	300	300
Número de zonas de calefacción	3+1	3+1	3+1

INYECCION

Capacidad de plastificación Kg/h. (2)	22	30	40
Volumen máximo de la cámara de inyección cm. ³	32	45	60
Volumen inyectable máximo cm. ³	26	36	48
Peso inyectable máximo gr. (2)	28	40	51
Capacidad de la tolva Kg.	20	20	20
Fuerza de apoyo boquilla Kp.	3200	3200	3200

CIERRE

Fuerza de cierre Tn.	35	35	35
Carrera del plato móvil mm.	200	200	200
Espesor máximo del molde mm.	240	240	240
Espesor mínimo del molde mm.	70	70	70
Dimensiones máximas del molde mm.	200×310	200×310	200×310
Dimensiones de los platos mm.	310×310	310×310	310×310
Paso entre columnas mm.	202×202	202×202	202×202
Distancia máxima entre platos mm.	440	440	440
Superficie frontal inyectable máxima cm. ² (3)	125	125	125
Superficie fiscal de un plato dm. ²	9,2	9,2	9,2

VELOCIDADES

Número de ciclos en vacío 1/h. (4)	2880	2880	2880
Velocidad de cierre máxima cm/min.	2900	2900	2900
Velocidad de apertura máxima cm/min.	4350	4350	4350

CARACTERISTICAS GENERALES

Presión del circuito Kp/cm. ²	120	120	120
Potencia del motor Kw.	7,5	7,5	7,5
Potencia de calefacción Kw.	2,15	2,15	2,15
Capacidad del depósito en L.	175	175	175
Peso neto de la máquina Kg.	1300	1300	1300

(1) Volumen de inyección en cm.³ referido a 1.050 Kp/cm.² de presión de inyección / Fuerza de cierre en tons.

(2) Referido a poliestireno y sin contrapresión durante la carga.

(3) Según material y molde

(4) Cada ciclo comprende movimientos de apertura y cierre con carrera de 125 mm., carrera de boquilla a 20 mm. y temporizadores a cero.

(5) Husillo de diámetro standard.

Reservado el derecho de efectuar modificaciones como consecuencia del desarrollo técnico.

5.5. SOPLADO

5.5.1. DESCRIPCION

Este método se emplea para fabricar recipientes y botellas; de las más diversas capacidades, formas y colores. Los materiales empleados, son exclusivamente Termoplásticos y de ellos, algunas familias, como las del polietileno destacan por la impresionante cantidad de artículos huecos fabricados por éste método.

Existen dos métodos generales para obtener piezas huecas por soplado:

- a). Extrusión-soplado
- b). Inyección-soplado.

5.5.2. EXTRUSION-SOPLADO

Este es el método de mayor aplicación y consiste en el soplado de artículos huecos a partir de un semielaborado de extrusión. El aire a presión se inyecta a través de un mandril, una boquilla o unos canales especiales.

Una instalación moderna de moldeo de artículos huecos por extrusión y soplado consta de tres etapas:

- a). Preparación de la pieza en bruto por extrusión.
- b). Gobierno del cabezal y de los moldes.
- c). Moldeo por soplado.

En la Fig. 5.11, está representado un cabezal angular (5) acoplado a un molde de soplado. La pieza tubular en bruto (2), sale de la hilera perfiladora del cabezal y pasa a la cavidad formada por las dos mitades del molde abierto. El mandril (7), es empujado hacia abajo por la masa que inyecta el husillo y comprime los muelles del plato

(6). La calefacción se efectúa por medio de unos calentadores eléctricos instalados en el cabezal, y para refrigerar la pieza se hace circular agua a través de los canales (3).

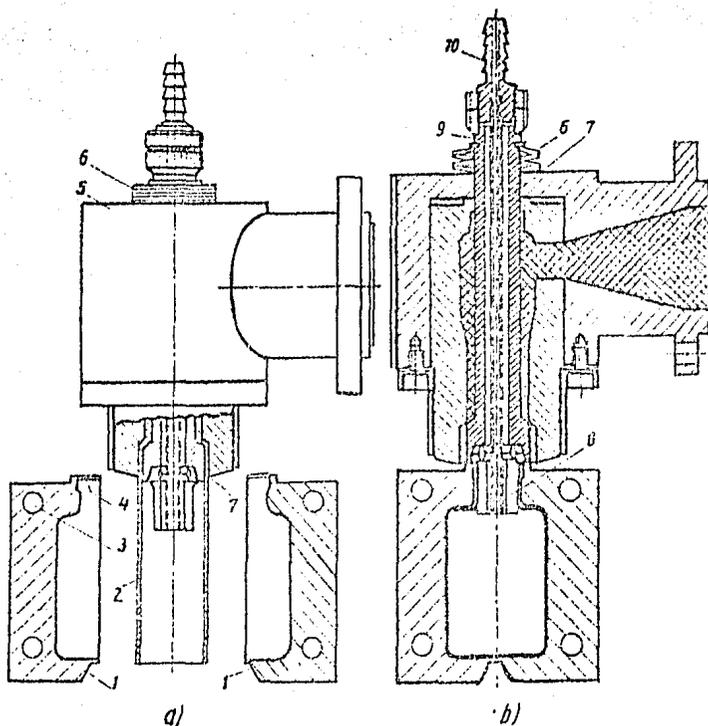


FIG. 5.11. Cabezal angular:
a, extrusión de la pieza en bruto; b, soplado y refrigeración del artículo.

Cuando la pieza tubular alcanza la longitud necesaria entra en

juego el mecanismo de cierre que une a ambas mitades del molde, cortando el tubo con las aristas afiladas (4). A continuación se aplica aire a presión por la válvula (10) y el tubo (9), para así transformar la pieza intermedia recalentada en definitiva, obligándola a entrar en contacto íntimo con el molde. El núcleo (8) sirve para moldear el cuello de la botella. Durante el moldeo propiamente dicho, se detiene el husillo y se alivia la presión en el cabezal, en consecuencia, bajo la acción de los muelles (6), el mandril (7) sube y cierra la apertura anular del cabezal para evitar fugas de masa durante el moldeo. El tubo (9), el núcleo y el mandril se refrigeran con aire.

En la Fig. 5.12, se muestra el esquema básico de una instalación automática de moldeo por soplado, apropiada para fabricar artículos huecos de 100 a 1000 centímetros cúbicos. El material plastificado es transportado por el husillo (14) al canal (11) ó (12), según la posición de la llave (10). En el esquema, la llave abre el paso hacia el canal (12) que comunica con un distribuidor provisto de tres cabezales (3) con hilera anular.

Tan pronto el extremo inferior de la pieza tubular alcanza el nivel del fotorelevador (5), éste último conecta la válvula neumática (7). En consecuencia, la válvula de distribución (8) se desplaza hacia la derecha y la llave (10) abre el paso hacia el canal (11) y cierra el canal (12). Al mismo tiempo, la válvula de distribución hace entrar en juego el interruptor de fin de carrera (9), que a su vez, conecta los relevadores de tiempo (17) y (18) y la válvula de aire (20), unida al cilindro (1) que cierra el molde (2). Simultáneamente se inyecta aire a presión a través de la válvula (21) y la boquilla (4) y así se transforma la pieza intermedia en la definitiva.

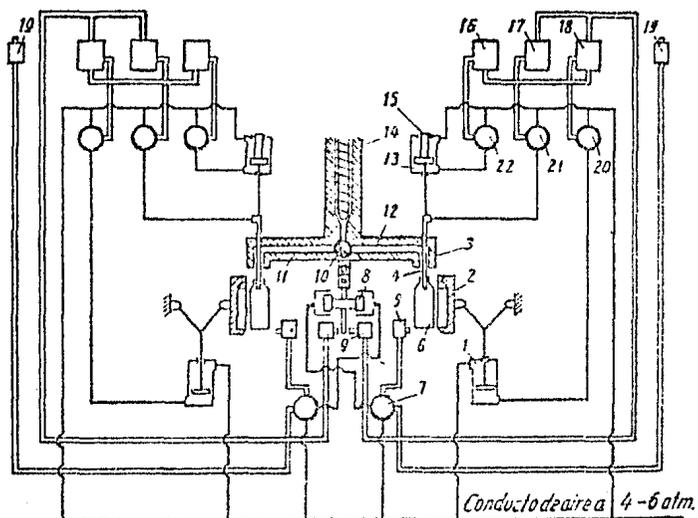


FIG. 5.12. Esquema de mando de una instalación automática de molde por soplado.

Transcurrido el tiempo preciso para la refrigeración del artículo acabado, entra en juego el relevador de tiempo (18). Este acciona la válvula de aire (20), que abre el molde y deja salir el aire de la cavidad inferior del cilindro (1) al exterior. Simultáneamente, el relevador (17) cierra la válvula (21), cerrando así el paso del aire hacia la boquilla (4). El relevador (18) conecta también el relevador de tiempo (16) y la válvula de aire (22) que da paso al aire hacia la cavidad inferior (13). En consecuencia, asciende el émbolo (15) y la boquilla, dejando el artículo libre para ser expulsado del molde al recipiente receptor. Seguidamente, el relevador (16) remite el émbolo

(15) y la boquilla (4) a su posición inicial.

El mecanismo de mando de los moldes y la llave (10) están conectados a los interruptores de fin de carrera (9). El proceso es idéntico, cuando el material circula por el canal (11).

La máquina es accionada con aire a presión que varía entre 392 y 588 kPa.

Cada ciclo al fabricar artículos de 100 centímetros cúbicos y 0,016 kg de peso, dura aproximadamente 22 segundos; 10 para la extrusión de la pieza, 6 para la refrigeración, 3,5 para abrir y cerrar el molde, 1 para la descarga de la pieza acabada y 1,5 se reserva para nivelar la irregularidad de extrusión. Este tiempo puede ser reducido instalando máquinas de extrusión de mayor producción e intensificando la refrigeración de los artículos en los moldes.

5.5.3. INYECCION-SOPLADO

La pieza en bruto se obtiene a través de un molde con ayuda de un mandril.

En la Fig. 5.13, se muestra el esquema a seguir para el moldeo de artículos huecos por el procedimiento inyección-soplado. En la posición A, las mitades (1) del molde que realizan la parte fileteada de la pieza están cerradas. El mandril (2) está introducido en el molde (3) y la pieza en bruto (5), se obtiene inyectando material plastificado a través del bebedero (4). A continuación, el mandril (2), con las mitades (1) se saca del molde (3) (posición B), y se introduce en el molde de soplado (6), previamente cerrado (posición C). En la posición D, se obtiene el artículo soplado (7) (aplicando aire a presión a través de los canales del mandril), y en la posición E, se abre (6) y (1) y el mandril expulsa el artículo acabado (7).

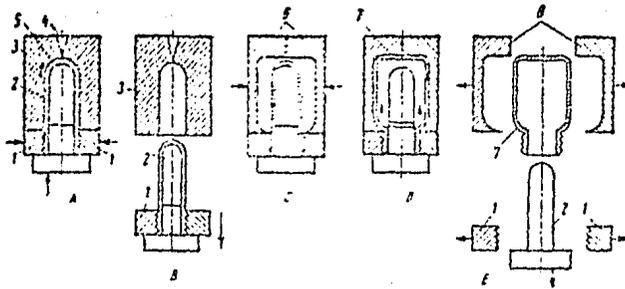


FIG. 5.33. Esquema de moldeo de envases por inyección y soplado.

Para extraer el artículo acabado del mandril, se emplean dispositivos de dos clases. En el primer caso, una vez finalizado el soplado del artículo, el mandril (1) se saca con el molde (2) cerrado, que luego se abre para expulsar el artículo (3), al correspondiente recipiente de recepción. En el segundo caso, primero se abre el molde (2) y luego se extrae de (1), con el extractor (4).

5.5.4. CABEZALES

Para fabricar artículos de un volumen superior a 50 litros, se emplean grupos de husillo-émbolo, en los cuales las extrusoras de husillo van equipadas de una antecámara de émbolo o acumulador.

Los cabezales destinados a la extrusión de piezas tubulares se clasifican en: horizontales y verticales; unidireccionales y angulares; de chorro único y múltiples, y de hilera anular regulable y fija.

La clasificación se hace considerando primero, la dirección de la alimentación, la cual puede ser lateral o central. Cuando la direc

ción es lateral, se controla mejor el espesor de las paredes del artículo.

5.5.5. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

Resulta difícil conseguir un flujo uniforme en la sección anular del cabezal, debido a la diferencia de temperaturas y presiones a que es sometido el material en los flujos que atraviesan la cavidad formada entre los radios interior y exterior. Se observa también cierta tendencia de la pieza tubular a doblarse, quedando las señales de las juntas formadas al unirse los diferentes flujos de material. Además, resulta difícil instalar el mandril en el cabezal. En consecuencia, los cabezales con alimentación lateral no se recomiendan para la fabricación de piezas en bruto estrictamente cilíndricas o cónicas.

Con la alimentación central, el flujo de material es uniforme en toda la sección anular del cabezal, factor muy importante cuando se desea obtener piezas tubulares rectas y de espesor de pared uniforme. Además, la masa al entrar en el cabezal, no encuentra obstáculo alguno que provoque la formación de flujos en forma de espiral. No obstante las ventajas indicadas, resulta difícil regular el espesor de la pieza y también quedan huellas de los nervios de refuerzo del mandril.

5.6. AGREGADO Y PREFORMADO

5.6.1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO

La mayoría de los materiales Termoplásticos se venden en forma granular o en polvo, y por tanto, se mezclan en seco.

Los materiales Termofraguantes, por otra parte, se expenden como líquidos o como compuestos sólidos parcialmente polimerizados.

El mezclado se efectúa normalmente en trituradoras, en el interior de las cuales se adicionan cualesquiera de los muchos ingredientes indispensables para el conformado y para proporcionar las características requeridas del artículo terminado, tales como: estabilizado-

res, pigmentos, plastificantes, cargas de relleno o de refuerzo, etc. Los materiales que son mezclados y algunas veces fundidos se colocan en las tolvas alimentadoras de las máquinas de extrusión, inyección o calandreadoras. Algunos materiales Termoplásticos se preforman en pequeños perdigones de tamaño y forma convenientes para una determinada cavidad de molde.

En la operación de preformado, el polvo termofraguante se moldea bajo presión y en frío, y por consiguiente, no ocurre ningún cambio químico.

Las preformas se usan solamente en los procesos de moldeo por compresión y moldeo de transferencia.

5.6.2. EQUIPO

El equipo empleado para obtener las preformas es de dos tipos: prensas rotatorias y máquinas reciprocantes.

Las máquinas reciprocantes, tienen un sólo conjunto de matrices. Estas máquinas son las que más se usan para obtener preformas. En ellas, las matrices se pueden cambiar rápidamente, pero su producción es muy inferior a la de las prensas rotatorias.

5.6.3. VENTAJAS

Todas las preformas tienen el mismo peso, y la operación de obtenerlas evita el desperdicio de material al cargar los moldes y en general, aumenta la rapidez de producción, porque los moldes son cargados rápidamente sin posibilidad de sobrecargarlos.

Este proceso es ampliamente usado para obtener preformas de materiales Termofijos.

5.7. MOLDEO DE COMPRESION

5.7.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

La Fig. 5.14, representa en forma esquemática el proceso de

moldeo por compresión, dicho proceso consiste en lo siguiente: una cantidad dada de material se coloca en un molde metálico caliente y al cerrar el molde, se aplica presión haciendo que el material ya suavizado, fluya y se conforme al molde.

El material puede usarse en estado granulado o bien, preformado en tabletas.

Las presiones requeridas para el moldeo por compresión varían de 7 a 560 Kg/cm², dependiendo del material empleado y del tamaño de la pieza que se desea obtener. El margen de temperaturas es de 120 a 200 °C. El calor es muy importante para procesar las resinas termofijas, puesto que se usa primero para plastificarlas y luego para polimerizar o endurecerlas. El calor se puede transferir desde las placas calientes o, se puede aplicar directamente al molde a través de vapor, líquidos, calientes o resistencias eléctricas.

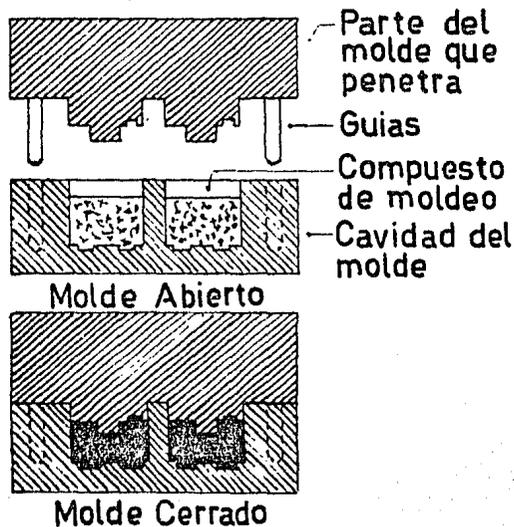


Fig.5.14 Moldeo de Compresión

5.7.2. EQUIPO

Existe una gran variedad de prensas hidráulicas que varían, desde la operada a mano, hasta la totalmente automática, para moldeo por compresión. La función de la prensa es la de generar y aplicar la presión necesaria y al mismo tiempo, el calor necesario para plastificar y curar correctamente los materiales.

El tipo de prensa más simple, es la operada a mano. En ella se usan moldes separados, que se cargan y descargan fuera de la prensa y la única función de ésta es suministrar la presión necesaria para la operación. Otras prensas que también se controlan manualmente tienen los moldes montados permanentemente y en consecuencia, pueden manejar moldes más grandes.

Las prensas semiautomáticas, son aquellas que operan automáticamente durante un ciclo.

Las prensas totalmente automáticas, son aquellas que operan continuamente por un largo período de tiempo. Todas las operaciones, tales como; medición y alimentación de la materia prima, se controlan automática y exactamente para mantener condiciones uniformes de moldeo.

5.7.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

El calentamiento uniforme del material en polvo es deseable, pero no siempre se consigue, debido a la mala conductividad térmica del material.

Cuando se usan prensas semiautomáticas, se eliminan variaciones debidas al elemento personal; ya que el operario sólo necesita cargar y descargar la máquina.

Las prensas automáticas son rápidas en su operación y se requiere un mínimo de atención durante el proceso.

5.8. MOLDEO DE TRANSFERENCIA

5.8.1 DESCRIPCION DEL PROCESO

En el proceso de moldeo de transferencia, el polvo termofr -- guante o preforma, se coloca en la cámara de presión arriba de las cavidades del molde, como se ilustra en la Fig. 5.15. Luego se plastifica por calor y presión y se inyecta a las cavidades del molde, como líquido caliente donde el material cura.

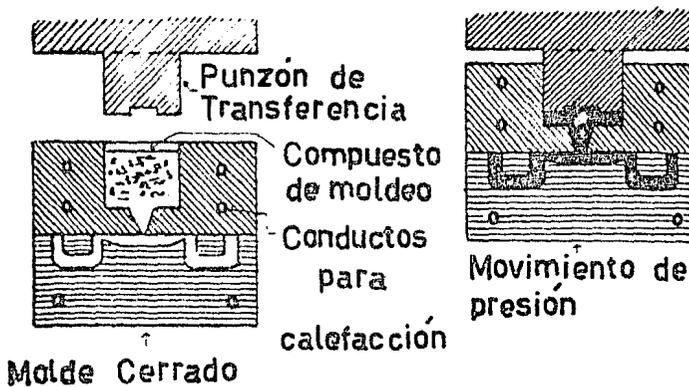


Fig.5.15 Moldeo de Transferencia

5.8.2. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO

Este proceso es especialmente deseable para producir piezas que requieran pequeñas inserciones de metal, puesto que el material plastificado entra en el molde en forma gradual y sin gran presión y velocidad. Las partes complicadas y las que tienen variaciones en el espesor de su sección, también pueden producirse ventajosamente por este método

5.9. CALADREADO O SATINADO

5.9.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

Este proceso consiste en formar hojas delgadas prensando el ma

terial Termoplástico mediante rodillos, como se ve en la Fig. 5.16. El material que se va a conformar está compuesto de: resina base, plastificantes, cargas de relleno, colorantes, pigmentos, etc., se forma primero mezclando y calentando los componentes, antes de alimentarlo a los rodillos. El espesor de la hoja producida, depende del espacio entre los rodillos durante el proceso de laminado, así como de la velocidad de los rodillos acabadores que estiran el producto. Antes que la película sea devanada, pasa por rodillos, enfriados con agua.

Este es el método principal empleado para producir películas y hojas de vinilo, polietileno y acetato de celulosa; así como azulejos de vinilo.

Se pueden obtener láminas compuestas de varios materiales, como si se tratara de un emparedado, es decir, los distintos materiales se agregan uno después de otro para formar capas y así, construir placas o láminas para usos especiales.

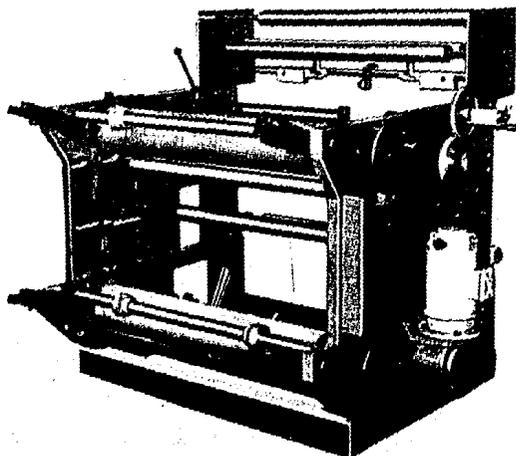


FIG. 5.16.

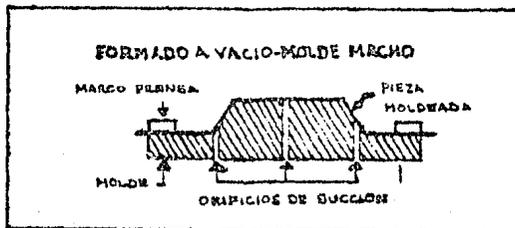
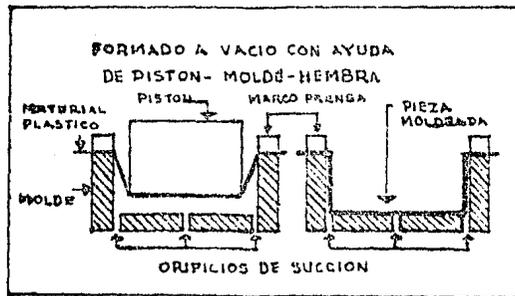
CALANDRAS
para film tubular

5.10. FORMADO AL VACIO

5.10.1. DESCRIPCION DEL PROCESO

Básicamente, el proceso consiste en moldear hojas de material Termoplástico previamente ablandadas por calentamiento, colocadas sobre un molde y succionadas hacia éste por un sistema de vacío, hasta que toman la forma deseada. Se deberá usar un marco prensado que actúe como sello entre el material y la caja del molde. Para obtener un vacío uniforme, deberán hacerse suficientes perforaciones uniformemente distribuidas en la parte de mayor profundidad del molde, como se aprecia en las ilustraciones correspondientes.

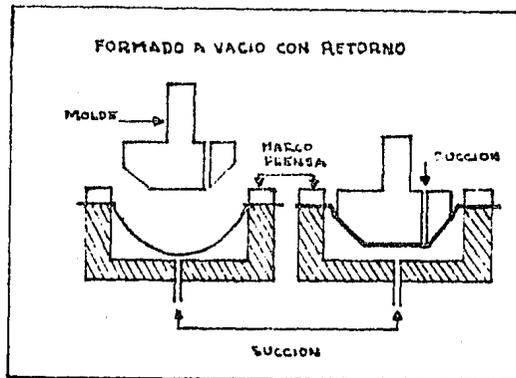
El uso de vacío para conformar el material al molde, tiende a proporcionar piezas con las paredes más gruesas que el fondo; presionar la hoja con un pistón ayuda a dejar el fondo más grueso que las paredes; la combinación de ambos procedimientos permitirá mayor uniformidad en el espesor de fondo y paredes y hará factible obtener mayores profundidades.



A continuación mencionamos dos de los métodos más utilizados para conformar piezas mediante calor y vacío.

5.10.2. FORMADO AL VACIO CON RETORNO

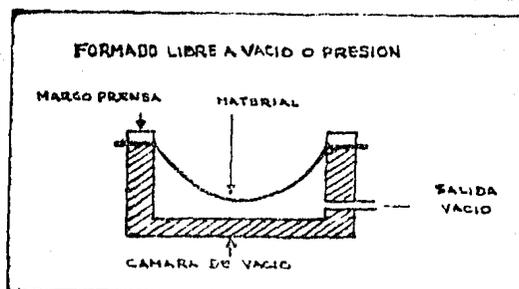
En éste procedimiento, la hoja ablandada se estira en una caja de vacío hasta alcanzar la profundidad necesaria para dar cabida al molde; una vez que el molde ha penetrado, se libera gradualmente el vacío para que el material regrese a su forma original encontrando el molde y conformándose a él a su regreso.



Este método es valioso cuando se requiere espesor de paredes y fondo uniforme y la menor cantidad de marcas de moldeo posibles.

5.10.3. FORMADO LIBRE A VACIO O PRESION

Cuando se requiere de las piezas conformadas excelente transparencia, como en el caso de domos, ventanillas de aviones, cabinas de helicópteros, etc., se utiliza éste método, el cual se esquematiza en la siguiente figura.



Dicho método consiste en que la forma de la pieza será dada por la forma y tamaño del arillo que lo fije al marco y por la altura que se dé por vacío o presión.

5.10.4. EQUIPO

La mayoría del equipo comercial emplea el vacío como agente de formado. El vacío se obtiene en tanques de 0,5 a 3 metros cúbicos. Estos tanques proporcionan un vacío de 600 a 700 mm de mercurio proporcionado con bombas de alto volumen y gastos de 0,05 a 4 m³/min.

La bomba y el tanque deberán tener capacidad suficiente para mantener un valor de vacío de por lo menos 560 mm de mercurio durante el proceso de producción.

Para las líneas de vacío se usa tubería standard de 25 a 78 mm de diámetro. Secciones de manguera flexible reforzada con metal entre los tanques y los moldes, facilitan la operación.

Las líneas de vacío deben contar con válvulas, tanto de alivio rápido como regulables, de tal manera que el vacío sea controlado en forma instantánea o gradual de acuerdo con las necesidades.

CAPITULO 6

DESARROLLO Y PERSPECTIVAS DE LA INDUSTRIA DE LOS PLASTICOS EN MEXICO

6.1. INTRODUCCION

La gran versatilidad de características que los artículos de material plástico presentan, así como algunas cualidades que en un momento dado las hacen iguales o superiores a las de otros materiales, incluso a las metálicas; han influido de manera definitiva para que la industria del plástico surgiera en nuestro país, motivada por un amplio mercado y materia prima abundante. No obstante estas ventajas, dicha industria tuvo grandes tropiezos desde sus inicios, de tal manera que aún en la actualidad, no ha logrado consolidarse entre las primeras, ya que por una parte, causas internas, y por la otra externas, obstaculizan su sano desarrollo. A pesar de todo, existen actualmente numerosas plantas, pequeñas en su gran mayoría. Las de mediano tamaño son pocas. Las hay sintetizadoras de materia prima, pero la gran mayoría son manufactureras de artículos diversos.

6.2. ANTECEDENTES

La industria de los plásticos en México, surge a raíz del auge que a nivel mundial adquiriría éste ramo de la tecnología entre la Primera y la Segunda Guerras Mundiales. Uno de los pilares de ésta industria en México lo constituye la Compañía Industrial Importadora fundada en el año de 1941, que además de la fabricación de peines, importaba juguetes y otros artículos. En el año de 1942 cambia su razón social a Compañía Industrial de Plásticos, S.A., ya que decide retirarse de la línea de importación, concretándose exclusivamente a la producción de piezas diversas, utilizando los sistemas de inyección y compre

sión que en aquel entonces eran conocidos. No obstante los problemas que representaba para éste sector la importación de materias primas, se establece en 1953, Lapsolite, S.A., siendo la primera industria en México, en el ramo de los plásticos reforzados con fibra de vidrio.

En esa década, la Industria Petroquímica Mexicana da un fuerte impulso a éste sector, produciendo polímeros de origen nacional y estimulando la creación de nuevas industrias. En 1957 se funda la Industria Química de los Plásticos, S.A., cuya línea de producción consistía en la manufactura de película impresa para el empaque automático de detergentes y semillas en bolsas de polietileno. Ese mismo año una modesta empresa mexicana, la Compañía David Khan, S.A., abocada a la fabricación de estilográficas de costo accesible, entra en escena.

La industria del plástico iba colocándose en un plano de primera, al satisfacer con sus productos necesidades y problemas no resueltos con otros materiales que debido a ciertos fenómenos, provocaban alteraciones en su estructura. Este hecho condujo a realizar estudios tendientes a obtener productos plásticos que tuvieran características similares a las de algunos materiales metálicos y no metálicos que sirvieran de substitutos. En 1958, se inicia Teck de México, S.A. de C.V., mediante una modificación a la empresa original denominada Caucho, S.A., motivada por la visión futura de la importancia que cada día adquiría la industria de los plásticos; así pasó de las manufacturas únicamente de hule natural, a las de materiales plásticos sintéticos.

En 1960, se establece la Compañía Rohm and Hasse con el nombre de Industrias Químicas de Apizaco, S.A. de C.V., empezando en ésta época a fabricar productos químicos y en el año de 1962 láminas acrílicas.

Campco de México, S.A., se incorpora en 1960 al haber adquirido las patentes y las instalaciones de la división de productos plásticos de la Celanese Mexicana, S.A.

Hacia 1963, la industria mexicana de los plásticos representa-

ba ya una inversión que excede de 1500 millones de pesos, formada por unas 600 plantas de magnitud muy diversa; cifra que se duplicó en 1976 agrupando a unas 1220 industrias con activos totales de 7157 millones de pesos; integrándose de ésta forma uno de los sectores más dinámicos del país.

6.3. DESARROLLO

La producción nacional de resinas sintéticas data aproximadamente del año de 1952, en el que el poliestireno, la urea formaldehído y algunas resinas alquídicas hicieron su aparición como productos mexicanos. A partir de entonces se substituyeron resinas importadas por otras de producción nacional, fomentando la integración de ésta rama industrial.

En la década de los sesentas, estimaciones de la Asociación de Industrias del Plástico, A.C., indican que el sector creció a un ritmo del 18% anual acumulativo, lo que atribuyen al impacto del crecimiento demográfico y al consiguiente incremento de la clase media que utiliza el plástico en gran proporción.

El consumo de polímeros sintéticos aumentó en forma importante durante el período 1970-1980 al pasar de 134,000 toneladas en 1970 a 684,000 en 1980; lo que significa un crecimiento de cinco veces en dicha década para 1980.

Esta rama industrial, como tantas otras, también se vió sacudida por la crisis que se presentó en 1973, durante la cual se suscitaron cambios de precios a nivel mundial y más tarde; el 10. de Septiembre de 1976, fecha en que la moneda nacional cambió su paridad frente al dólar; a pesar de ello, el impacto fue resistido y la prueba está en que gran número de industrias sobreviven y otras más han surgido recientemente.

Entre 1970 y 1980, la producción nacional de esta industria

creció aceleradamente, no obstante, fue insuficiente para satisfacer el mercado interno. En consecuencia, durante toda la década se registraron importaciones significativas. Para el futuro próximo, tomando en consideración las importantes ampliaciones de la capacidad instalada registrada en los últimos años, es posible prever un escenario optimista para el abastecimiento del mercado doméstico. Asimismo, la industria se verá favorecida por la disponibilidad esperada de insumos petroquímicos básicos. Por otra parte, el ingreso al mercado de plásticos de uso en ingeniería, abre nuevas posibilidades a la industria de resinas y plásticos sintéticos.

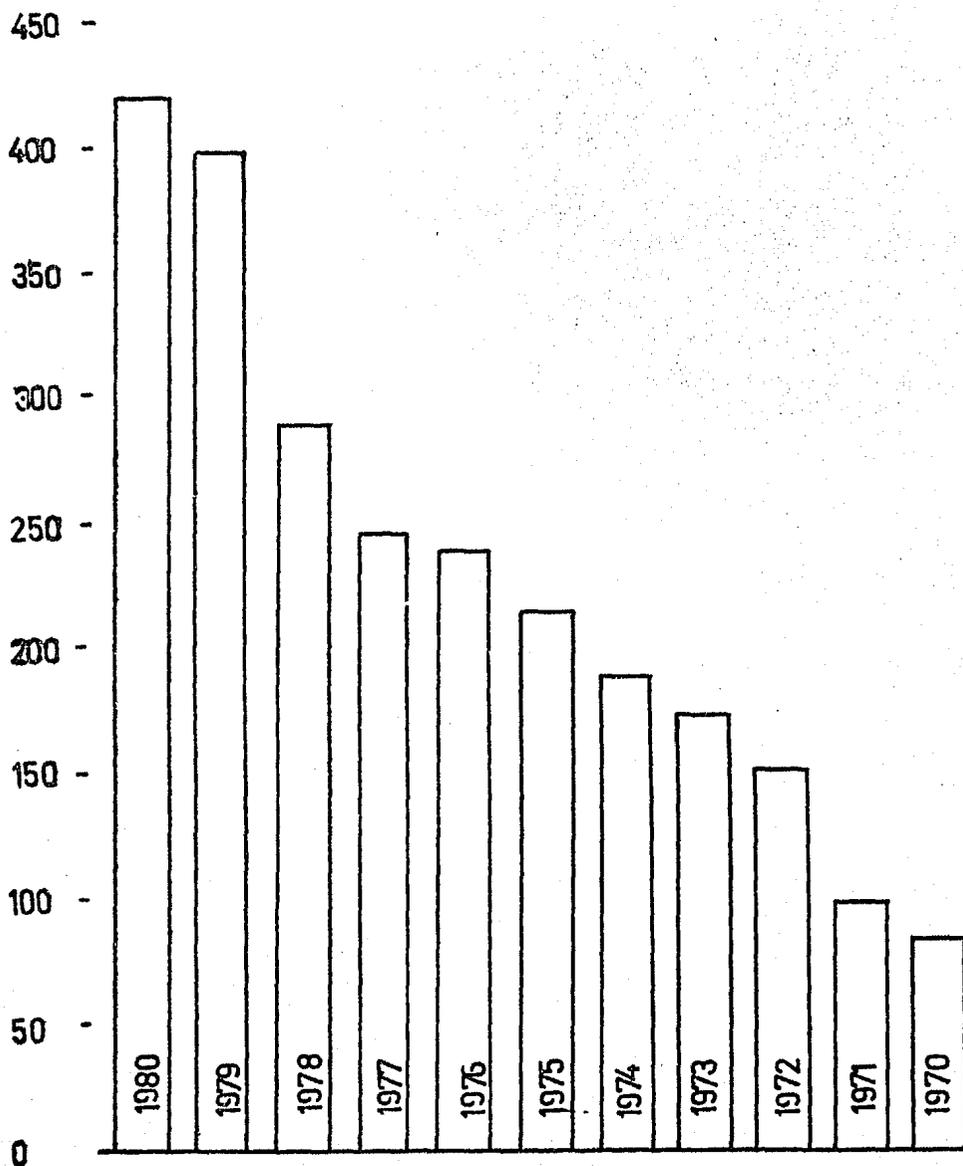
6.4. PERSPECTIVAS

En las gráficas que a continuación se muestran, se observa el crecimiento de la producción, importación y consumo aparente de polímeros sintéticos (polietileno de alta y de baja densidad, policloruro de vinilo, poliestireno, polipropileno y poliuretano), de 1970 a 1980. Productos que representan alrededor del 80% del total de polímeros sintéticos, el 20% restante se refiere a productos como el poliacetato de vinilo, resinas de urea formaldehído y resinas alcídicas. Otras resinas de menor consumo son el polimetacrilato de metilo, las breas esterificantes y las resinas epóxicas; así como plásticos de uso en ingeniería, en donde la resistencia y la precisión son importantes (poliacetales, policarbonatos, polisulfonas y el polióxido de fenileno).

Se muestra además, una gráfica en la que se aprecia la tendencia de la producción de polímeros sintéticos de 1980 a 1985; siendo muy probable que esta apreciación haya cambiado, dada la crisis económica por la que en la actualidad atraviesa el país; sin embargo, esta situación no invalida la relevancia de la evolución de este sector.

RESINAS SINTETICAS Y PLASTICOS¹¹⁹

DESARROLLO DE LA PRODUCCION A 1980
Miles de toneladas



FUENTE: ANIQ.

RESINAS SINTETICAS Y PLASTICOS¹²⁰

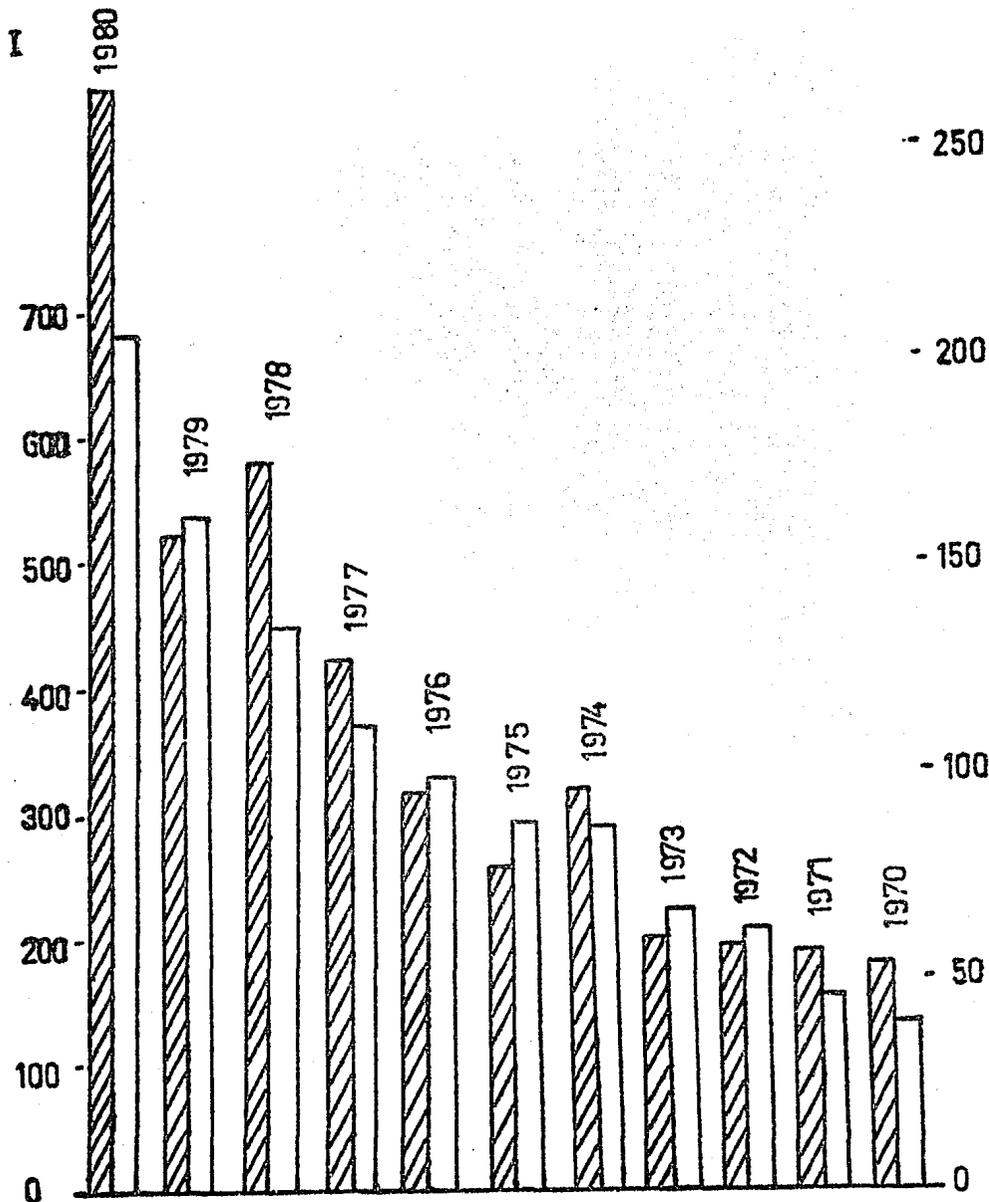
I CONSUMO APARENTE

II

II IMPORTACION

- 300

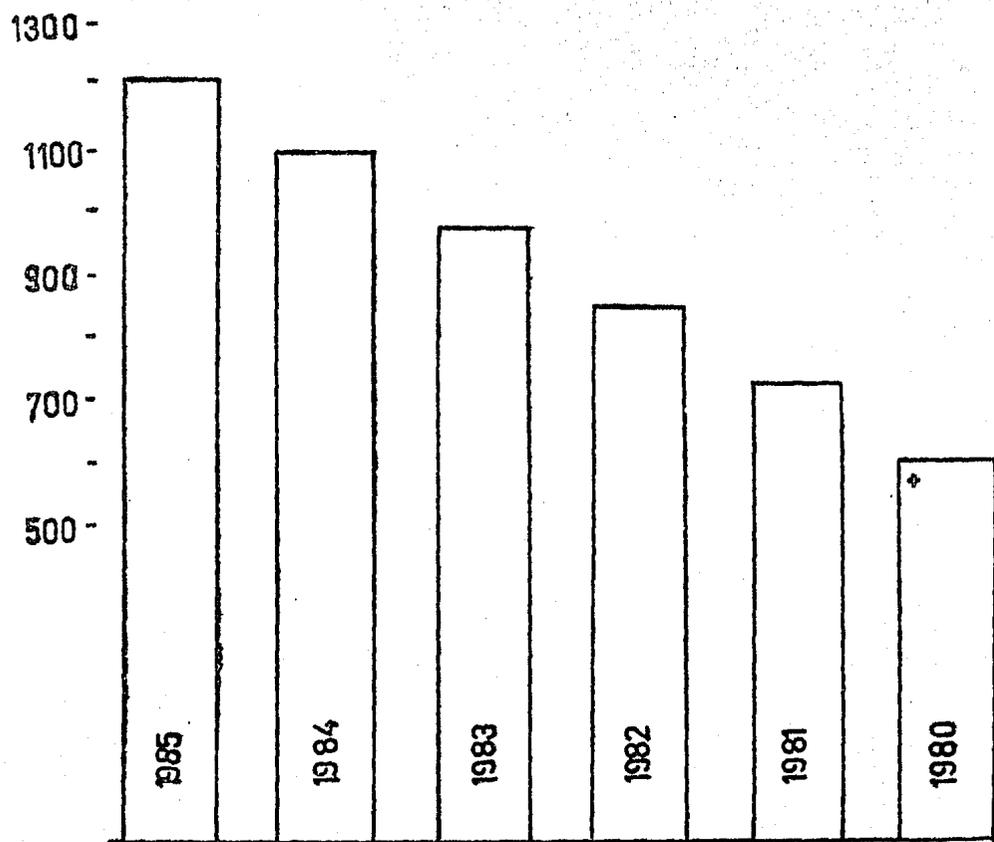
Miles de toneladas



FUENTE: ANIQ

RESINAS SINTETICAS Y PLASTICOS

PERSPECTIVAS DE LA DEMANDA DE PRODUCCION A 1985
Miles de toneladas



+Real

FUENTE: con base a los datos de la ANIQ y PEMEX

APENDICE

Con el propósito de facilitar la continuación del trabajo que hemos iniciado, en lo que se refiere a ensayar distintos materiales plásticos bajo cargas de flexión; hemos construido un dispositivo que se acopla directamente a la máquina Instron para pruebas mecánicas de materiales.

Aclaremos de antemano que para cada tipo de probeta que se vaya a ensayar, se tendrán que cambiar, tanto los radios de curvatura de los apoyos, como el del aplicador de carga, como se aprecia en la figura; de acuerdo con los datos de la tabla I de la Norma D-790.

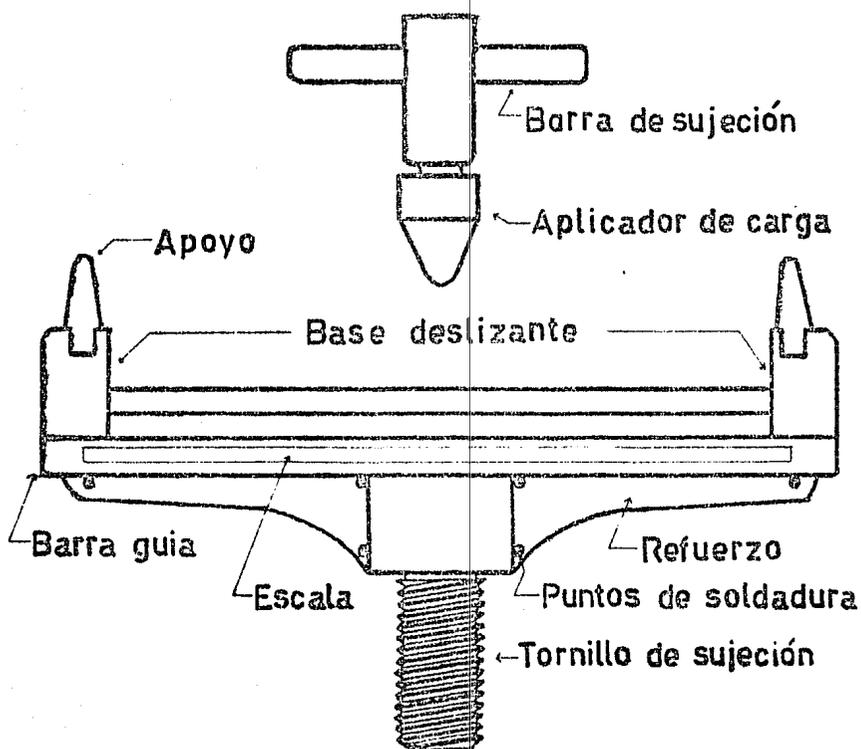


FIG.A DISPOSITIVO PARA PRUEBAS DE FLEXION

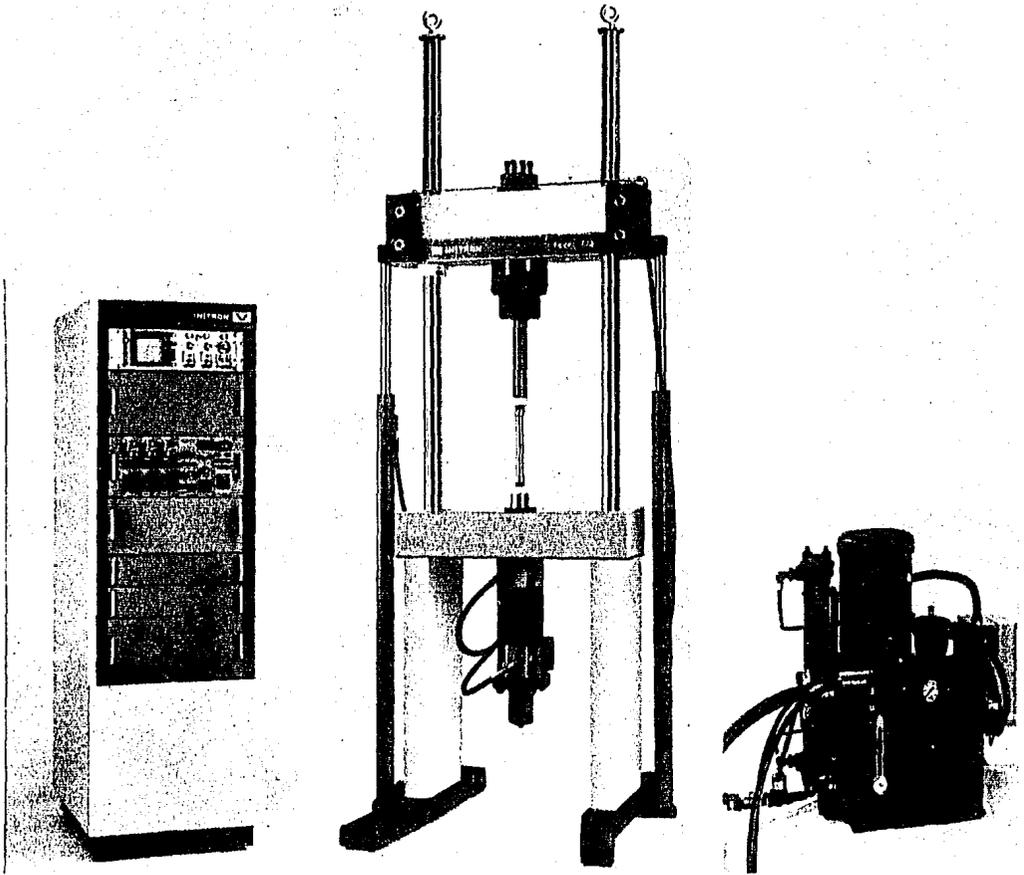
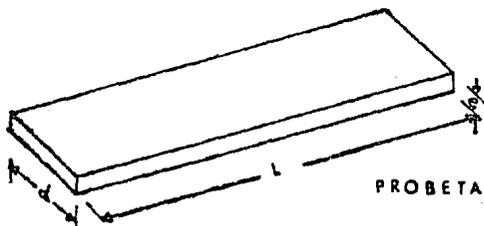
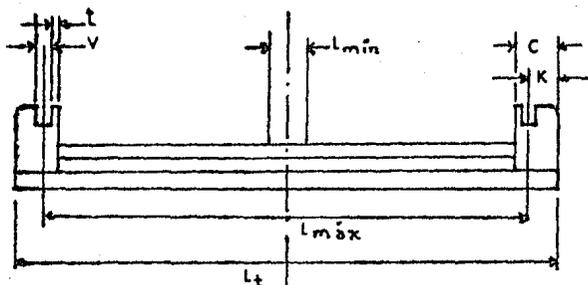


FIG. B. VISTA GENERAL DE LA MAQUINA INSTRON SISTEMA 1331 PARA PRUEBAS DE MATERIALES, - EN ELLA SE ACOPLA EL DISPOSITIVO DE LA --- FIG. A.

Otros datos pertinentes, los proporcionamos enseguida. Toda la información para efectuar los ensayos está en la Norma.

El método empleado es el de tres puntos.



$$v = \frac{1}{4}'' \quad L_t = 9 \frac{7}{8}''$$

$$t = \frac{3}{16}'' \quad K = c - \left(\frac{c}{2} + t \right) = \frac{11}{16}''$$

$$c = 1'' \quad L_c = \text{Línea de Carga}$$

$$L_{e(\text{máx})} = L_t - 2K$$

$$L_{e(\text{máx})} = 9 \frac{7}{8}'' - 2 \left(\frac{11}{16} \right)'' = 8 \frac{1}{2}''$$

$$L_{e(\text{mín})} = 2 (c - k) = \frac{5}{8}''$$

Radios de curvatura de los apoyos

Radio mínimo para cualquier espesor

$$r_{\text{mín.}} = \frac{1}{8} a) \quad \text{-----}$$

Para $e \geq \frac{1}{8}$ ", $r = 1.5 e$ b)

e: espesor de la probeta

Distancia entre apoyos (L e)

$$L_e = 16 \left(\pm \frac{4}{2} \right) e c)$$

Longitud de los extremos de la probeta = 10% L_e d)

Nunca $< \frac{1}{4}$ " por lado.

El radio del aplicador de carga siempre será mayor que los radios de los apoyos, como se ve en el esquema.

NOTA: Si se usa tabla I, solo será necesario calcular los radios de curvatura de los apoyos y del aplicador de carga mediante la expresión b).



AMERICAN NATIONAL
STANDARD

ANSI/ASTM D 790 - 71

Standard Test Methods for FLEXURAL PROPERTIES OF PLASTICS AND ELECTRICAL INSULATING MATERIALS¹

This Standard is issued under the fixed designation D 790, the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 1031 of Federal Test Method Standard 406 and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

1. Scope

1.1 These methods cover the determination of flexural properties of plastics and electrical insulating materials in the form of rectangular bars molded directly or cut from sheets, plates, or molded shapes. These methods are generally applicable to rigid and semirigid materials. However, flexural strength cannot be determined for those materials that do not break or that do not fail in the outer fibers. Two methods of test are described as follows:

1.1.1 *Method I*—A three-point loading system utilizing center loading on a simply supported beam.

1.1.2 *Method II*—A four-point loading system utilizing two load points equally spaced from their adjacent support points, with a distance between load points of one third of the support span.

1.2 Either method can be used with the two procedures which follow:

1.2.1 *Procedure A*, designed principally for materials that break at comparatively small deflections.

1.2.2 *Procedure B*, designed particularly for those materials that undergo large deflections during testing.

1.3 Comparative tests may be run according to either method or procedure, provided that method or procedure is found satisfactory for the material being tested.

NOTE 1—The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Summary of Methods

2.1 A bar of rectangular cross section is tested in flexure as a beam as follows:

2.1.1 *Method I*—The bar rests on two sup-

ports and is loaded by means of a loading nose midway between the supports (see Fig. 1).

2.1.2 *Method II*—The bar rests on two supports and is loaded at two points (by means of two loading noses), each an equal distance from the adjacent support point. The distance between the loading noses is one third of the support span (see Fig. 2).

2.2 The specimen is deflected until rupture occurs in the outer fibers or until the maximum fiber strain (see 10.9) of 5 percent is reached, whichever occurs first.

3. Significance

3.1 Flexural properties determined by Method I are especially useful for quality control and specification purposes.

3.2 Materials that do not fail at the point of maximum stress under Method I should be tested by Method II. Flexural properties determined by Method II are also useful for quality control and specification purposes. The basic difference between the two methods is in the location of the maximum bending moment and maximum axial fiber stresses. The maximum axial fiber stresses occur on a line under the loading nose in Method I and over the area between the loading noses in Method II.

3.3 Flexural properties may vary with specimen depth, temperature, atmospheric conditions, and the difference in rate of straining

¹ These methods are under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and are the direct responsibility of Subcommittee D-20.10 on Mechanical Properties.

Current edition effective Oct. 29, 1971. Originally issued 1944. Replaces D 790 - 70.



specified in Procedures A and B (see also Note 7).

4. Apparatus

4.1 Testing Machine—A properly calibrated testing machine that can be operated at constant rates of crosshead motion over the range indicated, and in which the error in the load measuring system shall not exceed ± 1 percent of maximum load expected to be measured. It shall be equipped with a deflection-measuring device. The stiffness of the testing machine shall be such that the total elastic deformation of the system does not exceed 1 percent of the total deflection of the test specimen during test, or appropriate corrections shall be made. The load-indicating mechanism shall be essentially free from inertial lag at the crosshead rate used. The accuracy of the testing machine shall be verified in accordance with ASTM Methods E 4, Verification of Testing Machines.²

4.2 Loading Noses and Supports—The loading nose or noses and supports shall have cylindrical surfaces. In order to avoid excessive indentation, or failure due to stress concentration directly under the loading nose or noses, the radius of the nose or noses and supports shall be at least 3.2 mm ($1/8$ in.) for all specimens. For specimens 3.2 mm ($1/8$ in.) or greater in depth the radius of the supports may be up to 1.5 times the specimen depth. They shall be this large if significant indentation or compressive failure occurs. The arc of the loading nose in contact with the specimen shall be sufficiently large to prevent contact of the specimen with the sides of the nose or noses (see Fig. 1 for Method I, Fig. 3 for Method II).

5. Test Specimens

5.1 The specimens may be cut from sheets, plates, or molded shapes, or may be molded to the desired finished dimensions.

NOTE 2—Any necessary polishing of specimens shall be done only in the lengthwise direction of the specimen.

5.2 Sheet Materials (except laminated thermosetting materials and certain materials used for electrical insulation, including vulcanized fiber and glass bonded mica):

5.2.1 Materials 1.6 mm ($1/16$ in.) or Greater in Thickness—For flatwise tests the depth of

the specimen shall be the thickness of the material. For edgewise tests, the width of the specimen shall be the thickness of the sheet and the depth shall not exceed the width (see Notes 3 and 4). For all tests, the support span shall be 16 (tolerance $+4$ or -2) times the depth of the beam. Specimen width shall not exceed one-fourth of the support span for specimens greater than 3.2 mm ($1/8$ in.) in depth. Specimens 3.2 mm ($1/8$ in.) or less in depth shall be 12.7 mm ($1/2$ in.) in width. The specimen shall be long enough to allow for overhanging on each end of at least 10 percent of the support span, but in no case less than 6.4 mm ($1/4$ in.) on each end. Overhang shall be sufficient to prevent the specimen from slipping through the supports.

NOTE 3—Whenever possible, the original surface of the sheet shall be unaltered. However, where testing machine limitations make it impossible to follow the above criterion on the unaltered sheet, one or both surfaces shall be machined to provide the desired dimensions, and the location of the specimens with reference to the total depth shall be noted. The value obtained on specimens with machined surfaces may differ from those obtained on specimens with original surfaces. Consequently, any specifications for flexural properties on the thicker sheets must state whether the original surfaces are to be retained or not. When only one surface was machined, it must be stated whether the machined surface was on the tension or compression side of the beam.

NOTE 4—Edgewise tests are not applicable for sheets that are so thin that specimens meeting these requirements cannot be cut. If specimen depth exceeds the width, buckling may occur.

5.2.2 Materials Less than 1.6 mm ($1/16$ in.) in Thickness—The specimen shall be 50.8 mm (2 in.) long by 12.7 mm ($1/2$ in.) wide, tested flatwise on a 25.4-mm (1-in.) support span.

NOTE 5—Use of the formulas for simple beams cited in these methods for calculating results presumes that beam width is small in comparison with the support span. Therefore, the formulas do not apply rigorously to these dimensions.

NOTE 6—Where machine sensitivity is such that specimens of these dimensions cannot be measured, wider specimens or shorter support spans, or both may be used, provided the support span-to-depth ratio is at least 14 to 1. All dimensions must be stated in the report (see also Note 5).

5.3 Laminated Thermosetting Materials and Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation, Including Vulcanized Fiber and Glass-Bonded Mica—Test specimens in accordance with Table 1 for Method I, and

² Annual Book of ASTM Standards, Part 35.

D 790

Table 2 for Method II, as shown in the Appendix, which constitutes a part of these methods of test. For paper-base and fabric-base grades over 25.4 mm (1 in.) in nominal thickness, the specimens shall be machined on both surfaces to a depth of 25.4 mm (1 in.). For glass-base and nylon-base grades, specimens over 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ in.) in nominal depth shall be machined on both surfaces to a depth of 12.7 mm ($\frac{1}{2}$ in.). The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment (Note 7). Three recommended support span-to-depth ratios are 16, 32 and 40 to 1. When laminated materials exhibit low compressive strength perpendicular to the laminations, they shall be loaded with a large radius loading nose (up to 1 times the specimen depth for Method I and 1.5 times the specimen depth for Method II) to prevent premature damage to the outer fibers.

5.4 Molding Materials (Thermoplastics and Thermosets)—The recommended specimen for molding materials is 127 by 12.7 by 3.4 mm (5 by $\frac{1}{2}$ by $\frac{1}{8}$ in.) tested flatwise on a support span, resulting in a support span-to-depth ratio of 16 (tolerance +4 or -2).

5.5 High-Strength Reinforced Composites, Including Highly Orthotropic Laminates—Specimens shall be tested in accordance with Table 1 for Method I, and Table 2 for Method II, as shown in the Appendix, which constitutes a part of these methods of test. The support span-to-depth ratio shall be chosen such that failures occur in the outer fibers of the specimens, due only to the bending moment (Note 7). Three recommended support span-to-depth ratios are 16, 32, and 40 to 1. When laminated materials exhibit low compressive strength perpendicular to the laminations, they shall be loaded with a large radius loading nose (up to 4 times the specimen depth for Method I and 1.5 times the specimen depth for Method II) to prevent damage to the outer fibers.

NOTE 7 As a general rule, support span-to-depth ratios of 16 are satisfactory when the ratio of the tensile strength to shear strength is less than 8 to 1, but the support span-to-depth ratio must be increased for composite laminates having relatively low shear strength in the plane of the laminate and relatively high tensile strength parallel to the support span.

6. Number of Test Specimens

6.1 At least five specimens shall be tested for each sample in the case of isotropic materials or molded specimens.

6.2 For each sample of anisotropic material in sheet form, at least five specimens shall be tested for each of the following conditions. Recommended conditions are flatwise and edgewise tests on specimens cut in lengthwise and crosswise directions of the sheet. For purposes of this test, "lengthwise" shall designate the principal axis of anisotropy and shall be interpreted to mean the direction of the sheet known to be stronger in flexure. "Crosswise" shall be the sheet direction known to be the weaker in flexure, and shall be at 90 deg to the lengthwise direction.

7. Conditioning

7.1 **Conditioning**—Condition the test specimens at $23 \pm 2\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6\text{F}$) and 50 ± 5 percent relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of ASTM Methods D 618, Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing,² for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1\text{C}$ ($\pm 1.8\text{F}$) and ± 2 percent relative humidity.

7.2 **Test Conditions**—Conduct tests in the Standard Laboratory Atmosphere of $23 \pm 2\text{C}$ ($73.4 \pm 3.6\text{F}$) and 50 ± 5 percent relative humidity, unless otherwise specified in the test methods or in this specification. In cases of disagreement, the tolerances shall be $\pm 1\text{C}$ ($\pm 1.8\text{F}$) and ± 2 percent relative humidity.

8. Procedure

8.1 Method I—Procedure A:

8.1.1 Use an untested specimen for each measurement. Measure the width and depth of the specimen to the nearest 0.03 mm (0.001 in.) at the center of the support span. For specimens less than 2.54 mm (0.100 in.) in depth, measure the depth to the nearest 0.003 mm (0.0001 in.).

8.1.2 Determine the support span to be used as described in Section 5 and set the support span to within 1 percent of the determined value.

8.1.3 If Table 1 is used, set the machine to the specified rate of crosshead motion, or as


D 790

near as possible to it. If Table 1 is not used, calculate the rate of crosshead motion as follows and set the machine for the calculated rate, or as near as possible to it:

$$R = ZL'/6d \quad (1)$$

where:

R = rate of crosshead motion, mm (in.)/min,

L = support span, mm (in.),

d = depth of beam, mm (in.), and

Z = rate of straining of the outer fiber, mm/mm · min (in./in · min). Z shall equal 0.01.

In no case shall the actual crosshead rate differ from that specified by Table 1, or that calculated from Eq 1, by more than ± 50 percent.

8.1.4 Align the loading nose and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel and the loading nose is midway between the supports. This parallelism may be checked by means of a plate with parallel grooves into which the loading nose and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading nose and supports.

8.1.5 Apply the load to the specimen at the specified crosshead rate, and take simultaneous load-deflection data. Measure deflection either by a gage under the specimen in contact with it at the center of the support span, the gage being mounted stationary relative to the specimen supports, or by measurement of the motion of the loading nose relative to the supports. In either case, make appropriate corrections for indentation in the specimens and deflections in the weighing system of the machine. Load-deflection curves may be plotted to determine the flexural yield strength, secant or tangent modulus of elasticity, and the total work measured by the area under the load-deflection curve.

8.1.6 Terminate the test if the maximum strain in the outer fibers has reached 0.05 mm/mm (in./in.) (Notes 8 and 9). The deflection at which this strain occurs may be calculated by letting r equal 0.05 mm/mm (in./in.) as follows:

$$D = rL'/6d \quad (2)$$

where:

D = deflection, mm (in.),

r = strain, mm/mm (in./in.),

L = support span, mm (in.), and

d = depth of beam, mm (in.).

NOTE 8—For some materials the increase in strain rate provided under Procedure B may induce the specimen to yield or rupture, or both, within the required 5 percent strain limit.

NOTE 9—Beyond 5 percent strain, these methods are not applicable, and some other property might be measured (for example ASTM Method D 638, Test for Tensile Properties of Plastics, may be considered).

8.2 Method II—Procedure A:

8.2.1 See 8.1.1.

8.2.2 See 8.1.2.

8.2.3 If Table 2 is used, set the machine for the specified rate of crosshead motion, or as near as possible to it. If Table 2 is not used, calculate the rate of crosshead motion as follows and set the machine as near as possible to that calculated rate:

$$R = 0.21ZL'/d \quad (1a)$$

where:

R = rate of crosshead motion, mm (in.)/min,

L = support span, mm (in.),

d = depth of beam, mm (in.), and

Z = rate of straining of the outer fibers, mm/mm (in./in.) · min. Z shall equal 0.01.

In no case shall the actual crosshead rate differ from that specified by Table 2, or that calculated from Eq 1a by more than ± 50 percent.

8.2.4 Align the loading noses and supports so that the axes of the cylindrical surfaces are parallel and the distance between the loading noses (that is load span) is one third of the support span. This parallelism may be checked by means of a plate containing parallel grooves into which the loading noses and supports will fit when properly aligned. Center the specimen on the supports, with the long axis of the specimen perpendicular to the loading noses and supports. The loading nose assembly shall be of the type which will not rotate.

8.2.5 Apply the load to the specimen at the specified crosshead rate, and take simultaneous load-deflection data. Measure deflection by a gage under the specimen in contact with it at the common center of the spans, the gage being mounted stationary relative to the spec-

D 790

imen supports. Make appropriate corrections for indentation in the specimens and deflections in the weighing system of the machine. Load-deflection curves may be plotted to determine the flexural yield strength, secant or tangent modulus of elasticity, and the total work measured by the area under the load-deflection curve.

8.2.6 If no break has occurred in a specimen by the time the maximum strain in the outer fibers has reached 0.05 mm/mm (in./in.), discontinue the test (Notes 8 and 9). The deflection at which this strain occurs may be calculated by letting r equal 0.05 mm/mm (in./in.) as follows:

$$D = 0.21rL^2/d \quad (2a)$$

where:

D = deflection mm (in.),
 r = strain, mm per mm (in. per in.),
 L = support span, mm (in.), and
 d = depth of beam, mm (in.)

8.3 Methods I and II, Procedure B:

8.3.1 Use an untested specimen for each measurement.

8.3.2 Test conditions shall be identical to those described in 8.1 or 8.2 except that the rate of straining of the outer fibers shall be 0.10 mm/mm (in./in.)/min.

8.3.3 If no break has occurred in the specimen by the time the maximum strain in the outer fibers has reached 0.05 mm/mm (in./in.), discontinue the test (Note 9).

9. Retests

9.1 Values for properties at rupture shall not be calculated for any specimen that breaks at some obvious, fortuitous flaw, unless such flaws constitute a variable being studied. Retests shall be made for any specimen on which values are not calculated.

10. Calculations

10.1 *Maximum Fiber Stress, Method I*—When a beam of homogeneous, elastic material is tested in flexure as a simple beam supported at two points and loaded at the midpoint, the maximum stress in the outer fibers occurs at midspan. This stress may be calculated for any point on the load-deflection curve by the following equation (Notes 10 and 11):

$$S = 3PL/2bd^2 \quad (3)$$

where:

S = stress in the outer fibers at midspan,

N/m^2 (psi),

P = load at a given point on the load-deflection curve, N (lbf),

L = support span, m (in.),

b = width of beam tested, m (in.), and

d = depth of beam tested, m (in.).

NOTE 10—Equation 3 applies strictly to materials for which the stress is linearly proportional to strain up to the point of rupture and for which the strains are small. Since this is not always the case, a slight error will be introduced in the use of this equation. The equation will, however, be valid for comparison data and specification values up to the maximum fiber strain of 5 percent for specimens tested by the procedure herein described.

NOTE 11—The above calculation is not valid if the specimen is slipping excessively between the supports.

10.2 Maximum Fiber Stress for Beams

Tested at Large Support Spans, Method I—If support span-to-depth ratios greater than 16 to 1 are used such that deflections in excess of 10 percent of the support span occur, the maximum stress for a simple beam can be reasonably approximated with the following equation (Note 12):

$$S = (3PL/2bd^2) \cdot [1 + 6 \{D/L\}^2 - 4 \{d/L\} \{D/L\}] \quad (3a)$$

where S , P , L , b , and d are the same as for Eq 3 and D is the deflection in m (in.) of the centerline of the specimen at the middle of the support span.

NOTE 12—When large support span-to-depth ratios are used, significant end forces are developed at the supports which affect the moment in a simply supported beam. An approximate correction factor is given in Eq 3a to correct for these end forces in large support span-to-depth ratio beams where relatively large deflections exist.

10.3 Maximum Fiber Stress, Method II

When a beam is loaded in flexure at two central points and supported at two outer points, the maximum stress in the outer fibers occurs between the two central loading points that define the load span (Fig. 2). This stress may be calculated for any point on the load-deflection curve for relatively small deflections by the following equation (Note 13):

$$S = PL/bd^2 \quad (3b)$$

where:

S = stress in the outer fiber throughout load span, N/m^2 (psi),

P = load at a given point on the load deflection curve, N (lbf),

L = support span, m (in.),



D 750

b = width of beam, m (in.), and
 d = depth of beam, m (in.).

NOTE 13—The limitations defined for Eq 3 in Notes 10 and 11 apply also to Eq 3a, 3b, and 3c.

10.4 Maximum Fiber Stress—Method II—for Beams Tested at Large Support Spans—If support span-to-depth ratios greater than 16 to 1 are used, such that deflections in excess of 10 percent of the support span occur, the maximum stress may be reasonably approximated with the following formula:

$$S = (PL/bd^2) \cdot [1 + (4.70D^2/L^2) - (7.04Dd/L^2)] \quad (3c)$$

where S , P , L , b , and d are the same as for Eq 3b and D = maximum deflection of the center of the beam in m (in.).

10.5 Flexural Strength (Modulus of Rupture)—The flexural strength is equal to the maximum stress in the outer fibers at the moment of break. It is calculated in accordance with Eq 3, 3a, 3b, and 3c by letting P equal the load at the moment of break. If the material does not break, this part of the test is not applicable. In this case, it is suggested that yield strength, if applicable, be calculated and that the corresponding strain be reported also (see 10.6, 10.8, and 10.9).

10.6 Flexural Yield Strength—Some materials that do not break at outer fiber strains up to 5 percent may give load-deflection curves that show a point, Y , at which the load does not increase with an increase in deflection. In such cases, the flexural yield strength may be calculated in accordance with Eq 3, 3a, 3b, or 3c by letting P equal the load at point Y .

10.7 Flexural Offset Yield Strength—Offset yield strength is the stress at which the stress-strain curve deviates by a given strain (offset) from the tangent to the initial straight line portion of the stress-strain curve. The value of the offset must be given whenever this property is calculated.

NOTE 14—This value may differ from flexural yield strength defined in 10.6. Both methods of calculation are described in the Appendix to Method D 638.

10.8 Stress at a Given Strain—The maximum fiber stress at any given strain may be calculated in accordance with Eq 3, 3a, 3b or 3c by letting P equal the load read from the load-deflection curve at the deflection corresponding to the desired strain.

10.9 Maximum Strain, Method I—The maximum strain in the outer fibers also occurs at midspan, and may be calculated as follows:

$$r = 6Dd/L^2 \quad (4)$$

where:

r = maximum strain in the outer fibers, mm/mm (in./in.),

D = maximum deflection of the center of the beam, mm (in.),

L = support span, mm (in.), and

d = depth, mm (in.).

10.10 Maximum Strain, Method II—The maximum strain in the outer fibers also occur at midspan, and may be calculated as follows:

$$r = 4.70Dd/L^2 \quad (4a)$$

where D , d , L , and r are the same as for Eq 2a.

10.11 Modulus of Elasticity:

10.11.1 Tangent Modulus of Elasticity, Method I—The tangent modulus of elasticity, often called the "modulus of elasticity," is the ratio, within the elastic limit of stress to corresponding strain and shall be expressed in newtons per square meter (pounds per square inch). It is calculated by drawing a tangent to the steepest initial straight-line portion of the load-deflection curve and using Eq 5.

$$E_b = L^3m/4bd^3 \quad (5)$$

where:

E_b = modulus of elasticity in bending, N/m² (psi).

L = support span, m (in.).

b = width of beam tested, m (in.),

d = depth of beam tested, m (in.), and

m = slope of the tangent to the initial straight-line portion of the load-deflection curve, N/m (lbf/in.) of deflection.

10.11.2 Tangent Modulus of Elasticity, Method II—The tangent modulus of elasticity is the ratio, within the elastic limit, of stress to corresponding strain and shall be expressed in newtons per square meter (pounds per square inch). It is calculated by drawing a tangent to the steepest initial straight-line portion of the load-deflection curve and using Eq 5a.

$$E_b = 0.211L^3m/bd^3 \quad (5a)$$

where E_b , m , L , b , and d are the same as for Eq 5.

 D 790

10.11.3 *Secant Modulus of Elasticity*—The secant modulus of elasticity is the ratio of stress to corresponding strain at any given point on the stress-strain curve, or the slope of the straight line that joins the origin and a selected point on the actual stress-strain curve. It shall be expressed in newtons per square meter (pounds per square inch). The selected point is generally chosen at a specified stress or strain. It is calculated in accordance with Eq 5 or 5a by letting m equal the slope of the secant to the load-deflection curve.

10.12 *Arithmetic Mean*—For each series of tests, the arithmetic mean of all values obtained shall be calculated to three significant figures and reported as the "average value" for the particular property in question.

10.13 *Standard Deviation*—The standard deviation (estimated) shall be calculated as follows and reported to two significant figures:

$$s = \sqrt{\frac{\sum X^2 - n\bar{X}^2}{n-1}}$$

where:

s = estimated standard deviation,
 X = value of single observation,
 n = number of observations, and
 \bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

11. Report

11.1 The report shall include the following:

11.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code number, form, principal dimen-

sions, and previous history.

11.1.2 Direction of cutting and loading specimens.

11.1.3 Conditioning procedure.

11.1.4 Depth and width of specimen.

11.1.5 Method used.

11.1.6 Procedure used.

11.1.7 Support span length.

11.1.8 Support span-to-depth ratio.

11.1.9 Radius of supports and loading noses.

11.1.10 Rate of crosshead motion.

11.1.11 Maximum strain in the outer fibers of the specimen.

11.1.12 Flexural strength (if applicable), average value, and standard deviation.

11.1.13 Tangent or secant modulus of elasticity in bending, average value, and standard deviation.

11.1.14 Flexural yield strength (if desired), average value, and standard deviation.

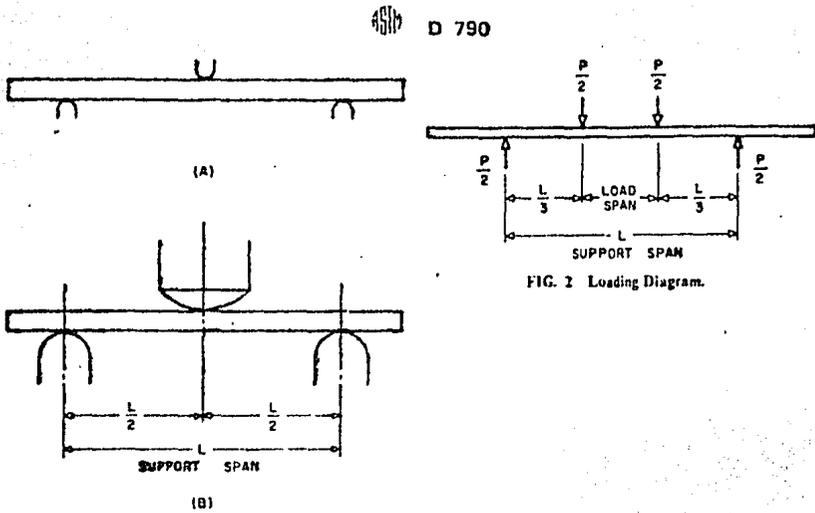
11.1.15 Flexural offset yield strength (if desired), with offset or strain used, average value, and standard deviation.

11.1.16 Stress at any given strain up to and including 5 percent (if desired), with strain used, average value, and standard deviation.

12. Precision

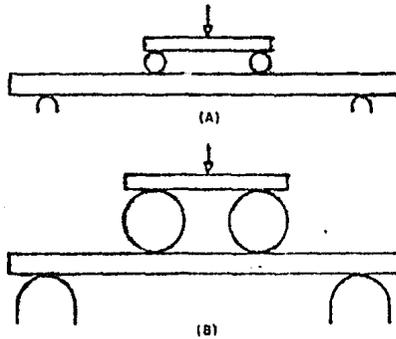
12.1 Reproducibility between specimens is approximately ± 5 percent for homogeneous materials tested.

12.2 Round-robin test data on flexural method comparisons are on file at ASTM Headquarters as RR 67:D-20.



NOTE—(a) Minimum radius ≈ 3.2 mm ($1/8$ in.). (b) Maximum radius supports ≈ 1.5 times specimen depth, maximum radius loading nose ≈ 4 times specimen depth.

FIG. 1 Allowable Range of Loading Nose and Support Radii for Specimen 6.4 mm (0.25 in.) Thick.



NOTE—(a) Minimum radius ≈ 3.2 mm ($1/8$ in.). (b) Maximum radius ≈ 1.5 times specimen depth.

FIG. 3 Allowable Range of Loading and Support Noses Radii for Specimen 6.4 mm (0.25 in.) Thick.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

TABLE 1 Recommended Dimensions for Test Specimens of Sections 5.3 and 5.5 for Various Support Span-to-Depth Ratios (See Note 7)
Method 1 (3-Point Loading)

Nominal Specimen Depth, mm (in.)	Specimen Width, mm (in.)	Support Span-to-Depth Ratio (See Note 7)								
		$L/d = 16$ to 1			$L/d = 32$ to 1			$L/d = 40$ to 1		
		Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min*	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min*	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A), mm (in.)/min*
0.8 (1/8)	25 (1)	50 (2)	16 (1 1/2)	0.5 (0.02)	50 (2)	25 (1)	1.3 (0.05)	60 (2 1/4)	30 (1 1/4)	2.0 (0.08)
1.6 (1/4)	25 (1)	50 (2)	25 (1)	0.8 (0.03)	80 (3)	50 (2)	2.8 (0.11)	90 (3 3/4)	60 (2 1/4)	4.3 (0.17)
2.4 (3/8)	25 (1)	60 (2 1/4)	40 (1 1/2)	1.0 (0.04)	100 (4)	80 (3)	4.1 (0.16)	120 (4 3/4)	95 (3 3/4)	6.4 (0.25)
3.2 (1/2)	25 (1)	80 (3)	50 (2)	1.3 (0.05)	130 (5)	100 (4)	5.3 (0.21)	180 (7)	130 (5)	8.4 (0.33)
4.8 (3/4)	13 (1/2)	100 (6)	80 (3)	2.0 (0.08)	191 (7 1/2)	150 (6)	8.1 (0.32)	240 (9 3/4)	191 (7 1/2)	12.7 (0.50)
6.4 (5/8)	13 (1/2)	130 (5)	100 (4)	2.8 (0.11)	250 (10)	200 (8)	10.9 (0.43)	330 (13)	250 (10)	17.0 (0.67)
9.6 (3/4)	13 (1/2)	191 (7 1/2)	150 (6)	4.1 (0.16)	380 (15)	300 (12)	16.3 (0.64)	480 (19)	380 (15)	25.4 (1.00)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	250 (10)	200 (8)	5.3 (0.21)	495 (19 1/2)	410 (16)	21.6 (0.85)	640 (25)	510 (20)	34.0 (1.34)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	380 (15)	300 (12)	8.1 (0.32)	740 (29)	610 (24)	32.5 (1.28)	940 (37)	760 (30)	50.8 (2.00)
25.4 (1)	25 (1)	495 (19 1/2)	410 (16)	10.9 (0.43)	990 (39)	810 (32)	43.4 (1.71)	1240 (49)	1020 (40)	67.8 (2.67)

* Rates indicated are for Procedure A where strain rate is 0.01 mm/mm/min (0.01 in./in./min). To obtain speeds for Procedure B where strain rate is 0.10 mm/mm/min (0.10 in./in./min), multiply these values by 10. Procedure A is to be used for all specification purposes unless otherwise stated in the specifications. See 8.1.3 for the method of calculation.

* This support span-to-depth ratio is greater than 16 to 1 in order to give clearance between moving head and specimen support.

D 790


D 790

TABLE 2 Recommended Dimensions for Test Specimens of Section 5.3 and 5.5 for Various Support Span-to-Depth Ratios (See Note 7)
Method II (4-Point Loading)

Nominal Specimen Depth, mm (in.)	Specimen Width, mm (in.)	Specimen Length, mm (in.)	Support Span, mm (in.)	Load Span, mm (in.)	Rate of Cross-head Motion (Procedure A) mm (in.)/min ^a
<i>L/d = 16 to 1</i>					
1.6 (1/16)	25 (1)	51 (2)	25 (1)	8.4 (0.33)	0.8 (0.03)
2.4 (1/32)	25 (1)	64 (2 1/2)	38 (1 1/2)	12.7 (0.50)	1.3 (0.05)
3.2 (1/8)	25 (1)	76 (3)	51 (2)	17.0 (0.67)	1.7 (0.07)
4.8 (1/16)	13 (1/2)	102 (4)	76 (3)	25.4 (1.00)	2.5 (0.10)
6.4 (1/4)	13 (1/2)	127 (5)	102 (4)	33.8 (1.33)	3.4 (0.13)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	190 (7 1/2)	152 (6)	50.8 (2.00)	5.1 (0.20)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	254 (10)	203 (8)	67.8 (2.67)	6.8 (0.27)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	381 (15)	305 (12)	102 (4.00)	10.2 (0.40)
25.4 (1)	25 (1)	495 (19 1/2)	406 (16)	135 (5.33)	13.6 (0.54)
<i>L/d = 32 to 1</i>					
1.6 (1/16)	25 (1)	76 (3)	51 (2)	17.0 (0.67)	3.4 (0.13)
2.4 (1/32)	25 (1)	102 (4)	76 (3)	25.4 (1.00)	5.1 (0.20)
3.2 (1/8)	25 (1)	127 (5)	102 (4)	33.8 (1.33)	6.8 (0.27)
4.8 (1/16)	13 (1/2)	190 (7 1/2)	165 (6 1/2)	55.1 (2.17)	11.9 (0.47)
6.4 (1/4)	13 (1/2)	254 (10)	203 (8)	67.8 (2.67)	13.5 (0.54)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	381 (15)	305 (12)	102 (4)	20.3 (0.81)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	495 (19 1/2)	406 (16)	135 (5.3)	27.3 (1.08)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	737 (29)	610 (24)	204 (8.0)	40.9 (1.61)
25.4 (1)	25 (1)	991 (39)	813 (32)	271 (10.7)	54.6 (2.15)
<i>L/d = 40 to 1</i>					
1.6 (1/16)	25 (1)	89 (3 1/2)	63 (2 1/2)	21.2 (0.83)	5.2 (0.21)
2.4 (1/32)	25 (1)	121 (4 3/4)	95 (3 3/4)	31.8 (1.25)	7.9 (0.31)
3.2 (1/8)	25 (1)	178 (7)	127 (5)	42.4 (1.67)	10.6 (0.42)
4.8 (1/16)	13 (1/2)	241 (9 1/2)	190 (7 1/2)	63.5 (2.50)	15.8 (0.63)
6.4 (1/4)	13 (1/2)	330 (13)	254 (10)	84.6 (3.33)	21.2 (0.84)
9.6 (3/8)	13 (1/2)	483 (19)	381 (15)	127 (5.0)	31.8 (1.26)
12.7 (1/2)	13 (1/2)	635 (25)	508 (20)	169 (6.7)	42.7 (1.68)
19.1 (3/4)	19 (3/4)	940 (37)	762 (30)	254 (10.0)	63.8 (2.52)
25.4 (1)	25 (1)	1245 (49)	1016 (40)	338 (13.3)	85.3 (3.36)

^a Rates indicated are for Procedure A where strain rate is 0.01 mm/mm·min (0.01 in./in.·min). To obtain speeds for Procedure B where strain rate is 0.10 mm/mm·min (0.10 in./in.·min), multiply these values by 10. Procedure A is to be used for all specification purposes, unless otherwise stated in the specifications. See 8.2.3 for the method of calculation.



AMERICAN NATIONAL
STANDARD

ANSI/ASTM D 638 - 76

Standard Test Method for TENSILE PROPERTIES OF PLASTICS¹

This Standard is issued under the fixed designation D 638; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 1011.1 of Federal Test Method Standard 406 and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

1. Scope

1.1 This method covers the determination of the tensile properties of plastics in the form of standard test specimens and when tested under defined conditions of pretreatment, temperature, humidity, and testing machine speed. (Notes 2 to 7).

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 229 Testing Rigid Sheet and Plate Materials Used for Electrical Insulation²
- D 618 Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing²
- D 651 Test for Tensile Strength of Molded Electrical Insulating Materials²
- D 883 Definitions of Terms Relating to Plastics²
- E 4 Verification of Testing Machines⁴
- E 83 Verification and Classification of Extensometers⁴

3. Definitions of Terms

3.1 Definitions of terms applying to this method appear in the Appendix.

4. Significance

4.1 This method is designed to produce tensile property data for the control and specification of plastic materials. These data may also be useful for material specification and qualitative characterization purposes and for research and development of plastics.

4.2 Tensile properties may vary with specimen preparation and speed and environment of testing. Consequently, where precise comparative results are desired, these factors must be carefully controlled.

4.3 Tensile properties may provide useful data for plastics engineering design purposes.

However, due to the high degree of sensitivity exhibited by many plastics to rate of straining and environmental conditions, data obtained by this method cannot be considered valid for applications involving load-time scales or environments widely different from those of this method. In cases of such dissimilarity, no reliable estimation of the limit of usefulness can be made for most plastics. This sensitivity to rate of straining and environment necessitates testing over a broad load-time scale (including impact and creep) and range of environmental conditions if tensile properties are to suffice for engineering design purposes.

5. Apparatus

5.1 *Testing Machine*—A testing machine of the constant-rate-of-cross-head-movement type and comprising essentially the following:

5.1.1 *Fixed Member*—A fixed or essentially stationary member carrying one grip.

5.1.2 *Movable Member*—A movable member carrying a second grip.

5.1.3 *Grips*—Grips for holding the test specimen between the fixed member and the movable member. The grips shall be self-aligning, that is, they shall be attached to the fixed and movable member, respectively, in such a manner that they will move freely into alignment as soon as any load is applied, so that the long axis of the test specimen will

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D-20.10 on Mechanical Properties.

Current edition approved March 26, 1976. Published May 1976. Originally published as D 638 - 41 T. Last previous edition D 638 - 72.

² Annual Book of ASTM Standards, Part 35.

³ Annual Book of ASTM Standards, Parts 10, 14, 32, 35, and 41.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Parts 10 and 41.

ASTM

D 638

coincide with the direction of the applied pull through the center line of the grip assembly. The test specimen shall be held in such a way that slippage relative to the grips is prevented insofar as possible. Grip surfaces that are deeply scored or serrated with a pattern similar to that of a coarse single-cut file, serrations about 2.4 mm ($1/16$ in.) apart and about 1.6 mm ($1/16$ in.) deep, have been found satisfactory for most thermoplastics. Finer serrations have been found to be more satisfactory for harder plastics such as the thermosetting materials. The serrations should be kept clean and sharp. Breaking in the grips may occur at times when deep serrations or abraded specimen surfaces are used; other techniques must be used in these cases. Other techniques that have been found useful, particularly with smooth-faced grips, are abrading that portion of the surface of the specimen that will be in the grips, and interposing thin pieces of abrasive cloth, abrasive paper, or plastic or rubber-coated fabric, commonly called hospital sheeting, between the specimen and the grip surface. No. 80 double-sided abrasive paper has been found effective in many cases. An open-mesh fabric in which the threads are coated with abrasive has also been effective. Reducing the cross-sectional area of the specimen may also be effective. The specimens should be aligned as perfectly as possible with the direction of pull so that no rotary motion that may induce slippage will occur in the grips; there is a limit to the amount of misalignment self-aligning grips will accommodate. The use of special types of grips is sometimes necessary to eliminate slippage and breakage in the grips.

5.1.4 Drive Mechanism—A drive mechanism for imparting to the movable member a uniform, controlled velocity with respect to the stationary member, this velocity to be regulated as specified in Section 8.

5.1.5 Load Indicator—A suitable load-indicating mechanism capable of showing the total tensile load carried by the test specimen when held by the grips. This mechanism shall be essentially free from inertia-lag at the specified rate of testing and shall indicate the load with an accuracy of ± 1 percent of the indicated value, or better. The accuracy of the testing machine shall be verified in ac-

cordance with Method E 4 (Note 8).

5.1.6 The fixed member, movable member, drive mechanism, and grips shall be constructed of such materials and in such proportions that the total elastic longitudinal strain of the system constituted by these parts does not exceed 1 percent of the total longitudinal strain between the two gage marks on the test specimen at any time during the test and at any load up to the rated capacity of the machine.

5.2 Extension Indicator A suitable instrument for determining the distance between two fixed points located within the gage length of the test specimen at any time during the test. It is desirable, but not essential, that this instrument automatically record this distance (or any change in it) as a function of the load on the test specimen or of the elapsed time from the start of the test, or both. If only the latter is obtained, load-time data must also be taken. This instrument shall be essentially free of inertia lag at the specified speed of testing and shall be accurate to ± 1 percent of strain or better (Note 10).

5.3 Micrometers—Suitable micrometers, reading to at least 0.025 ± 0.000 mm (0.001 ± 0.000 in.), for measuring the width and thickness of the test specimens. The thickness of nonrigid plastics should be measured with a dial micrometer that exerts a pressure of 24.8 ± 0.34 kPa (3.6 ± 0.7 psi) on the specimen and measures the thickness to within 0.025 mm (0.001 in.). The anvil of the micrometer shall be at least 35 mm (1.4 in.) in diameter and parallel to the face of the contact foot.

6. Test Specimens

6.1 Sheet, Plate, and Molded Plastics—The test specimen shall conform to the dimensions shown in Fig. 1. This specimen may be prepared by machining operations, or die cutting, from materials in sheet, plate, slab, or similar form, or it may be prepared by molding the material to be tested (Note 11).

6.2 The test specimen for rigid tubes shall be as shown in Fig. 2. The length, L , shall be as shown in the table in Fig. 2. A groove shall be machined around the outside of the specimen at the center of its length so that the wall section after machining shall be 60



D 638

percent of the original nominal wall thickness. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2 $\frac{1}{4}$ in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter. Steel or brass plugs having diameters such that they will fit snugly inside the tube and having a length equal to the full jaw length plus 25 mm (1 in.) shall be placed in the ends of the specimens to prevent crushing. They can be located in the tube conveniently by separating and supporting them on a threaded metal rod. Details of plugs and test assembly are shown in Fig. 2.

6.3 The test specimen for rigid rods shall be as shown in Fig. 3. The length, L , shall be as shown in the table in Fig. 3. A groove shall be machined around the specimen at the center of its length so that the diameter of the machined portion shall be 60 percent of the original nominal diameter. This groove shall consist of a straight section 57.2 mm (2 $\frac{1}{4}$ in.) in length with a radius of 76 mm (3 in.) at each end joining it to the outside diameter.

6.4 All surfaces of the specimen shall be free from visible flaws, scratches, or imperfections. Marks left by coarse machining operations shall be carefully removed with a fine file or abrasive and the filed surfaces shall then be smoothed with abrasive paper (No. 00 or finer). The finishing sanding strokes shall be made in a direction parallel to the long axis of the test specimen. All flash shall be removed from a molded specimen, taking great care not to disturb the molded surfaces. In machining a specimen, undercuts that would exceed the dimensional tolerances shown in Fig. 1 shall be scrupulously avoided. Care shall also be taken to avoid other common machining errors.

6.5 If it is necessary to place gage marks on the specimen, this shall be done with a wax crayon or India ink that will not affect the material being tested. Gage marks shall not be scratched, punched, or impressed on the specimen.

6.6 When testing materials that may be suspected of anisotropy, duplicate sets of test specimens shall be prepared having their long axes respectively parallel with, and normal to the suspected direction of anisotropy. (Note 9.)

7. Conditioning

7.1 *Conditioning* -- Condition the test specimens at 23 ± 2 C (73.4 ± 3.6 F) and 50 ± 5 percent relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Methods D 618 for those tests where conditioning is required. In cases of disagreement, the tolerances shall be 1 C (1.8 F) and ± 2 percent relative humidity.

7.2 *Test Conditions* -- Conduct tests in the Standard Laboratory Atmosphere of 23 ± 2 C (73.4 ± 3.6 F) and 50 ± 5 percent relative humidity, unless otherwise specified in the test methods. In cases of disagreements, the tolerances shall be 1 C (1.8 F) and ± 2 percent relative humidity.

8. Number of Test Specimens

8.1 At least five specimens shall be tested for each sample in the case of isotropic materials.

8.2 Ten specimens, five normal to, and five parallel with the principal axis of anisotropy, shall be tested for each sample in case of anisotropic materials.

8.3 Specimens that break at some obvious fortuitous flaw or that do not break between the predetermined gage marks shall be discarded and retests made, unless such flaws constitute a variable the effect of which it is desired to study.

9. Speed of Testing

9.1 Speed of testing shall be the relative rate of motion of the grips or test fixtures during the test. Rate of motion of the driven grip or fixture when the testing machine is running idle may be used if it can be shown that the resulting speed of testing is within the limits of variation allowed.

9.2 The speed of testing shall be chosen from one of the following:

Speed A	1.0 mm (0.04 in.) per min ± 25 percent
Speed B	5.0 mm (0.20 in.) per min ± 25 percent
Speed C	50 mm (2.0 in.) per min ± 10 percent
Speed D	500 mm (20 in.) per min ± 10 percent

The speed of testing shall be determined by the specification for the material being tested, or by agreement between those concerned. When the speed is not specified, then for specimen Types I through IV Speed B shall be used for rigid and semirigid plastics, and Speed C shall be used for nonrigid plastics; for Type V specimens, Speed A shall be used for rigid and semirigid plastics (see Definitions



D 638

D 883 for definitions). Modulus determinations may be made at the speed selected for the other tensile properties (Note 12).

10. Procedure

10.1 Measure the width and thickness of rigid flat specimens (Fig. 1) with a suitable micrometer to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at several points along their narrow sections. Measure the thickness of nonrigid specimens, produced by a Type IV die, in the same manner with the required dial micrometer. The width of this specimen shall be taken as the distance between the cutting edges of the die in the narrow section. Measure the diameter of rod specimens, and the inside and outside diameters of tube specimens to the nearest 0.025 mm (0.001 in.) at a minimum of two points 1.57 rad (90 deg) apart; make these measurements at the groove for specimens so constructed. Record the minimum values of cross-sectional area so determined. Use plugs in testing tube specimens as shown in Fig. 2.

10.2 Place the specimen in the grips of the testing machine, taking care to align the long axis of the specimen and the grips with an imaginary line joining the points of attachment of the grips to the machine. The distance between the ends of the gripping surfaces, when using flat specimens, shall be as indicated in Fig. 1. The location for the grips on tube and rod specimens shall be as shown in Figs. 2 and 3. Tighten the grips evenly and firmly to the degree necessary to prevent slippage of the specimen during the test but not to the point where the specimen would be crushed.

10.3 If modulus values are being determined, proceed as follows:

10.3.1 Attach the extension indicator.

10.3.2 Set the speed of testing at the proper rate (see 9.2) and start the machine.

10.3.3 Record loads and corresponding deformations at appropriate even intervals of strain.

10.3.4 Record the load carried by the specimen when the strain reaches 0.02 and the elapsed time from the start of the test until this point is reached. If rupture occurs before the strain reaches 0.02, record the elapsed time from the start of the test until the specimen breaks.

10.4 Determine the tensile strength and elongation by the following procedure:

10.4.1 Set the speed of testing at the proper rate as required in Section 9, and start the machine.

10.4.2 Record the load carried by the specimen when the strain reaches 0.02 and the elapsed time from the start of the test until this point is reached. If rupture occurs before the strain reaches 0.02, record the elapsed time from the start of the test until the specimen breaks.

10.4.3 Record the maximum load carried by the specimen during the test (also the load at the yield point or rupture, if different and applicable. (Note 13 and Appendix Note X1.1)).

10.4.4 Record the extension at the moment maximum load is attained by the specimen (also the extension at the yield point or rupture, if different and applicable (Note 13 and Appendix Note X1.2)).

11. Calculations*

11.1 *Tensile Strength*—Calculate the tensile strength by dividing the maximum load in newtons (or pounds-force) by the original minimum cross-sectional area of the specimen in square metres (or square inches). Express the result in megapascals (or pounds-force per square inch) and report it to three significant figures as Tensile Strength at Yield or Tensile Strength at Break, whichever term is applicable. When a nominal yield or breaking load, less than the maximum, is present and applicable, it may be desirable also to calculate, in a similar manner, the corresponding Tensile Stress at Yield or Tensile Stress at Break and report it to three significant figures (Appendix Note X1.1).

11.2 *Percentage Elongation*—Calculate the percentage elongation by dividing the extension at the moment maximum load is attained by the specimen by the original gage length and multiply by 100. Report the percentage elongation to two significant figures as Percentage Elongation at Yield or Percentage Elongation at Break, whichever term is applicable. When a nominal yield or breaking load less than the maximum is present and applicable, it may be desirable to calculate both the Percentage Elongation at Yield and Per-

*Round Robin data may be obtained from ASTM Headquarters, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103, by requesting RR D-20-1004.



D 638

centage Elongation at Break and report them to two significant figures (Appendix Note X1.2).

11.3 Mean Rate of Stressing—Calculate the mean rate of stressing by dividing the tensile load carried by the specimen when the strain reaches 0.02 or at the moment of rupture, whichever occurs first, by the original minimum cross-sectional area of the specimen, and then dividing this result by the time in seconds, measured from the beginning of the test, required to attain this tensile load and strain. Express the result in kilopascals (or pounds per square inch) per second and report it to three significant figures.

11.4 Mean Rate of Straining—Calculate the mean rate of straining from a strain-time curve, plotted for the purpose, by selecting any convenient point on the curve and dividing the strain represented by the point by the corresponding time. Express the result as a dimensionless ratio per second (units per second) and report it to three significant figures.

11.5 Modulus of Elasticity—Calculate the modulus of elasticity by extending the initial linear portion of the load-extension curve and dividing the difference in stress corresponding to a certain section on this straight line by the corresponding difference in strain. All elastic modulus values shall be computed using the average initial cross-sectional area of the test specimens in the calculations. The result shall be expressed in kilopascals (or pounds per square inch) and reported to three significant figures.

11.6 For each series of tests, calculate the arithmetic mean of all values obtained and report it as the "average value" for the particular property in question.

11.7 Calculate the standard deviation (estimated) as follows and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)}$$

where:

s = estimated standard deviation,
 X = value of single observation,
 n = number of observations, and
 \bar{X} = arithmetic mean of the set of observations.

12. Report

12.1 The report shall include the following:

12.1.1 Complete identification of the material tested, including type, source, manufacturer's code numbers, form, principal dimensions, previous history, etc.,

12.1.2 Method of preparing test specimens.

12.1.3 Type of test specimen and dimensions,

12.1.4 Conditioning procedure used,

12.1.5 Atmospheric conditions in test room,

12.1.6 Number of specimens tested,

12.1.7 Speed of testing,

12.1.8 Speed of testing for modulus determination,

12.1.9 Mean rate of stressing as calculated in 11.3,

12.1.10 Tensile Strength at Yield or Break, average value and standard deviation,

12.1.11 Tensile Stress at Yield or Break, if applicable, average value and standard deviation,

12.1.12 Percentage Elongation at Yield or Break, or both as applicable, average value and standard deviation,

12.1.13 Modulus of Elasticity, average value and standard deviation, and

12.1.14 Date of test.

EXPLANATORY NOTES

NOTE 1—The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

NOTE 2—This method is not well adapted to the testing of plastics in the form of thin sheets or films; a method for the testing of such forms is given in ASTM Method D 882, Test for Tensile Properties of Thin Plastic Sheeting.¹ Neither is this method particularly suitable for the testing of rubber or rubber-like polymers (elastomers), although the position of such materials as organic plastics is recognized.

NOTE 3—This method may be used for testing phenolic resin molded or laminated materials where comparative results are desired. However, where

correlation with previous data is an object, such materials should be tested in accordance with the following methods of the American Society for Testing and Materials: Methods D 229, and Method D 651.

NOTE 4—It is realized that a material cannot be tested without also testing the method of preparation of that material. Hence, when comparative tests of materials *per se* are desired, the greatest care must be exercised to ensure that all samples are prepared in exactly the same way. Similarly, for referee or comparative tests of any given series of specimens, care must be taken to secure the max-



D 638

imum degree of uniformity in details of preparation, treatment, and handling.

NOTE 5—This method is not intended to cover precise physical procedures. It is recognized that the constant-rate-of-crosshead-movement type of test leaves much to be desired from a theoretical standpoint, that wide differences may exist between rate of crosshead movement and rate of strain between gage marks on the specimen, and that the testing speeds specified disguise important effects characteristic of materials in the plastic state. Further, it is realized that variations in the thicknesses of test specimens, which are permitted by these procedures, produce variations in the surface-volume ratios of such specimens, and that these variations may influence the test results. Hence, where directly comparable results are desired, all samples should be of equal thickness. Special additional tests should be used where more precise physical data are needed.

NOTE 6—It is realized that "mean rate of stressing" as defined in these methods has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which most of the stress carried by the test specimen is applied and for that portion of the stress-strain curve in which principal stressing occurs. It is affected by the elasticity of the materials being tested but is fairly accurately determined by the method described. It can, if desired, be determined more precisely by calculation from load-time data, recorded especially for the purpose during a test.

NOTE 7—Since the existence of a true elastic limit in plastics, as in many other organic materials and in many metals, is debatable, the propriety of applying the term "elastic modulus" in its quoted generally accepted definition to describing the "stiffness" or "rigidity" of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are highly dependent on such factors as rate of application of stress, temperature, previous history of specimen, etc. However, stress-strain curves for plastics determined as described in this method almost always show a linear region at low stresses, and a straight line drawn

tangent to this portion of the curve permits calculation of an elastic modulus of the usually defined type. Such a constant is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and similar factors are realized.

NOTE 8—Experience has shown that many testing machines now in use are incapable of maintaining accuracy for as long as the periods between inspection recommended in Methods E 4. Hence, it is recommended that each machine be studied individually and verified as often as may be found necessary. It will frequently be necessary to perform this function daily.

NOTE 9—Before testing, all transparent specimens should be given a polariscopic inspection and those which show atypical or concentrated strain patterns should be rejected unless these "initial" strains constitute a variable the effect of which it is desired to study.

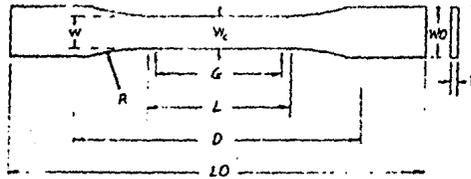
NOTE 10—Reference is made to Method E 83.

NOTE 11—Specimens prepared by injection molding may show different results than specimens prepared by machining or die-cutting because of the orientation induced. This effect may be more pronounced in specimens with narrower sections.

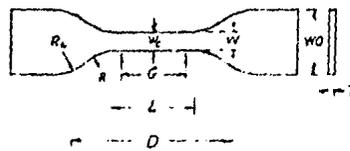
NOTE 12—A speed of testing of 1.3 mm (0.05 in.)/min, formerly required by this method when determining modulus of elasticity on certain materials continues to appear in some specifications. When desirable this speed may be substituted for the recommended speed provided the moduli so obtained are identified as having been determined under this provision.

NOTE 13—If tensile properties at both yield and break are considered applicable, it may be necessary, in the case of highly extensible materials (polyethylene, etc.), to run two independent tests. The crosshead speed and the high magnification extensometer normally used to determine properties up to the yield point may not be suitable for tests involving high extensibility. A faster crosshead speed and a broad range incremental extensometer, or hand rule technique, may be needed when such materials are to be taken to rupture.

ASTM D 638



TYPES I, II, III & V



TYPE II

Specimen Dimensions for Thickness, T , mm*

Dimensions (see drawings)	7 or under		Over 7 to 14	4 or under		Tolerances
	Type I*	Type II*	Type III	Type IV*	Type V*	
W —Width of narrow section*	13	6	19	6	3.18	+0.025
L —Length of narrow section	57	57	57	33	9.53	+0.025
$W'O$ —Width over-all, min*	19	19	29	19	9.53	+0.025
LO —Length over-all, min*	165	183	246	115	63.5	+0.025
G —Gage length†	50	50	50	...	7.62	+0.025
G —Gage length†	...	...	...	25	...	+0.025
D —Distance between grips	115	135	115	64	25.4	+0.025
R —Radius of fillet	76	76	76	14	12.7	+0.025
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	25	...	+0.025

Specimen Dimensions for Thickness, T , in.*

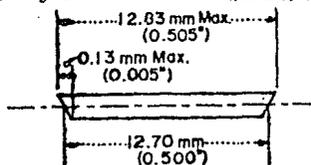
Dimensions (see drawings)	0.28 or under		Over 0.28 to 0.55 incl.	0.16 or under		Tolerances
	Type I*	Type II*	Type III	Type IV*	Type V*	
W —Width of narrow section*	0.50	0.25	0.75	0.25	0.125	+0.025
L —Length of narrow section	2.25	2.25	2.25	1.30	0.375	+0.025
$W'O$ —Width over-all, min*	0.75	0.75	1.13	0.75	0.375	+0.025
LO —Length over-all, min*	6.5	7.2	9.7	4.5	2.5	+0.025
G —Gage length†	2.00	2.00	2.00	...	0.300	+0.025
G —Gage length†	...	...	...	1.00	...	+0.025
D —Distance between grips	4.5	5.3	4.5	2.5	1.0	+0.025
R —Radius of fillet	3.00	3.00	3.00	0.56	0.5	+0.025
RO —Outer radius (Type IV)	...	...	...	1.00	...	+0.025

FIG. 3. Tension Test Specimens for Sheet, Plate, and Molded Plastics.

 D 638

* The width at the center W_c shall be plus 0.00 mm, minus 0.10 mm (+0.000 in., -0.004 in.) compared with width W at other parts of the reduced section. Any reduction in W at the center shall be gradual, equally on each side so that no abrupt changes in dimension result.

* For molded specimens, a draft of not over 0.13 mm (0.005 in.) may be allowed for either Type I or II specimens 3.2 mm (0.13 in.) in thickness, and this should be taken into account when calculating width of the specimen. Thus a typical section of a molded Type I specimen, having the maximum allowable draft, could be as follows:



* Test marks or initial extensometer span.

* Thickness, T , shall be 3.2 ± 0.4 mm (0.13 ± 0.02 in.) for all types of molded specimens, and for other Types I and II specimens where possible. If specimens are machined from sheets or plates, thickness, T , may be the thickness of the sheet or plate provided this does not exceed the range stated for the intended specimen type. For sheets of nominal thickness greater than 14 mm (0.55 in.) the specimens shall be machined to 14 ± 0.4 mm (0.55 ± 0.02 in.) in thickness, for use with the Type III specimen. For sheets of nominal thickness between 14 and 51 mm (0.55 and 2 in.) approximately equal amounts shall be machined from each surface. For thicker sheets both surfaces of the specimen shall be machined and the location of the specimen with reference to the original thickness of the sheet, shall be noted. Tolerances on thickness less than 14 mm (0.55 in.) shall be those standard for the grade of material tested.

* A Type I specimen, having an over-all width of 19 mm (0.75 in.) and an over-all length of 216 mm (8.5 in.) is the preferred specimen and shall be used whenever possible. The Type II specimen may be used when a material does not break in the narrow section with the preferred Type I specimen.

* Over-all widths greater than the minimum indicated may be desirable for some materials in order to avoid breaking in the grips.

* Over-all lengths greater than the minimum indicated may be desirable either to avoid breaking in the grips or to satisfy special test requirements.

* The Type IV specimen is intended for nonrigid plastics but may be used for rigid types where desirable. When used for nonrigid plastics, an over-all width of 25 mm (1.00 in.) is recommended and the dimensions given refer to the cutting die, when one is used. The internal width of the narrow section of the die shall be 6.00 ± 0.05 mm (0.250 ± 0.002 in.). The dimensions are essentially those of Die C in ASTM Method D 412, for Tension Testing of Vulcanized Rubber (*Annual Book of ASTM Standards*, Parts 27 and 28).

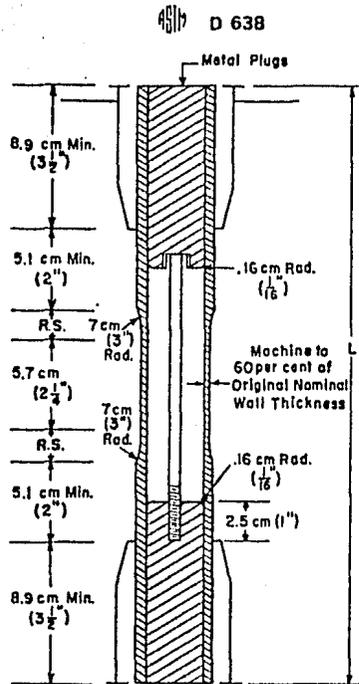
* When self-tightening grips are used, for highly extensible polymers, the distance between grips will depend upon the types of grips used and may not be critical if maintained uniform once chosen.

* The Type V specimen shall be machined or die cut to the dimensions shown, or molded in a mold whose cavity has these dimensions. The dimensions shall be:

- W = 3.18 ± 0.03 mm (0.125 ± 0.001 in.),
- L = 9.53 ± 0.08 mm (0.375 ± 0.003 in.),
- G = 7.62 ± 0.02 mm (0.300 ± 0.001 in.), and
- R = 12.7 ± 0.08 mm (0.500 ± 0.003 in.).

The other tolerances are those in the table. Supporting data on the introduction of the I specimen as the Type V specimen may be obtained from ASTM Headquarters, 1916 Race St., Philadelphia, Pa. 19103 by requesting RR-D-20-1038.

FIG. 1—Continued.

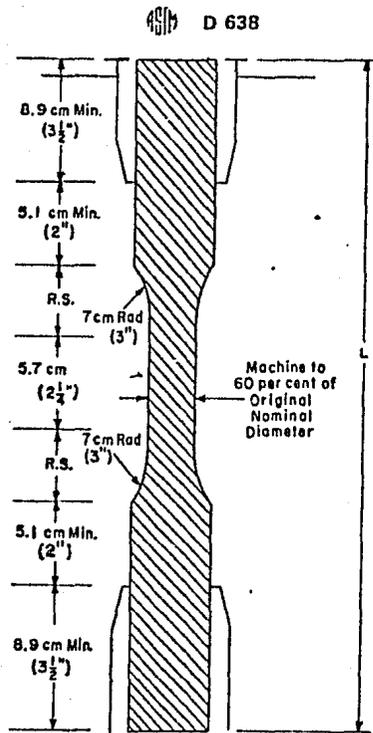


DIMENSIONS OF TUBE SPECIMENS

Nominal Wall Thickness	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, <i>L</i> , of Specimen to be Used for 89-mm (3 1/2-in.) Jaws
mm(in.)	mm(in.)	mm(in.)	mm(in.)
0.79 (1/32)	13.9 (0.547)	350 (13.80)	381 (15)
1.2 (1/8)	17.0 (0.670)	354 (13.92)	381 (15)
1.6 (1/16)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
2.4 (1/12)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
3.2 (1/8)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
4.8 (1/16)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
6.4 (1/4)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
7.9 (3/16)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
9.5 (3/8)	47.6 (1.873)	38 (15.12)	400 (15.75)
11.1 (7/16)	51.3 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
12.7 (1/2)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)

* For other jaws greater than 89 mm (3 1/2 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (1/4 to 1/2 in.) in each jaw while maintaining maximum length of jaw grip.

FIG. 2. Diagram Showing Location of Tube Tension Test Specimens in Testing Machine.



DIMENSIONS OF ROD SPECIMENS

Nominal Diameter	Length of Radial Sections, 2R.S.	Total Calculated Minimum Length of Specimen	Standard Length, <i>L</i> , of Specimen to be Used for 89-mm (3 1/2-in.) Jaws
mm (in.)	mm (in.)	mm (in.)	mm (in.)
3.2 (1/8)	19.6 (0.773)	356 (14.02)	381 (15)
4.7 (3/16)	24.0 (0.946)	361 (14.20)	381 (15)
6.4 (1/4)	27.7 (1.091)	364 (14.34)	381 (15)
9.5 (3/8)	33.9 (1.333)	370 (14.58)	381 (15)
12.7 (1/2)	39.0 (1.536)	376 (14.79)	400 (15.75)
15.9 (5/8)	43.5 (1.714)	380 (14.96)	400 (15.75)
19.0 (3/4)	47.6 (1.873)	384 (15.12)	400 (15.75)
22.2 (7/8)	51.5 (2.019)	388 (15.27)	400 (15.75)
25.4 (1)	54.7 (2.154)	391 (15.40)	419 (16.5)
31.8 (1 1/4)	60.9 (2.398)	398 (15.65)	419 (16.5)
38.1 (1 1/2)	66.4 (2.615)	403 (15.87)	419 (16.5)
42.5 (1 3/4)	71.4 (2.812)	408 (16.06)	419 (16.5)
50.8 (2)	76.0 (2.993)	412 (16.24)	432 (17)

* For other jaws greater than 89 mm (3 1/2 in.), the standard length shall be increased by twice the length of the jaws minus 178 mm (7 in.). The standard length permits a slippage of approximately 6.4 to 12.7 mm (1/4 to 1/2 in.) in each jaw while maintaining maximum length of jaw grip.

FIG. 3. Diagram Showing Location of Rod Tension Test Specimen in Testing Machine.

APPENDICES

XI. DEFINITIONS OF TERMS AND SYMBOLS RELATING TO TENSION TESTING OF PLASTICS

X1.1 Tensile Stress (nominal) is the tensile load per unit area of minimum original cross-section, within the gage boundaries, carried by the test specimen at any given moment. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch).

NOTE X1.1—The expression of tensile properties in terms of the minimum original cross-section is almost universally used in practice. In the case of materials exhibiting high extensibility, or "necking", or both, (X1.11) nominal stress calculations may not be meaningful beyond the yield point (X1.10) due to the extensive reduction in cross-sectional area that ensues. Under some circumstances it may be desirable to express the tensile properties per unit of minimum prevailing cross-section. These properties are called "true" tensile properties (that is, true tensile stress, etc.).

X1.2 Tensile Strength (nominal) is the maximum tensile stress (nominal) sustained by the specimen during a tension test. When the maximum stress occurs at the yield point (X1.10), it shall be designated Tensile Strength at Yield. When the maximum stress occurs at break, it shall be designated Tensile Strength at Break.

X1.3 Gage Length is the original length of that portion of the specimen over which strain or change in length is determined.

X1.4 Elongation is the increase in length produced in the gage length of the test specimen by a tensile load. It is expressed in units of length, usually millimetres (or inches). (Also known as *extension*.)

NOTE X1.2—Elongation and strain values are valid only in cases where uniformity of specimen behavior within the gage length is present. In the case of materials exhibiting "necking phenomena," such values are only of qualitative utility after attainment of "yield" point. This is due to inability to assure that necking will encompass the entire length between the gage marks prior to specimen failure.

X1.5 Percentage Elongation is the elongation of a test specimen expressed as a percentage of the gage length.

X1.6 Percentage Elongation at Yield and Break:
X1.6.1 Percentage Elongation at Yield is the percentage elongation at the moment the yield point (X1.10) is attained in the test specimen.

X1.6.2 Percentage Elongation at Break is the percentage elongation at the moment of rupture of the test specimen.

X1.7 Strain is the ratio of the elongation to the gage length of the test specimen, that is, the change in length per unit of original length. It is expressed as a dimensionless ratio.

X1.8 True Strain (see Fig. X1.1) is defined by the following equation for ϵ_T :

$$\epsilon_T = \int_{L_0}^L dL/L = \ln L/L_0$$

where:

dL = the increment of elongation when the distance between the gage marks is L ,

L_0 = the original distance between gage marks, and

L = the distance between gage marks at any time.

X1.9 Tensile Stress-Strain Curve is a diagram in which values of tensile stress are plotted as ordinates against corresponding values of tensile strain as abscissas.

X1.10 Yield Point is the first point on the stress-strain curve at which an increase in strain occurs without an increase in stress (Fig. X1.2).

NOTE X1.3—Only materials whose stress-strain curves exhibit a point of zero slope may be considered as having a yield point.

NOTE X1.4—Some materials exhibit a distinct "break" or discontinuity in the stress-strain curve in the elastic region. This break is not a yield point by definition. However, this point may prove useful for material characterization in some cases.

X1.11 Necking is the localized reduction in cross-section which may occur in a material under tensile stress.

X1.12 Yield Strength is the stress at which a material exhibits a specified limiting deviation from the proportionality of stress to strain. Unless otherwise specified, this stress will be the stress at the yield point and when expressed in relation to the Tensile Strength shall be designated either Tensile Strength at Yield or Tensile Stress at Yield as required under X1.2 (Fig. X1.2). (See *Offset Yield Strength*.)

X1.13 Offset Yield Strength is the stress at which the strain exceeds by a specified amount (the offset) an extension of the initial proportional portion of the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch).

NOTE X1.5—This measurement is useful for materials whose stress-strain curve in the yield range is of gradual curvature. The offset yield strength can be derived from a stress-strain curve as follows (Fig. X1.3):

On the strain axis lay off OM equal to the specified offset.

Draw OA tangent to the initial straight-line portion of the stress-strain curve.

Through M draw a line MN parallel to OA and locate the intersection of MN with the stress-strain



curve.

The stress at the point of intersection r is the "offset yield strength." The specified value of the offset must be stated as a percentage of the original gage length in conjunction with the strength value. Example: 0.1 percent offset yield strength = ...MPa (psi), or yield strength at 0.1 percent offset = ...MPa (psi).

X1.14 Proportional Limit is the greatest stress which a material is capable of sustaining without any deviation from proportionality of stress to strain (Hooke's law). It is expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch).

X1.15 Elastic Limit is the greatest stress which a material is capable of sustaining without any permanent strain remaining upon complete release of the stress. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch).

NOTE X1.6—Measured values of proportional limit and elastic limit vary greatly with the sensitivity and accuracy of the testing equipment, eccentricity of loading, the scale to which the stress-strain diagram is plotted, and other factors. Consequently, these values are usually replaced by yield strength.

X1.16 Modulus of Elasticity is the ratio of stress (nominal) to corresponding strain below the proportional limit of a material. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch) (Also known as *Elastic Modulus* or *Young's Modulus*).

NOTE X1.7—The stress-strain relations of many plastics do not conform to Hooke's law throughout the elastic range but deviate therefrom even at stresses well below the elastic limit. For such materials the slope of the tangent to the stress-strain curve at a low stress is usually taken as the modulus of elasticity. Since the existence of a true proportional limit in plastics is debatable, the propriety of applying the term "modulus of elasticity" to describe the stiffness or rigidity of a plastic has been seriously questioned. The exact stress-strain characteristics of plastic materials are very dependent on such factors as rate of stressing, temperature, previous specimen history, etc. However, such a value is useful if its arbitrary nature and dependence on time, temperature, and other factors are realized.

X1.17 Secant Modulus is the ratio of stress (nominal) to corresponding strain at any specified point on the stress-strain curve. It is expressed in force per unit area, usually megapascals (or pounds-force per square inch), and reported together with the specified stress or strain.

NOTE X1.8—This measurement is usually employed in place of modulus of elasticity in the case of materials whose stress-strain diagram does not demonstrate proportionality of stress to strain.

X1.18 Percentage Reduction of Area (Nominal) is the difference between the original cross-sectional area measured at the point of rupture after breaking and after all retraction has ceased, expressed as a percentage of the original area.

X1.19 Percentage Reduction of Area (True) is the difference between the original cross-sectional

area of the test specimen and the minimum cross-sectional area within the gage boundaries prevailing at the moment of rupture, expressed as a percentage of the original area.

X1.20 Rate of Loading is the change in tensile load carried by the specimen per unit time. It is expressed in force per unit time, usually newtons (or pounds-force) per minute. The initial rate of loading can be calculated from the initial slope of the load versus time diagram.

X1.21 Rate of Stressing (nominal) is the change in tensile stress (nominal) per unit time. It is expressed in force per unit area per unit time, usually megapascals (or pounds-force per square inch) per minute. The initial rate of stressing can be calculated from the initial slope of the tensile stress (nominal) versus time diagram.

NOTE X1.9—The initial rate of stressing as determined in this manner has only limited physical significance. It does, however, roughly describe the average rate at which the initial stress (nominal) carried by the test specimen is applied. It is affected by the elasticity and flow characteristics of the materials being tested. At the yield point, the rate of stressing (nominal) may become zero, but the rate of stressing (true) may continue to have a positive value if the cross-sectional area is decreasing.

X1.22 Rate of Straining is the change in tensile strain per unit time. It is expressed either as strain per unit time, usually metres per metre (or inches per inch) per minute, or percentage elongation per unit time, usually percentage elongation per minute. The initial rate of straining can be calculated from the initial slope of the tensile strain versus time diagram.

NOTE X1.10—The initial rate of straining is synonymous with the rate of crosshead movement divided by the initial distance between crossheads only in a machine with constant-rate-of-crosshead movement and when the specimen has a uniform original cross-section, does not "neck down," and does not slip in the jaws.

X1.23 Symbols—The following symbols may be used for the above terms:

SYMBOL	TERM
W	Load
ΔW	Increment of load
L	Distance between gage marks at any time
L_0	Original distance between gage marks
L_r	Distance between gage marks at moment of rupture
ΔL	Increment of distance between gage marks = elongation
A	Minimum cross-sectional area at any time
A_0	Original cross-sectional area
ΔA	Increment of cross-sectional area
A_r	Cross-sectional area at point of rupture measured after breaking specimen
A_T	Cross-sectional area at point of rupture, measured at the moment of rupture
t	Time
Δt	Increment of time
σ	Tensile stress
$\Delta \sigma$	Increment of stress
σ_T	True tensile stress

D 638

- σ_T Tensile strength at break (nominal)
- σ_{LT} Tensile strength at break (true)
- ϵ Strain
- $\Delta\epsilon$ Increment of strain
- ϵ_T Total strain, at break
- ϵ_T True strain
- $\%E$ Percentage elongation
- Y.P. Yield point
- E Modulus of elasticity

X1.24.1 Relations between these various terms may be defined as follows:

$$\sigma = W/A_0$$

$$\sigma_T = W/A$$

$$\sigma_T = W/A_0 \text{ (where } W \text{ is breaking load)}$$

$$\sigma_{LT} = W/A_T \text{ (where } W \text{ is breaking load)}$$

$$\epsilon = \Delta L/L_0 = (L - L_0)/L_0$$

$$\epsilon_T = (L_b - L_0)/L_0$$

$$\epsilon_T = \int_{L_0}^{L_b} dL/L = \ln L/L_0$$

$$\%E = [(L - L_0)/L_0] \times 100 = \epsilon \times 100$$

$$\text{Percentage reduction of area (nominal)} = [(A_0 - A_b)/A_0] \times 100$$

$$\text{Percentage reduction of area (true)} = [(A_0 - A_T)/A_0] \times 100$$

$$\text{Rate of loading} = \Delta W/\Delta t$$

$$\text{Rate of stressing (nominal)} = \Delta\sigma/\Delta t = (\Delta W/A_0)/\Delta t$$

$$\text{Rate of straining} = \Delta\epsilon/\Delta t = (\Delta L/L_0)/\Delta t$$

For the case where the volume of the test specimen does not change during the test, the following three relations hold:

$$\sigma_T = \sigma(1 + \epsilon) = \sigma L/L_0$$

$$\sigma_{LT} = \sigma_T(1 + \epsilon_T) = \sigma_{LT} L_b/L_0$$

$$A = A_0/(1 + \epsilon)$$

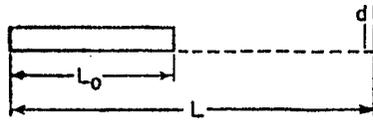
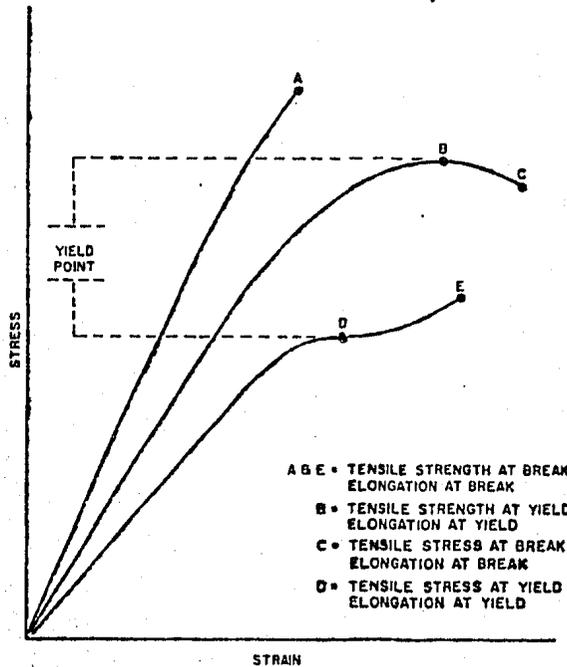


FIG. X1.1 Illustration of True Strain Equation



- A & E • TENSILE STRENGTH AT BREAK
ELONGATION AT BREAK
- B • TENSILE STRENGTH AT YIELD
ELONGATION AT YIELD
- C • TENSILE STRESS AT BREAK
ELONGATION AT BREAK
- D • TENSILE STRESS AT YIELD
ELONGATION AT YIELD

FIG. X1.2 Tensile Designations.

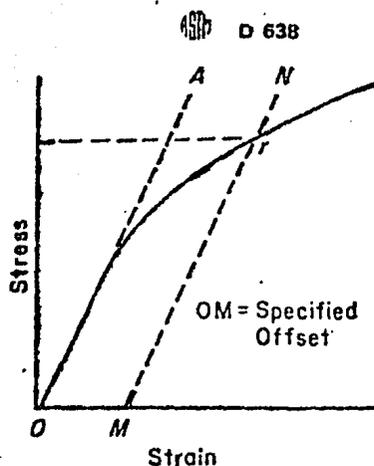


FIG. X1.3 Offset Yield Strength.

X2. CURRENT PRACTICES IN SPEEDS OF TESTING SPECIFIC MATERIALS

Material	Specimen Type	Grip Separation Speed mm (in.)/min	
Acrylic	Type I	5.0	(0.20)
ABS	Type I	5.0	(0.20)
Cellulosics: acetate, propionate, butyrate	Type I	5.0	(0.20)
Phenolics	Type I	5.0	(0.20)
Polyamides	Type I and Type II	50.	(2.0)
Polybutylene	Type IV	500.	(20.)
Polycarbonates	Type I	50.	(2.0)
Polyethylene	Type I	500.	(20.)
Types II, III, IV	Type IV	50.	(2.0)
Polypropylene	Type I	50.	(2.0)
Polystyrene	Type I	5.0	(0.20)
Polyvinylchloride	Type IV	500.	(20.)
Flexible	Type I	5.0	(0.20)
Rigid	Type I and Type II	5.0	(0.20)
Reinforced and laminated	Type I and Type II	5.0	(0.20)

X2.1 It is recommended that the user consult individual material specifications and Method D 638 standard speeds first before selecting a speed from this appendix.

X2.2 Appendix X2 was compiled from the returns of a 1970 questionnaire sent to all of Committee D-20. The detailed returns are filed at ASTM Headquarters; Reference RR: D-20-1015.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.



AMERICAN NATIONAL
STANDARD

ANSI/ASTM D 785 - 65 (Reapproved 1976)¹

Standard Test Method for ROCKWELL HARDNESS OF PLASTICS AND ELECTRICAL INSULATING MATERIALS¹

This Standard is issued under the fixed designation D 785; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval.

This method has been approved for use by agencies of the Department of Defense to replace method 1081 of Federal Test Method Standard 406 and for listing in the DoD Index of Specifications and Standards.

* NOTE—Section 2 was added and 3.7, 7.4, and 10.6 were revised editorially in May 1976.

1. Scope

1.1 This method covers two procedures for testing the indentation hardness of plastics and related plastic electrical insulating materials by means of the Rockwell hardness tester.

NOTE 1—The values stated in SI units are to be regarded as the standard.

2. Applicable Documents

2.1 ASTM Standards:

D 617 Test for Punching Quality of Phenolic Laminated Sheets²

D 618 Conditioning Plastics and Electrical Insulating Materials for Testing³

D 2240 Test for Indentation Hardness of Rubber and Plastics by Means of a Durometer⁴

E 18 Test for Rockwell Hardness of and Rockwell Superficial Hardness Metallic Materials⁵

3. Significance

3.1 A Rockwell hardness number is a number derived from the net increase in depth impression as the load on an indenter is increased from a fixed minor load to a major load and then returned to a minor load (Procedure A). A Rockwell alpha (α) hardness number represents the maximum possible remaining travel of a short-stroke machine from the net depth of impression, as the load on the indenter is increased from a fixed minor load to a major load (Procedure B). Indenters are round steel balls of specific diameters. Rock-

well hardness numbers are always quoted with a scale symbol representing the indenter size, load, and dial scale used. This method is based on Methods E 18, Procedure A (Section 10) yields the indentation of the specimen remaining 15 s after a given major load is released to a standard 10-kg minor load. Procedure B (Section 11) yields the indentation of the indenter into the specimen after a 15-s application of the major load while the load is still applied. Each Rockwell scale division represents 0.002-mm (0.00008-in.) vertical movement of the indenter.

3.2 A Rockwell hardness number is directly related to the indentation hardness of a plastic material, the higher the reading the harder the material. An α hardness number is equal to 150 minus the instrument reading. Due to a short overlap of Rockwell hardness scales by Procedure A, two different dial readings on different scales may be obtained on the same material, both of which may be technically correct.

3.3 For certain types of materials having creep and recovery, the time factors involved in applications of major and minor loads have

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-20 on Plastics and is the direct responsibility of Subcommittee D-20.10 on Mechanical Properties.

Current edition effective Aug. 31, 1965. Originally issued 1944. Replaces D 785 - 62.

² Annual Book of ASTM Standards, Part 39.

³ Annual Book of ASTM Standards, Part 35.

⁴ Annual Book of ASTM Standards, Part 10.



a considerable effect on the results of the measurements.

3.4 The results obtained by this method are not generally considered a measure of the abrasion or wear resistance of the plastic materials in question.

3.5 Indentation hardness is used as an indication of cure of some thermosetting materials at room temperature. Generally, an under-cured specimen has a hardness reading below normal.

3.6 Indentation hardness may be used as a control test for indicating the punching quality of laminated sheet stock at the processing temperature. Test methods are given in Method D 617.

3.7 Each Rockwell hardness scale in Table 1 is an extension of the preceding less severe scale, and while there is some overlap between adjacent scales, a correlation table is not desirable. Readings on one material may be satisfactory for such a table, but there is no guarantee that other plastic materials will give corresponding readings because of differences in elasticity, creep, and shear characteristics.

4. Factors Affecting Reproducibility and Accuracy

4.1 Rockwell hardness readings have been found reproducible to ± 2 divisions for certain homogeneous materials with a Young's modulus in compression over 3400 MPa (5×10^5 psi). Softer plastics and coarse-filled plastic materials will have a wider range of variation. A large ball indenter will distribute the load more evenly and decrease the range of test results (Note 2). The sensitivity of the instrument decreases with an increase in the dial reading and becomes very poor for readings of 100 and over due to the shallow indentation of the steel ball. It is desirable to use the smallest ball and highest load that is practical because of this loss of sensitivity. Rockwell hardness readings over 115 are not satisfactory and shall not be reported. Readings between zero and 100 are recommended, but readings to 115 are permissible. For comparison purposes, it may be desirable to take readings higher than 115 or lower than zero on any single scale. In such cases, Rockwell hardness readings may be reported, but the

corresponding correct reading shall follow in parentheses, if possible. Such alternate readings are not always feasible when the specimen is subject to constantly changing conditions or irreversible reactions.

NOTE 2—Molded specimens containing coarse fiber fillers, such as woven glass fabric, will influence the penetration obtained. These variations in hardness may be reduced by testing with the largest ball indenter consistent with the overall hardness of the material.

4.2 If the bench or table on which a Rockwell hardness tester is mounted is subject to vibration, such as is experienced in the vicinity of other machines, the tester should be mounted on a metal plate with sponge rubber at least 25 mm (1 in.) thick, or on any other type of mounting that will effectually eliminate vibrations from the machine. Otherwise the indenter will indent farther into the material than when such vibrations are absent.

4.3 Dust, dirt, grease, and scale or rust should not be allowed to accumulate on the indenter, as this will affect the results. Steel ball indenters that have nicks, burrs, or are out of round shall not be used.

4.4 The condition of the test equipment is an important factor in the accuracy of the tests. Dust, dirt, or heavy oil act as a cushion to the load supporting members of the test equipment and cause erroneous readings of the instrument dial. The shoulders of the instrument housing, indenter chuck, ball seat in the instrument housing, capstan, capstan screw, and anvil shoulder seat should be kept clean and true. The capstan and screw should be lightly oiled.

4.5 Surface conditions of the specimen have a marked effect on the readings obtained in a test. Generally, a molded finish will give a higher Rockwell reading than a machined face due to the high resin content of filled materials or better orientation and lower plasticizer content of unfilled plastic materials. Tubular or unsupported curved specimens are not recommended for plastic hardness testing. Such curved surfaces have a tendency to yield with the load and produce an unsymmetrical indentation pattern.

4.6 Many plastic materials have anisotropic characteristics, which cause indentation hardness to vary with the direction of testing.


D 785

In such cases, the hardest face is generally that one perpendicular to the molding pressure.

4.7 Rockwell hardness tests of the highest accuracy are made on pieces of sufficient thickness so that the Rockwell reading is not affected by the supporting anvil. A bulge, change in color, or other marking on the under surface of the test specimen closest to the anvil, is an indication that the specimen is not sufficiently thick for precision testing. Stacking of thin specimens is permitted provided they are flat, parallel, and free from dust or burrs. The precision of the test is reduced for stacked specimens, and results should not be compared to a test specimen of standard thickness.

5. Apparatus

5.1 *Rockwell Hardness Tester*, in accordance with the requirements of Section 7. A flat anvil at least 50 mm (2 in.) in diameter shall be used as a base plate for flat specimens.

5.2 For Rockwell hardness testing, it is necessary that the major load, when fully applied, be completely supported by the specimen and not held by other limiting elements of the machine. To determine whether this condition is satisfied, the major load should be applied to the test specimen. If an additional load is then applied, by means of hand pressure on the weights, the needle should indicate an additional indentation. If this is not indicated, the major load is not being applied to the specimen, and a long-stroke (PL) machine or less severe scale should be used. For the harder materials with a modulus around 5500 MPa (8×10^5 psi) or over, a stroke equivalent to 150 scale divisions, under major load application, may be adequate; but for softer materials the long-stroke (250 scale divisions under major load) machine is required.

5.3 A V-block anvil or double roller anvil shall be used if solid rods are tested.

6. Test Specimen

6.1 The standard test specimen shall have a minimum thickness of 6 mm ($1/4$ in.) unless it has been verified that, for the thickness used, the hardness values are not affected by the supporting surface and that no imprint shows

on the under surface of the specimen after testing. The specimen may be a piece cut from a molding or sheet or it may be composed of a pile-up of several pieces of the same thickness, provided that precaution is taken that the surfaces of the pieces are in total contact and not held apart by sink marks, burrs from saw cuts, or other protrusions. Care shall be taken that the test specimen has parallel flat surfaces to ensure good seating on the anvil and thus avoid the deflection that may be caused by poor contact. The specimen shall be at least 25 mm (1 in.) square if cut from sheet stock, or at least 6 cm² (1 in.²) in area if cut from other shapes. The minimum width shall be 13 mm ($1/2$ in.).

6.2 The diameter of solid rod specimens shall be not less than three times the diameter of the steel ball indenter. Tests parallel to the laminations of rods cut and ground from sheet stock are not recommended due to partial delamination of the specimen.

7. Calibration

7.1 Check the Rockwell hardness tester periodically with a small machinist's level along both horizontal axes from a flat anvil for correct positioning. Minor errors in leveling are not critical, but correct positioning is desirable.

7.2 The adjustment of speed-of-load application is of great importance. Adjust the dash-pot on the Rockwell tester so that the operating handle completes its travel in 4 to 5 s with no specimen on the machine or no load applied by the indenter to the anvil. The major load shall be 100 kg for this calibration. When so adjusted, the period taken for the mechanism to come to a stop with the specimen in place will vary from 5 to 15 s, depending upon the particular specimen, the indenter, and the load used. The operator should check the instrument manual for this adjustment.

7.3 Select a test block in a range using ball type indenters (B or E, see Table 1 of Methods E 18), and make five impressions on the test surface of the block. Compare the average of these five tests against the hardness calibration of the block. If the error is more than ± 2 hardness numbers, bring the machine into adjustment as described in 7.4 or in 4.3 and 4.4.



D 785

Note 3—Standard test blocks for the other scales in Table 1 are not now available. If the equipment checks out on the E scale and K scale, it can be assumed that the basic Rockwell hardness tester is satisfactory. It may be assumed that other indenters are satisfactory if they meet the conditions of Section 4 and Table 1.

7.4 Check the index lever adjustment periodically and make adjustments if necessary. To adjust the index lever, place a specimen (plastic with low creep or soft metal) on the anvil and turn the knurled elevating ring to bring the specimen in contact with the indenter. Keep turning the ring to elevate the specimen until positive resistance to further turning is felt, which will be after the 10-kg minor load is encountered. When excessive power would have to be used to raise the specimen higher, set the dial so that the set position is at the top and take note of the position of the pointer on the dial. If the pointer is between B 50 and B 70 on the red scale, no adjustment is necessary; if the pointer is between B 45 and B 50, adjustment is advisable; and if the pointer position is anywhere else, adjustment is imperative. As the pointer revolves several times when the specimen is elevated, the readings mentioned above apply to that revolution of the pointer which occurs either as the reference mark on the gage stem disappears into the sleeve or as the auxiliary hand on the dial passes beyond the zero setting on the dial. The object of this adjustment is to determine if the elevation of the specimen to the minor load does not cause even a partial application of the major load. Apply the major load only through the release mechanism.

8. Conditioning

8.1 Conditioning—Condition the test specimens at 23 ± 2 C (73.4 ± 3.6 F) and 50 ± 5 percent relative humidity for not less than 40 h prior to test in accordance with Procedure A of Methods D 618, unless it has been shown that conditioning is not necessary. In cases of disagreement, the tolerances shall be 1 C (1.8 F) and ± 2 percent relative humidity.

7.2 Test Conditions—Conduct tests in the Standard Laboratory Atmosphere of 23 ± 2 C (73.4 ± 3.6 F) and 50 ± 5 percent relative humidity, unless otherwise specified in the test methods or in this specification. In

cases of disagreements, the tolerances shall be 1 C (1.8 F) and ± 2 percent relative humidity.

Note 4—Operation of this test equipment above and below normal temperature is not recommended due to the change in viscosity of the dashpot oil and the close tolerance of the gage.

9. Number of Tests

9.1 At least five hardness tests shall be made on isotropic materials. For anisotropic materials, at least five hardness tests shall be made along each principal axis of anisotropy, provided the sample size permits.

10. Procedure A

10.1 Choose the correct scale for the specimen under test. Rockwell hardness values are reported by a letter to indicate the scale used and a number to indicate the reading. The choice of scales shall be governed by the considerations concerned with the total indentation readings and the final scale reading for a particular material and scale (see Table 1 and 4.1, 5.2 and 10.5). The Rockwell hardness scale used shall be selected from those listed in Table 1, unless otherwise noted in individual methods or specifications.

10.2 Discard the first reading after changing a ball indenter, as the indenter does not properly seat by hand adjustment in the housing chuck. The full pressure of the major load is required to seat the indenter shoulder into the chuck.

10.3 With the specimen in place on the anvil, turn the capstan screw until the small pointer is at a zero position and the large pointer is within ± 5 divisions of B 30 or the "set" position on red scale. This adjustment applies without shock a minor load of 10 kg, which is built into the machine. Final adjustment of the gage to "set" is made by a knurled ring located on some machines just below the capstan hand wheel. If the operator should overshoot his "set" adjustment, another trial shall be made in a different test position of the specimen; under no circumstances should a reading be taken when the capstan is turned backward. Within 10 s after applying the minor load, and immediately after the "set" position is obtained, apply the major load by releasing the trip lever (Note 5). Remove the major load 15 (+1, -0) s after its application. Read the Rockwell hardness on the red scale



D 785

to the nearest full-scale division 15 s after removing the major load.

NOTE 5—The application of the minor load starts when the gage pointer starts to move; this is not the point of final zero adjustment.

10.4 Record the readings as follows: Count the number of times the needle passes through zero on the red scale on the application of the major load. Subtract from this the number of times the needle passes through zero upon the removal of this load. If this difference is zero, record the value as the reading plus 100. If the difference is 1, record the reading without change, and, if the difference is 2, record the reading as the scale reading minus 100 (Note 6). Softer plastic materials, requiring a less severe scale than the R scale, shall be tested by Method D 2240.

NOTE 6: Example—With a difference of two revolutions and a scale reading of 97, indentation hardness values should be reported as $-3 = (97 - 100)$.

10.5 Determine the total indentation, with the major load applied, by the number of divisions the pointer travels from the zero set position during the 15 s from the time the lever is tripped.

10.6 If the total indentation, reading with the major load applied, for a particular scale exceeds the limits of the test machine used (150 divisions for regular machines and 250 divisions for PL machines), use the next less severe scale. Thus, if the M scale indentation (with major load) is 290 divisions, use L Rockwell scale.

10.7 Do not make the tests so near the edge of the specimen that the indenter will crush out the edge when the major load is applied. In no case shall the clearance be less than 6 mm ($1/4$ in.) to the edge of the specimen. Neither should tests be made too close to each other, as the plastic surface is damaged from the previous indentation. Never make duplicate tests on the opposite face of a specimen; if a specimen is turned over and retested on the opposite face, the ridges on the first face will contribute to a softer reading on the second face.

11. Procedure B

11.1 Use the R scale with a 12.7 mm ($1/2$ -in.) indenter and 60-kg major load in this test.

NOTE 7—This is the only scale approved for plastics testing by Procedure B.

11.2 Determine the "spring constant" or correlation factor of the machine as follows: Place a soft copper block, of sufficient thickness and with plane parallel surfaces, on the anvil in the normal testing position. Raise the sample and anvil by the capstan screw to the 12.7 mm ($1/2$ -in.) indenter until the small pointer is at the starting dot and the large pointer reads zero on the black scale. Apply the major load by tripping the load release lever. The dial gage will then indicate the vertical distance of indentation plus the spring of the machine frame and any other elastic compressive deformation of the indenter spindle and indenter. Repeat this operation several times without moving the block, but resetting the dial to zero after each test while under minor load, until the deflection of the dial gage becomes constant, that is, until no further indentation takes place and only the spring of the instrument remains. This value, in terms of dial divisions, is the correction factor to be used in 10.4.

11.3 Following the machine adjustment described in 7.2 and 7.4, place the test specimen in position on the anvil. With the specimen in place, apply the minor load of 10 kg and make the zero setting within 10 s; apply the major load *immediately* after the zero setting has been completed (Note 8). Observe and record the total number of divisions that the pointer of the dial gage passes through during 15 s of major load application. It is to be noted that the numbers shown on the standard dial gage are not to be used, but the actual scale divisions representing indentation shall be counted. For this reason, the black scale is recommended. A full revolution of the needle represents 100 divisions (Note 9). The limitations of 5.2 still apply to this procedure.

NOTE 8—Materials subject to excessive creep are not suitable for this procedure.

NOTE 9—The total indentation equals the number of revolutions $\times 100$ + the reading on the black scale.

11.4 The total scale divisions that are indicated by the dial gage, as observed in 11.3, represent the indentation produced plus the spring constant correction of the test instrument. Subtract this correction factor (11.2) from the observed reading, and record the difference as the total indentation under load.

11.5 The hardness determined by this pro-



D 785

cedure shall be known as the alpha, α , Rockwell hardness number and shall be calculated as follows:

$$\alpha \text{ Rockwell hardness number} = 150 - \text{total indentation under load}$$

Note 10: Examples—With a total indentation of 30 divisions, obtained as described in 11.3 and 11.4, the value is α 120; or if the total indentation is 210, the value is α 60.

12. Calculation

12.1 Calculate the arithmetic mean for each series of tests on the same material and at the same set of test conditions. Report the results as the "average value" rounded to the equivalent of one dial division.

12.2 Calculate the standard deviation (estimated) as follows, and report it to two significant figures:

$$s = \sqrt{(\sum X^2 - n\bar{X}^2)/(n - 1)}$$

where:

s = estimated standard deviation,

X = value of a single observation,

\bar{X} = arithmetic mean of a set of observations, and

n = number of observations in the set.

13. Report

13.1 The report shall include the following:

13.1.1 Material identification,

13.1.2 Filler identification and particle size, if possible,

13.1.3 Total thickness of specimen,

13.1.4 The number of pieces in the specimen and the average thickness of each piece,

13.1.5 Surface conditions, for example, molded or machined, flat or round,

13.1.6 The procedure used (Procedure A or B).

13.1.7 The direction of testing (perpendicular or parallel to molding or anisotropy),

13.1.8 A letter indicating the Rockwell hardness scale used,

13.1.9 An average Rockwell hardness number calculated by Procedure A or B,

13.1.10 The standard deviation, and

13.1.11 The testing conditions.

TABLE 1 Rockwell Hardness Scales

Rockwell Hardness Scale (Red Dial Numbers)	Minor Load, kg	Major Load, kg*	Indenter Diameter	
			in.	mm
R	10	60	0.5000 ± 0.0001	12.700 ± 0.0025
L	10	60	0.2500 ± 0.0001	6.350 ± 0.0025
M	10	100	0.2500 ± 0.0001	6.350 ± 0.0025
E	10	100	0.1250 ± 0.0001	3.175 ± 0.0025
K	10	150	0.1250 ± 0.0001	3.175 ± 0.0025

* This major load is not the sum of the actual weights at the back of the frame but is a ratio of this load, depending on the leverage arm of the machine. One make and model has a 25 to 1 leverage arm.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, is entirely their own responsibility.

BIBLIOGRAFIA**1.- TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS PARA INGENIEROS**

Volumen IV

Dr. Ing. C. M. Von Meysen Bug

Ediciones Urmo, 1963.

2.- CERCA DE LA QUIMICA

José L. Negro, José M. Esteban

Editorial ALHAMBRA.

3.- ENCICLOPEDIA COMBI VISUAL

Ediciones Océano-Exito, S.A.

Volumen IV.

4.- HAZAÑAS CIENTIFICAS DE NUESTROS TIEMPOS

"El Impacto de la Invención Moderna"

Ronald W. Clark

Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología

México, D.F., 1979.

5.- TRANSFORMACION DE PLASTICOS

V. K. Savgorodny

Editorial Gustavo Gili, S.A.

6.- INYECCION DE PLASTICOS

W. Mink

Editorial Gustavo Gili, S.A.

7.- CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS

Karl A. Keyser

Editorial Limusa, S.A.

- 8.- MATERIALES PARA INGENIERIA**
Lauren Van Vlack
Editorial C.E.C.S.A., México.
- 9.- EXTRUSION DE PLASTICOS**
E. G. Fisher
Editorial C.E.C.S.A. 1970.
- 10.- PROCESOS DE FABRICACION**
Miron L. Begeman, B.H. Amstead
Editorial C.E.C.S.A. 1963.
- 11.- MATERIA**
Ralph E. Lapp
Time Life Internacional, 1969.
- 12.- QUIMICA**
Gregory R. Chopin, Bernard Jaffe
Publicaciones Cultural, S.A.
México, D.F., 1968.
- 13.- ANUARIO LATINOAMERICANO DE LOS PLASTICOS**
Publi-News Latinoamericano, S.A., C.V.
Diciembre, 1982.
- 14.- TERMOPLASTICOS REFORZADOS**
W.V. Titow y B.J. Lanham
Ed. Americana Lee
Buenos Aires, Argentina.
- 15.- MACROMOLECULAS**
José a Bellido V.
UNAM, 1981.

- 16.- NATURALEZA**
Carlos Rangel Nafaile
Número 6,
UNAM, 1982.
- 17.- QUIMICA Y TECNOLOGIA DE LOS PLASTICOS**
Walter E. Diver
Editorial C.E.C.S.A.
- 18.- PLASTICOS EN MARCHA**
Organo Oficial de la Asociacion del Plastico, A.C.
Números: 5 (febrero-marzo) y 6 (abril-mayo) de 1963.
- 19.- PLASTICOS MODERNOS**
Edición Técnica y Cultural, S.A.
Abril 1969.
- 20.- ESCENARIOS ECONOMICOS DE MEXICO**
Perspectivas de desarrollo para ramas seleccionadas 1981-1985
S. P. P.
- 21.- ANALISIS SECTORIALES**
Tomo 1.
CANACINTRA, 1977.
- 22.- 4o DIRECTORIO DE LOS PLASTICOS 1979**
Publi-Noticias, S.A.
- 23.- PLASTICOS, FORMULACION Y MOLDEO**
Herbert R. Simonds
Editorial C.E.C.S.A.