

2472



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**FACULTAD DE QUIMICA**

**MANUFACTURA, USOS Y PROPIEDADES  
DEL POLIETILENTEREFTALATO**

**TRABAJO MONOGRAFICO  
DE ACTUALIZACION**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:  
**INGENIERO QUIMICO**  
P R E S E N T A ;

**RICARDO RODRIGUEZ MARTINEZ**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



## **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 está 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.

## CONTEXTO

	Pag.
RESUMEN	1
1 INTRODUCCION	2
1.1 Objetivos	
1.2 Origen.	
1.3 Desarrollo comercial.	
2 PROPIEDADES	5
2.1 Fibra textil (dacrón).	
2.1.1 Propiedades físicas.	
2.1.2 Propiedades químicas.	
2.1.3 Propiedades eléctricas.	
2.2 Película (Mylar).	
2.2.1 Propiedades físicas.	
2.2.2 Propiedades químicas.	
2.2.3 Propiedades eléctricas.	
3 USOS	49
3.1 Como fibra textil.	
3.1.1 Telas.	
3.1.2 Usos domésticos.	
3.1.3 Aplicaciones industriales.	
3.1.4 Cordelería.	
3.2 Como película.	
3.2.1 Tipos.	
3.2.2 Envases y botellas.	
3.2.3 Aislante eléctrico.	
3.2.4 Laminados metálicos.	
3.2.5 Cintas y películas.	
3.2.6 Recubrimientos y empaques.	

<b>4 MANUFACTURA</b>	<b>63</b>
<b>4.1 Proceso de obtención.</b>	
4.1.1 Oxidación de p-xileno.	
4.1.2 Esterificación.	
4.1.3 Transesterificación.	
4.1.4 Policondensación.	
<b>4.2 Extrusión de la fibra.</b>	
<b>4.3 Películas.</b>	
<b>4.4 Materias primas.</b>	
4.4.1 P-xileno.	
4.4.2 Metanol.	
4.4.3 Etilénglicol.	
4.4.4 Acido nítrico.	
<b>5 DISCUSION</b>	<b>73</b>
<b>6 CONCLUSIONES</b>	<b>76</b>
<b>BIBLIOGRAFIA</b>	<b>77</b>

## RESUMEN

En éste trabajo monográfico se resume el origen, descubrimiento y desarrollo comercial del polietiléntereftalato (cap. 1).

Se presentan las propiedades físicas, mecánicas, químicas y eléctricas del mismo, tanto como fibra textil como película de poliéster (cap. 2).

Se hacen resaltar los usos y amplia gama de aplicaciones de la fibra (dacrón) y la película (Mylar), en su aprovechamiento doméstico e industrial (cap. 3).

En el cap. 4 se describe en forma detallada y concisa su manufactura y en forma general la materia prima requerida para obtención de este polímero.

Se incluye una discusión de los datos más relevantes del contexto presentado, las conclusiones obtenidas en su desarrollo y la bibliografía consultada para la consecución del mismo.

## CAPITULO I

## INTRODUCCION

## 1.1 Objetivos.

Los objetivos fundamentales del presente trabajo son: resumir y clasificar la información dispersa en la literatura para preservar y disponer de documentación que enriquezca el acervo bibliográfico de las fuentes existentes en la biblioteca de nuestra Facultad, acerca de este polímero.

Presentar un bosquejo de su desarrollo, importancia comercial, propiedades, usos y manufactura del polietiléntereftalato, bajo el plan propuesto que se indica en el contexto, así como las conclusiones obtenidas y la bibliografía consultada para la realización de este trabajo.

## 1.2 Orígen.

El descubrimiento de la fibra de poliéster dacrón (polietiléntereftalato) tuvo su origen hacia 1920, en los trabajos de W.H. Carothers y colaboradores, de construir moléculas gigantes (pesos moleculares mayores de 10,000). Al probar con poliésteres obtuvieron elevados pesos moleculares, poca estabilidad de las moléculas propensas a la escisión en los enlaces carbono-oxígeno y temperaturas de fusión de los polímeros demasiado bajas; se probaron entonces mezclas de poliésteres y poliamidas y después a las poliamidas solas, de estos trabajos surgió el nylon que fué la primera fibra textil sintética. (1).

Basándose en los trabajos de Carothers, J.R. Whinfield y J.T. Dickson en Inglaterra (Calico Printers Association Ltd.) alcanzaron en 1941 las propiedades necesarias para las fibras de poliéster, obteniendo a escala de laboratorio el polímero polietiléntereftalato (pet), con el que prepararon fibras tenaces, resistentes a la hidrólisis, de elevada temperatura de fusión y estirables en frío (2).

### 1.3 Desarrollo Comercial.

En 1948 E.I. Du Pont de Nemours & Co. Inc. adquirió los derechos de la patente para Estados Unidos. La Imperial Chemical Industries Ltd. (ICI), de la Gran Bretaña obtuvo también los derechos de la patente para el resto del mundo (3,4). ICI empezó su producción en planta piloto en 1948, la fibra de poliéster dacrón (designada inicialmente en el laboratorio "fibra V"), se obtuvo experimentalmente en el año de 1950. La primera fábrica estadounidense en gran escala se situó en Kinston, N.C. (Carolina del Norte) y comenzó su producción en marzo de 1953 (1).

Las fibras de polietiléntereftalato son fabricadas por Du Pont bajo el nombre comercial de dacrón (5). En Inglaterra dichas fibras se registran bajo los nombres de terylene y dacrón (6).

Posteriormente se extendió la producción de materiales similares por fabricantes en otros países, entre los cuales se incluyen (3, 6, 7) :

<u>P A I S :</u>	<u>NOMBRES COMERCIALES :</u>
Alemania Occidental	Diolen, Trevira
Alemania Oriental	Lanon
Canadá	Terylene
Checoslovaquia	Silon-Extra, Tesil, Velana
España	Teriber
Francia	Tergal, Eural
Holanda	Terlenka
Italia	Terital, Wistel
India	Terene
Japón	Tetoron, Kuraray-Polyester, Nitiray, Toyobo-Polyester
Polonia	Elana
U. S. A.	Fortrel, Vycron, Hystron, Quintess, Vytacord, Encron, Avlen, Blue C Polyester
U.R.S.S.	Lavsan

## CAPITULO 2

## PROPIEDADES

## 2.1 Fibra Textil

## 2.1.1 Propiedades Físicas.

Apariencia microscópica : Las fibras de poliéster dacrón son de sección transversal circular, en la mayoría de los casos se encuentran teñidas, figura 2.1 (B).

Su color natural es blanco-marfil pálido, (9) y según la cantidad de pigmento deslustrante añadido al polímero, puede variar desde lustroso y semitranslúcido a mate y opaco.

El dacrón tiene una densidad de 1.38 g/ml a la temperatura ordinaria y funde a 250°C aproximadamente. Tiene un peso molecular promedio entre 20,000 y 30,000. Como el dacrón es termoplástico, es posible estabilizar las telas en caliente, igual que para las telas de nylon, estabilizándolas para el lavado normal y planchaco (1).

Las fibras presentan una excelente resistencia a las bacterias, microbios e insectos, debido a que no son biodegradables para ellos (9).

Tenacidad y alargamiento: La tenacidad promedio, resistencia a la tracción y el alargamiento de las fibras de dacrón se dan en la tabla 2.1. Las muestras fueron acondicionadas a 72% de humedad relativa y a una temperatura de 24°C (1,9).

Recuperación del estirado: En las tablas 2.2 a 2.4, se dan algunas medidas de laboratorio para muestras de hilaza de filamento continuo de dacrón, con elongaciones alta y baja en la rotura (1), en función de la velocidad de estiramiento.



Fig. 2.1 Sección transversal de la fibra de poliéster dacrón.

Tabla 2.1 Tenacidad, resistencia a la tracción  
y alargamiento del dacrón.

F i b r a	Tenacidad a la rotura en g/denier. (*)	Resistencia a la tracción en Kg/cm <sup>2</sup> .	% De alargamiento en la rotura.
Tipo 5100 (hilaza de filamento)	6.0	Aprox. 7500	12
Tipo 5500 (hilaza de filamento)	4.8	Aprox. 5900	20
Tipo 5600 (hilaza de filamento)	4.8	Aprox. 5900	20
Tipo 5400 ( cuerda no rizada). (**)	3.8	Aprox. 4700	38

(\*) Denier = Unidad de medida empleada para definir la finura de las fibras textiles. El Denier expresa el peso en gramos de 9000 metros de fibra o de hilo.

(\*\*) Las fibras cortadas se obtienen del tipo cuerda 5400.

Tabla 2.2 Recuperación del estirado.

Velocidad de carga rápida.

	Recuperación del estirado por tracción	
% de estirado	Hilaza de baja elongación, % de recuperación.	Hilaza de alta elongación, % de recuperación.
2	100	97
4	100	90
6	90	80

Tabla 2.3 Recuperación del estirado.  
Velocidad intermedia de  
carga (a):

% de estiramiento	Recuperación del estirado por tracción.		Recuperación del trabajo de alargamiento.	
	Hilaza de baja elongación, % de recuperación.	Hilaza de alta elongación, % de recuperación.	Hilaza de baja elongación, % de recuperación.	Hilaza de alta elongación, % de recuperación.
1	100	99	82	85
3	82	82	49	47
5	69	62	35	26

(a) Muestras de hilaza con carga a 10% de extensión por minuto sostenidas en estado de estiramiento 30 segundos y después descargadas para permitir la recuperación a 10% por minuto.

Tabla 2.4 Recuperación del estirado.  
Velocidad de carga lenta (b),

% de estiramiento	Recuperación del trabajo de alargamiento.		
	Hilaza de baja elongación.		Hilaza de alta elongación.
	60% de h.r. (e), 21°C, % de recuperación.	Mojado, 21°C, % de recuperación.	60% de h.r. 21°C, % de recuperación.
0.5	92	92	97
1	71	79	85
2	60	60	54
5	64	--	32

(e) Humedad relativa.

(b) Muestras de hilaza con carga a 1% de extensión por minuto, sostenidas en estado de estiramiento 30 segundos y después descargadas para permitir la recuperación a 1% por minuto.

Curvas de esfuerzo-deformación: A temperatura ordinaria el módulo inicial (resistencia al alargamiento inicial) del dacrón es elevado en comparación con otras fibras sintéticas. La resistencia al alargamiento del dacrón es menor a altas temperaturas, pero a diferencia de la mayor parte de las fibras, no es afectado de modo apreciable por la humedad. El módulo y otras características esfuerzo-deformación a 72% de humedad relativa y 24°C, pueden obtenerse de las curvas en la figura 2.2. Aunque éstas se refieren sólo a la hilaza de los tipos 5100 y 5500, la hilaza del tipo 5600 tiene aproximadamente los mismos caracteres de esfuerzo-deformación que la del tipo 5500. Los datos fueron obtenidos en un aparato "Instron" a 10% de alargamiento por minuto con hilaza sin torcer de filamento continuo de dacrón (1).

Las gráficas de las figuras 2.3 y 2.4 muestran la comparación de las curvas esfuerzo-deformación del dacrón o terylene con otras fibras (4,8).

En la figura 2.5 se observa que el terylene o dacrón es mucho más resistente a la temperatura, comparándolo con otras fibras (excepto el teflón) (3).

Debido a su elevado punto de fusión cristalino y a su temperatura de transición vítrea (80°C), el polietiléntereftalato conserva buenas propiedades mecánicas a temperaturas hasta 150-176°C (10).

Solubilidad: El dacrón es soluble en m-cresol caliente, ácido trifluoroacético, o-clorofenol, mezcla de 7 partes de triclorofenol y 10 de fenol y en una mezcla de 3 partes de fenol y 2 partes de tetracloroetano. La fibra tiene una recuperación de humedad despreciable (0.4% a 60% de humedad relativa y 21°C), es poco afectada por la presencia de agua (1,8).

Como agentes de hinchamiento (sustancias que causan aumento apreciable en el área de la sección transversal de la fibra) se emplean soluciones o dispersiones acuosas a base de: ácido benzoico al 2%, ácido salicílico al 2%, fenol al 2%,

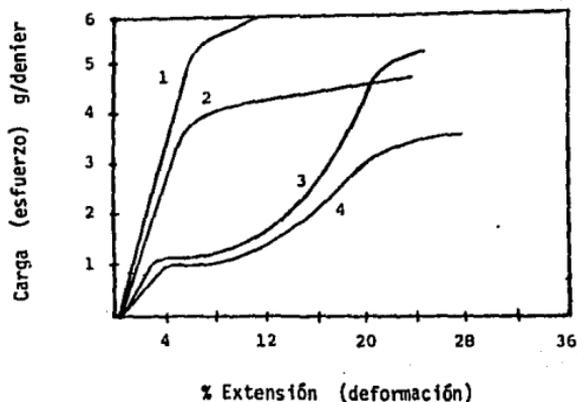


Fig. 2.2 Curvas de esfuerzo-deformación de varios tipos de dacrón (fibras de poliésteres) :

1, hilaza 220-50-5100;

2, hilaza 250-50-5500;

3, hilaza 220-50-5100;

4, hilaza 250-50-5500.

Las muestras 1 y 2 fueron ensayadas inmediatamente después de la torsión; las muestras 3 y 4 fueron secadas y acondicionadas después de una hora de ebullición a 100°C. antes del ensayo.

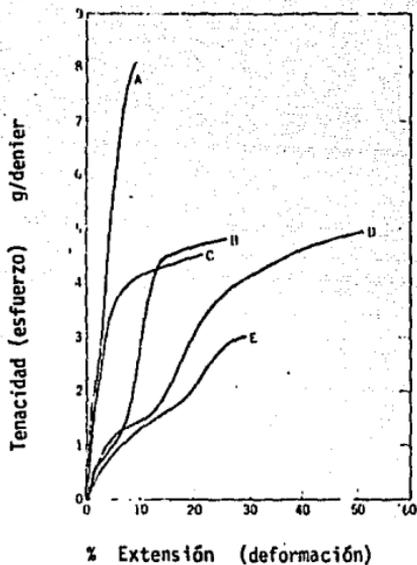


Fig. 2.3

- A = Filamento pet (alta tenacidad).
- B = Filamento nylon-6,6 (regular tenacidad).
- C = Filamento pet (regular tenacidad).
- D = Fibra pet (regular)
- E = Fibra kode1 II.

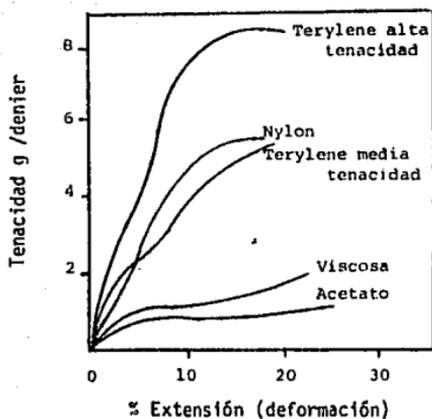


Fig. 2.4  
Comparación de pet con otras fibras

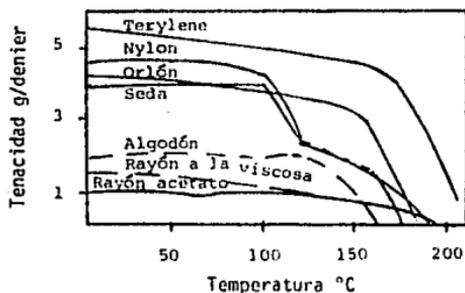


Fig. 2.5  
Efecto del calor sobre la tenacidad del Terylene y algunas otras fibras expuestas a 72 horas.

m-cresol al 2%, monoclorobenceno al 0.5%, p-diclorobenceno al 0.5%, tetrahidro-naftaleno al 0.5%, benzoato de metilo al 0.5%, salicilato de metilo al 0.5%, o-fenilfenol al 0.3% y p-fenilfenol al 0.3%.

En la tabla 2.5 se muestran las características de absorción del agua y permeabilidad a vapores orgánicos (5).

#### 2.1.2 Propiedades químicas.

El dacrón es resistente a la mayoría de los ácidos débiles incluso a temperaturas de ebullición y a los ácidos medianamente enérgicos a la temperatura ordinaria. Es desintegrado por el ácido sulfúrico concentrado (96%). La fibra es resistente a los álcalis débiles y ofrece resistencia moderada a los álcalis fuertes a la temperatura ordinaria, pero es desintegrado por éstos a altas temperaturas. El dacrón es resistente a los agentes oxidantes y además no es degradado por los tratamientos ordinarios de blanqueo (1,8,11).

En la tabla 2.6 se dan algunos ejemplos, del efecto de ácidos y álcalis sobre las fibras de dacrón.

La fig. 2.6 presenta una gráfica de tenacidad de la fibra de poliéster dacrón vs concentración del ácido sulfúrico a lo largo de 72 horas (8).

Los ensayos de laboratorio indican poco o ningún efecto en la tenacidad de las fibras de dacrón en condiciones ordinarias de exposición a los siguientes compuestos: alcoholes, agentes blanqueadores, disolventes de limpieza en seco, hidrocarburos halogenados, hidrocarburos, cetonas, jabones y detergentes sintéticos, agua, agua de mar, ácidos débiles y álcalis débiles (9).

Tinción : El dacrón presenta dificultades en el teñido, debido a la falta de propiedades hidrofílicas y de grupos reactivos. En la figura 2.7, se representan las moléculas de la fibra, en ella se puede apreciar que las moléculas de acomodan longitudinalmente en zig-zag, por lo que no hay espacios adecua

Tabla 2.5 Absorción de agua y permeabilidad.

Absorción de humedad	0.5% en peso (inmersión prolongada en agua).
Permeabilidad al vapor de agua	30 g/m <sup>2</sup> , diario a 38°C y 90% de humedad relativa
Permeabilidad a vapores orgánicos	Resistencia marcada al paso de olores.

Tabla 2.6 Acción de reactantes sobre la fibra de dacrón.

Sustancia Química	Temperatura	Concentración en %	Tiempo	Efecto sobre la resistencia
Acido clorhídrico	Ordinaria	18	3 sem.	Ninguno
Acido clorhídrico	75°C	18	4,5 días	Apreciable
Acido clorhídrico	Ebullición	10	3 días	Degradado
Acido nítrico	Ordinaria	40	3 sem.	Moderado
Acido sulfúrico	Ordinaria	37	6 sem.	Ninguno
Acido sulfúrico	Ordinaria	50	3 sem.	Moderado
Acido sulfúrico	75°C	37	2 sem.	Apreciable
Sosa cáustica	Ordinaria	10	3 días	Moderado
Hipoclorito de Sodio	70°C	2.5	4 horas	Ninguno

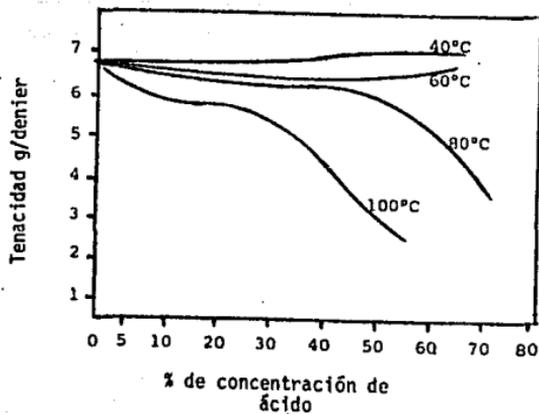


Fig. 2.6  
Comportamiento del dacrón a  
varias temperaturas.

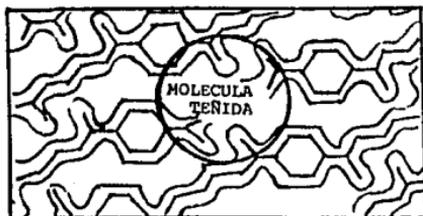


Fig. 2.7  
Cadenas de las moléculas del dacrón  
y una molécula teñida.

dos para las moléculas del colorante, además las moléculas de la cadena presentan dificultades para cambiar de posición, es decir, la pérdida de su orientación trae como resultado que las partículas del colorante no puedan penetrar a la fibra fácilmente y si esto ocurriera el proceso sería muy lento (días o hasta semanas a la temperatura de 85°C), esta dificultad se elimina mediante los 4 métodos siguientes (8).

**Selección del colorante:** Se usan colorantes con afinidad moderada por la fibra, aplicados como dispersiones acuosas. Algunos de ellos darán colores claros o medianos en aproximadamente una hora y media de ebullición ( $t=100^{\circ}\text{C}$  pues la afinidad de los colorantes usados a 85°C es baja). Se han seleccionado 7 colorantes para teñir el dacrón: Dispensor rápido amarillo G, Dispensor rápido anaranjado G, Duranol rojo GN, Duranol rojo 2B, Duranol violeta 2R, Duranol azul GN y Eastman azul (8,12).

**Tinción en agua a alta temperatura y alta presión:** Por el uso de temperaturas más altas, es decir a 100°C, las moléculas del dacrón se encuentran más libres para su movimiento, las moléculas del colorante podrán penetrar más rápidamente y el teñido resultaría satisfactorio dando tonos pálidos a esta temperatura, aún así la penetración del colorante es pobre y la mayor parte del colorante estaría localizado en la superficie de la fibra. Sin embargo si se tomara una temperatura todavía más alta, digamos 120°C, las moléculas de la cadena se encontrarían mucho más libres para su movimiento, por lo que así el colorante penetraría mejor en la fibra, resultando buenos tonos medianos y oscuros en un tiempo razonable de una hora. Este método incluye el uso de un equipo de presión (las soluciones acuosas del colorante no son estables a una temperatura mayor de 100°C a la presión atmosférica).

En la figura 2.8, se muestra una máquina para teñir dacrón a alta temperatura y presión (130°C), con una capacidad de 136.2 Kg (300 lb), (8,13,14).

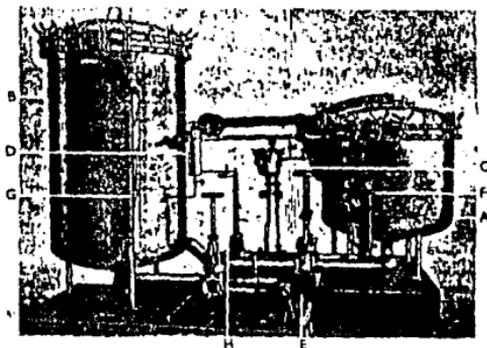


Fig. 2.8 Máquina para teñir dacrón a alta temperatura y alta presión.

En donde A es una autoclave donde se lleva a cabo el teñido.  
 B es un tanque de expansión, C es la unidad de tinción de la muestra.  
 D es un adicionador de color y unidad de muestreo de líquido.  
 E es una bomba. F es un medidor de presión (manómetro) y termómetro.  
 G es un indicador de nivel de agua. H presenta dos formas para controlar el flujo.

Tinción en agua hirviendo con un portador: El portador actúa como agente de hinchamiento facilitando la difusión del colorante en la fibra. Se adiciona en pequeñas cantidades a la solución del colorante y permite que las moléculas de la cadena se muevan con mayor facilidad y aumenten más los espacios entre ellas. Los portadores típicos para la fibra de poliéster dacrón son: p-fenilfenol, o-fenilfenol, bifenilo, navy azul GL, ácido benzóico, y ácido salicílico (8,15).

Ventajas en el uso de portadores:

El teñido es muy rápido.

El colorante penetra muy fácil en la fibra. En la fig. 2.9 se muestran las secciones de la fibra de poliéster dacrón sin portador (a) y con portador (b).

La fibra puede ser teñida por este método, sin necesidad de usar un equipo de presión.

Desventajas:

Las telas retienen el olor de algunos portadores, por lo que es necesario lavarlos para eliminar dicho olor. El bifenilo tiene particularmente un olor muy marcado.

La tinción con tonos claros es dañada por el p-fenilfenol y hasta cierto punto por el o-fenilfenol y por el ácido salicílico. El monoclorobenceno y el ácido benzóico son excelentes portadores que permiten la obtención de tonos claros, pero el primero tiene el inconveniente por ser muy tóxico y el segundo de ser muy caro (8).

Tinción por el método thermosol: Este método consiste esencialmente de los siguientes pasos:

- 1 El dacrón se limpia perfectamente como operación inicial.

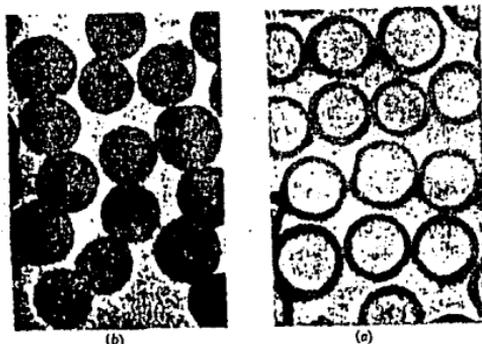


Fig. 2.9

Comparación del tejido del dacrón, con y sin portador.

Tabla 2.7 Propiedades eléctricas del dacrón.

Resistencia dieléctrica	4500 volts. por milípulgada
Constante dieléctrica	3.1-3.2 (60 ciclos)
	3.1-3.2 (1 Kilociclo)
	3.0-3.1 (1 Megaciclo)
Resistividad en volúmen	1.017 ohms-cm
Factor de disipación	0.002 (60 ciclos)
	0.004-0.006 (1 Kilociclo)
	0.013-0.015 (1 Megaciclo)

2 Se rellena en una dispersión de un acetato colorido (la marca de colores Latyl es la más adecuada). Un agente de espesamiento tal como carboximetil celulosa sódica y un disolvente orgánico tal como "cellosolve", ayudan a separar la dispersión que sobre la fibra estaría presente.

3 La fibra de dacrón se seca a la temperatura de 70°C, con una buena circulación de aire.

4 Se pasa a través de un horno a una temperatura entre 175 y 200°C. El tiempo de residencia es aproximadamente un minuto. El colorante seleccionado y aplicado a la fibra en 2) se seca sobre la superficie de la fibra en 3), se dispersa en ésta y penetra en toda la fibra en 4).

5 Se lava para eliminar trazas del colorante y se pasa a través de unos secadores cilíndricos, hasta que finalmente se obtiene la fibra teñida. En la fig. 2.10 se muestra el equipo utilizado (8,16,17).

### 2.1.3 Propiedades eléctricas.

El dacrón a causa de su baja absorción de humedad, tiene excelentes propiedades eléctricas y estables a temperaturas mayores de 180°C (tabla 2.7) (5).

### 2.2 Película (Mylar).

La película de poliéster fabricada con polietiléntereftalato es un producto de Dupont con el nombre registrado de "Mylar". En Inglaterra, la ICI fabrica películas similares con el nombre registrado de Melinex y en Alemania la firma Kalle & Co. A.G. con el nombre de Hostaphan.

La composición química de la película Mylar es la misma que la del dacrón. Fue obtenida experimentalmente por primera vez en Buffalo, N.Y. La primera planta industrial se instaló en Circleville, Ohio, donde empezó la producción en julio de 1954 (18).

Mylar se fabrica en 9 calibres desde 0.00634 mm (0.00025 pulgadas) hasta 0.1905 mm (0.0075 pulgadas) y en 3 tipos (Mylar A, Mylar D y Mylar C). Los tipos

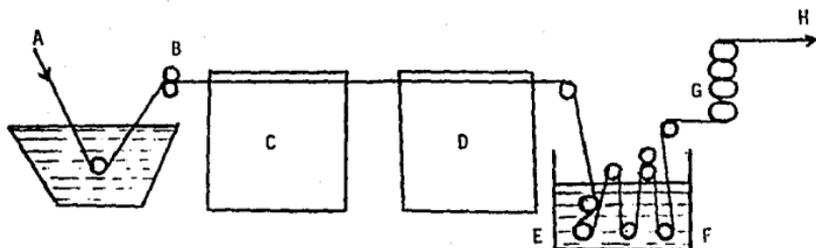


Fig. 2.10

En donde A es la fibra de dacrón sin teñir.

B Es el relleno de la fibra.

C Es un secador con aire caliente a  $70^{\circ}\text{C}$ .

D Es un horno operando entre  $175-200^{\circ}\text{C}$ .

E Es una enjabonadora.

F Es un enjuagador.

G Son secadores cilíndricos.

H Es la fibra de políester dacrón teñida.

son fundamentalmente iguales pero en ellos se han hecho modificaciones para adaptar la película a usos particulares (19).

### 2.2.1 Propiedades físicas (5,18,19).

La película Mylar es un material transparente, densidad de 1.38 g/ml, P.F.=250-255°C, índice de refracción  $n_D^{25} = 1.655$ . Factor de área = 28.44 m<sup>2</sup>/Kg.

#### Curva de esfuerzo-deformación:

La figura 2.11 es típica para Mylar grueso (0.127-0.179 mm), medida a una velocidad constante de elongación (100% por minuto) en un ensayador de tracción IT-B Instron.

La tabla 2.8 muestra las propiedades mecánicas en la película Mylar de 0.0254 mm de espesor (0.001 pulg.).

En la tabla 2.9 se hace una comparación de las propiedades mecánicas de varias películas a 25°C y 35 % de humedad relativa.

En la tabla 2.10 se hace la misma comparación con espesores de 0.1 mm (0.0039 pulg.).

En la tabla 2.11 se muestran únicamente las propiedades mecánicas que cambian por efecto de la presión para Mylar de 6.4  $\mu$  -0.1905 mm (0.00025-0.0075 pulg. de espesor).

En las figuras 2.12 y 2.13 se resumen los efectos de la temperatura sobre las propiedades de tracción, el efecto de la temperatura es relativamente pequeño en el intervalo de -20 a 80°C, no se observa fragilidad a temperaturas bajas (-60°C) y aunque se producen cambios más señalados en las propiedades de tracción por encima de 100°C, la película conserva propiedades útiles hasta 150-175°C e inclusive ligeramente arriba de 200°C.

La resistencia a la tracción disminuye aproximadamente 640 lb/in<sup>2</sup> por cada aumento de 10°C en el intervalo de -20 a 80°C. A 80°C se observa la temperatura de transición, arriba de ésta, la resistencia a la tracción disminuye

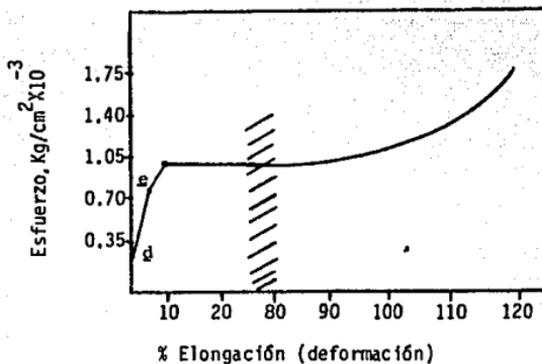


Fig. 2.11

Curva de esfuerzo-deformación por tracción para película de poliéster Mylar

De d a e, el esfuerzo es proporcional a la deformación (hasta una tracción de  $714 \text{ Kg/cm}^2$  y una deformación de 5%), lo que indica un comportamiento elástico, al pasar el punto e, la película muestra fluencia viscosa y la elongación es apreciable con poco aumento en el esfuerzo, hasta que a unos 70-80% de deformación se refuerza, hasta el punto de rotura a unos  $1,650 \text{ Kg/cm}^2$  de esfuerzo y 130% de deformación. Los datos de una película de calibre más fino (0.0254 mm) muestran propiedades características similares de esfuerzo-deformación pero el porcentaje de elongación en el punto de rotura está en el intervalo de 50-100%.

Tabla 2.8 Propiedades mecánicas de la película  
Mylar de 0.0254 mm de espesor.

Propiedad	Valor típico (película de 0.001 pulg. de espesor.	Método de ensayo
Resistencia a la tracción	1400 Kg/cm <sup>2</sup>	Ensayador de tracción Instron.
Módulo de tracción	38600 Kg/cm <sup>2</sup>	Ensayador de tracción Instron.
Elongación de rotura	75%	Ensayador de tracción Instron.
Resistencia al choque	60 Kg-cm	Ensayador de choque por caída de bola.
Resistencia al reventamiento.	20.4 Kg.	Mullen.
Resistencia al desgarre	15 g.	Ensayador de desgarre de una sola hoja.
Vida en el doblado	20000 ciclos	Ensayador de doblado a 25°C.

Tabla 2.9 Comparación de las propiedades mecánicas de varias películas a 25°C y 35% de humedad relativa.

Propiedad	Mylar	Polietileno	Acetato de celulosa	Celofán
Espesor en pulgadas	0.001	0.0015	0.00088	0.001
Resistencia a la tracción Kg/cm <sup>2</sup>	1645	168	630	560
% de elongación	70	700	20	30
Módulo de tracción Kg/cm <sup>2</sup>	35000	1330	24500	28000
Resistencia al desgarre en g.	18	175	4	5
Resistencia al choque en Kg-cm.	90	15	10	15
Vida en el doblado en ciclos.	20000	26000	300	600

Tabla 2.10 Propiedades de algunas películas.

Película	Módulo de tracción <sub>2</sub> en Kg/cm <sup>2</sup> .	Resistencia al desgarre en g.	Vida en el <u>dobla</u> do en ciclos.	Resistencia al choque en Kg-cm.	Resistencia a la tracción en Kg/cm <sup>2</sup>
Mylar	38600	59	20000	60	1406
Celofán	28120	7.8-39	500	15	562
Acetato de celu <u>lo</u> sa	24600	7.8-59	250-400	10	632
Polietil <u>e</u> no	1750	295-630	26000	15	175

Tabla 2.11 Efecto de la presión en películas de Mylar.

Presión (lb/in <sup>2</sup> )	25	50	100	200	300	500	700	750
% de elongación.	40	60	70	80	90	100	100	100
Resistencia al desgarre en g.	4	9	20	65	140	175	200	200
Resistencia al choque en Kg-cm.	18	40	90	--	--	--	--	--

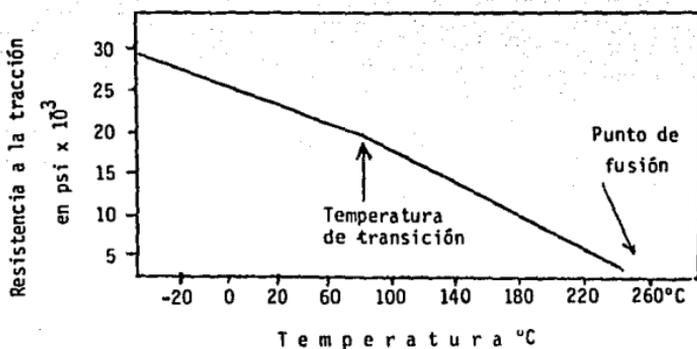


Fig. 2.12 Mylar de 0.00025-0.0075 pulg. de espesor.

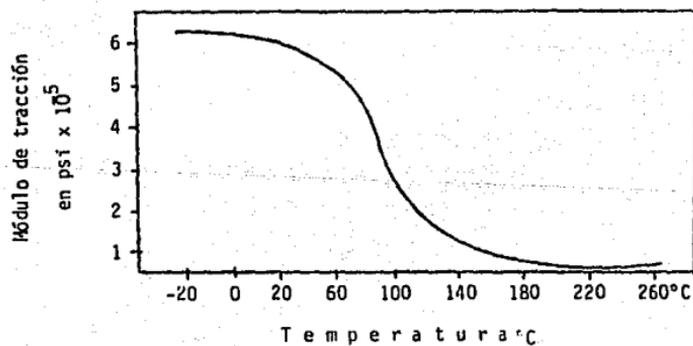


Fig. 2.13 Mylar de 0.00025- 0.0075 pulg. de espesor.

más rápidamente (alrededor de 1000 lb/in<sup>2</sup> por cada 10°C). El módulo de tracción cae también bruscamente a 80-90°C.

En las figuras 2.14 y 2.15, se muestran los cambios de la resistencia a la tracción, al desgarre y al choque, así como a la elongación y al módulo de tracción. Las muestras examinadas, fueron expuestas 1000 horas a las temperaturas de 150 y 200°C. A temperaturas elevadas la película Mylar se contrae ligeramente, casi todo el cambio se produce en los primeros 10 minutos.

A 150°C la contracción en aire es menor al 5% ( fig. 2.16 ). Después de 4 horas de inmersión en agua hirviendo, la contracción es de 1%. Sumergido en agua a 25°C durante una semana, se contrae 0.5%.

En la figura 2.17 se muestran el efecto de temperaturas bajas sobre la resistencia al desgarre, al choque y a la vida en el doblado.

Las fuerzas intermoleculares de cohesión de la película se reflejan en su elevado punto de fusión y en su temperatura de resistencia máxima (temperatura a la cual la película soporta una carga de 20 lb/in<sup>2</sup>, exactamente en 5 seg). Los datos disponibles sobre las propiedades térmicas se resumen en la tabla 2.12 (3).

La curva de absorción en el infrarrojo se muestra en la fig. 2.18. En la región visible del espectro, la película transmite más del 90% de luz incidente. En la región ultravioleta hay un corte neto a 3150 Å, longitud bajo la cual toda la luz se absorbe. En la fig. 2.19 se muestran las curvas de transmisión de luz UV del celofán, Mylar y vidrio grueso de ventana. El celofán transmite demasiado en la región biológica del espectro, mientras que Mylar absorbe fuertemente en esta región. Las curvas de transmisión para vidrio y Mylar son similares, salvo que Mylar cesa de transmitir a una longitud de onda ligeramente inferior (20).

La absorción de humedad por la película Mylar es menor de 0.3% (inmersión en agua a 25°C durante una semana), por ello las propiedades físicas y

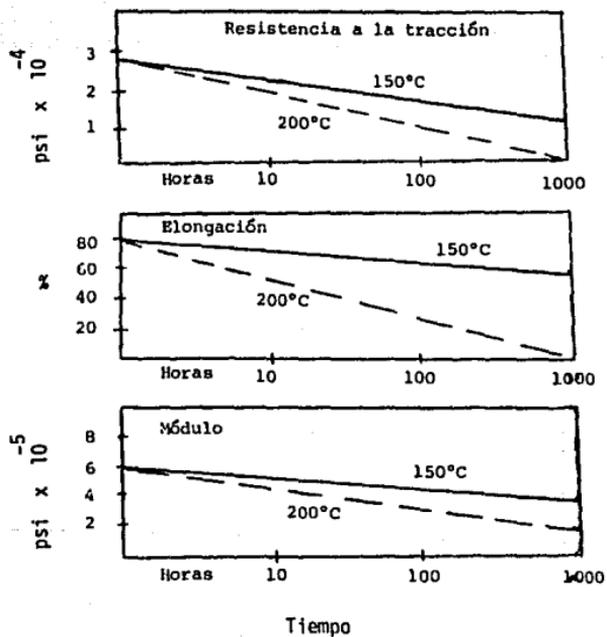


Fig. 2.14 Mylar de 0.00025-0.0075 pulg. de espesor

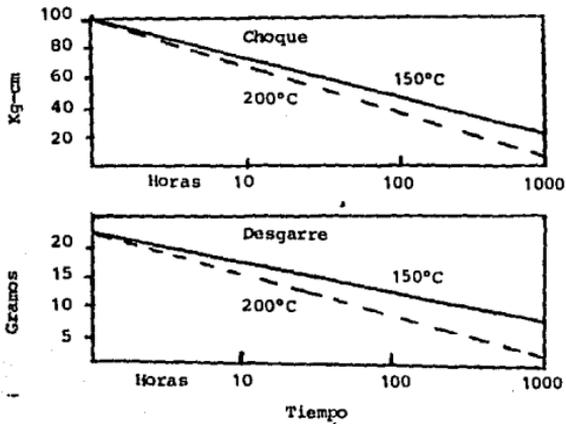


Fig. 2.15 Mylar de 0.00025-0.0075 pulg.de espesor.

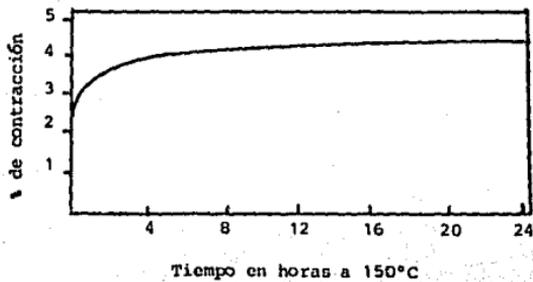


Fig. 2.16 Mylar de 0.00025-0.0075 pulg.de espesor.

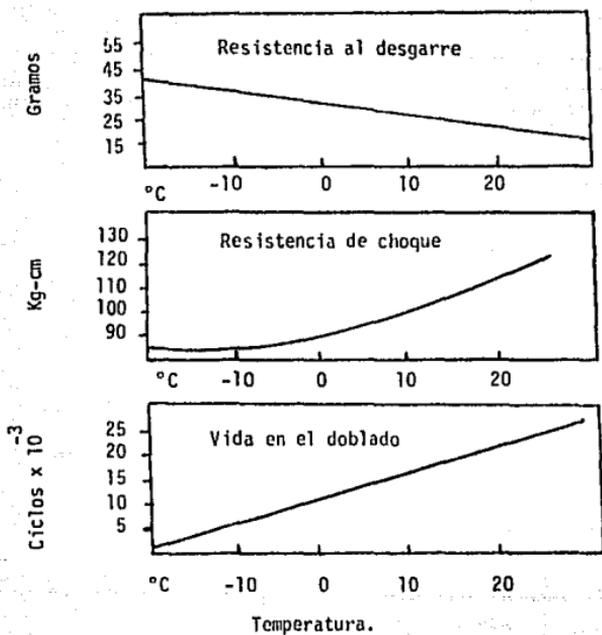


Fig. 2.17 Mylar de 0.00025-0.0075 pulg. de espesor.

Tabla 2.12 propiedades térmicas

Punto de fusión		250-255°C
Temperatura de servicio		-60 a 150°C
Temperatura de resistencia máxima		248°C
Calor específico	a 25°C	0.315cal/g°C
	a 200°C	0.47cal/g°C
Conductividad térmica	a 100°C	$3.6 \times 10^{-4}$
		cal/seg.cm <sup>2</sup> .°C/Cm
Coefficiente de dilatación térmica	21-150°C	$2.7 \times 10^{-5} \text{°C}^{-1}$

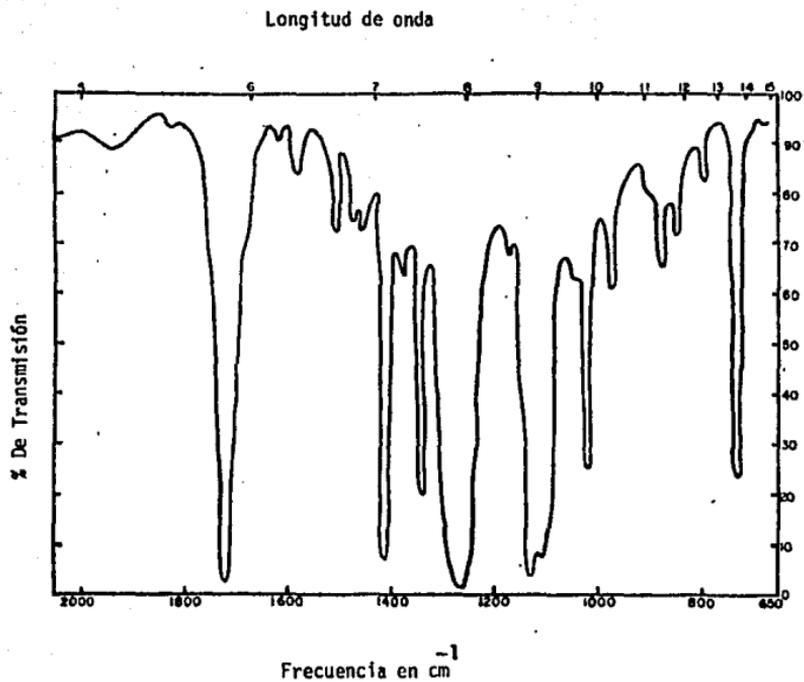


Fig. 2.18 Espectro de absorción en el infrarrojo de la película de poliéster Mylar (0.00025-0.0075 pulg. de espesor).

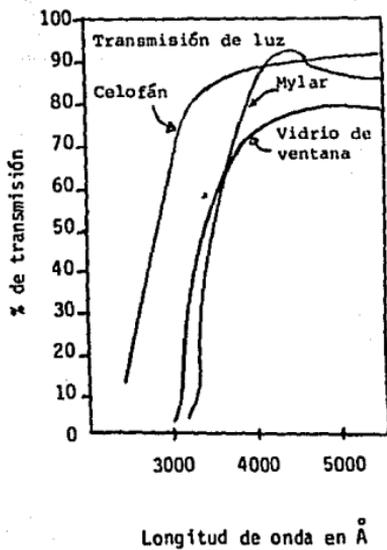


Fig. 2.19 Curvas de transmisión de luz ultravioleta de la película de poliéster Mylar, celofán y vidrio de ventana (0.005, 0.001 y 0.125 pulg. de espesor, respectivamente).

mecánicas son iguales en todo el intervalo de humedad relativa. A temperatura constante de bulbo seco = 24°C, el Mylar sólo cambia 0.07% su longitud en el intervalo de humedad relativa de 20 a 92%. El Mylar tiene también alto grado de impermeabilidad al vapor de agua y a los disolventes orgánicos en estado vapor.

En la tabla 2.13, se muestra la permeabilidad al vapor de agua por diversas películas. En la tabla 2.14 se comparan varias películas respecto a su permeabilidad a vapores orgánicos.

La película Mylar tiene una resistencia notable al paso de olores. El tiempo requerido por diversos compuestos odoríferos para atravesar películas representativas, está indicado en la tabla 2.15.

#### 2.2.2 Propiedades químicas.

La película de poliéster es resistente a la acción de muchos reactivos químicos y disolventes. No es afectada a la temperatura ordinaria ni al punto de ebullición, por acetato de etilo, metiletilcetona, xileno, nafta, metilcelosolve, dioxano, tricloruro de etilo, metanol y ácido acético glacial. Los fenoles y cresoles ejercen cierta acción sobre el Mylar, con degradación de sus propiedades físicas. El Mylar se torna frágil rápidamente en condiciones drásticas de hidrólisis, por ejemplo; muestras de películas calentadas en tubos de vidrio cerrados con pequeñas cantidades de ácidos minerales y agua a 125°C, se vuelven extremadamente frágiles en 24 horas (18).

El Mylar resiste el ataque de numerosos barnices eléctricos de uso común. Los barnices de resinas fenólicas y de bases asfálticas, causan cierta disminución en la resistencia al choque y en la elongación, pero no afectan su resistencia al desgarre. Los barnices de silicones tiene poco o ningún efecto sobre las propiedades físicas en general.

Sólo se observan ligeros cambios en muestras de Mylar sumergidas duran-

Tabla 2.13 Permeabilidad de películas de 25.4  $\mu$  de espesor al vapor de agua. T = 39.5°C.  
presión de vapor interna: 53 mm Hg.  
presión de vapor externa: 0 mm Hg.

Película	Permeabilidad (gramos/100m <sup>2</sup> /hora)
Celofán (MSAT)	30
Poli etileno	100
Mylar	160
Copolímero butirato de vinilo - alcohol vinílico (89/11)	1200
Acetato de celulosa	5000

Tabla 2.14 Permeabilidad a vapores orgánicos (gramos/100m<sup>2</sup>/hora, a 35°C).

Disolvente orgánico	Mylar de 0.001 pulgadas de espesor	Poliétileno de 0.001 pulgadas de espesor	Celofán de 0.0013 pulg. de espesor (450 MSAT)
Etolol	0	2800	2800
Acetato de etilo	4	9500	20
Tetracloruro de carbono	7	55000	30
Hexano	6	37000	27
Benceno	18	36000	21
Acetona	82	4000	1850
Acido acético	0	11000	1900

Tabla 2.15 Permeabilidad a vapores orgánicos

Substancia	Tiempo en horas necesario para penetrar		
	Mylar de 0.0254mm de espesor.	Celofán 300 (MSAT) de 0.0254 mm de espesor.	Sarán tipo M de 0.0635 mm de espesor.
Vainillina	141	20	24
Silicato de metilo	116	24	24
Pineno	140	20	1.0
Butirato de etilo	20	0.5	1/60
Propiléndiamina	92	1.0	4

te 1000 horas a 100°C en : piranol, silicón 200 y aceites de hidrocarburos de bajo y alto índice de viscosidad.

En la tabla 2.16 se muestran los efectos de algunos agentes químicos sobre Mylar y en la tabla 2.17 los efectos de barnices eléctricos e impregnantes (19).

### 2.2.3 Propiedades eléctricas (18,19).

Las propiedades eléctricas de la película Mylar se indican en las tablas 2.18 y 2.19, en forma individual y comparativa; se incluyen los métodos oficiales de prueba y su designación ASTM (21).

Factor de disipación : El cambio en el factor de disipación con la frecuencia, a temperaturas desde -50 a 150°C, está representado en la fig. 2.20. A frecuencias de 1000 ciclos/s y de 1 Mc/seg, el factor de disipación es mínimo alrededor de 75°C, a estas mismas frecuencias, alcanza máximos por debajo de 25°C, a 125°C y 150°C, a esta temperatura el factor de disipación baja bruscamente a frecuencias menores de 10,000 ciclos por segundo. En general el factor de disipación a una misma temperatura aumenta con la frecuencia. Aunque estas figuras no lo indican el factor de disipación a una temperatura dada empieza a bajar de nuevo a frecuencias muy altas, por ejemplo a 3000 Mc/seg el factor de disipación es el mismo que el que se indica para una frecuencia de 60 ciclos/seg.

Constante dieléctrica: Como se vé en la fig. 2.21 la constante dieléctrica aumenta generalmente, al aumentar la temperatura y al disminuir la frecuencia.

Resistencia dieléctrica : La resistencia dieléctrica de una sección de película Mylar de 0.0508 mm de grueso es alrededor de 4500 volts/0.0254 mm, a 25°C y una frecuencia de 60 ciclos/seg. La resistencia dieléctrica disminuye al aumentar la temperatura (3150 volts/0.0254 mm a 150°C ), es también función del grueso de la película, por ejemplo el Mylar de 0.0127 mm de grueso tiene una resistencia dieléctrica que llega a 7500 volts/0.0254 mm. Una sección de Mylar de

Tabla 2.16 Resistencia química de la película Mylar (0.001 pulg. de espesor a la temperatura ordinaria).

Agente químico	Tiempo de exposición en días.	Resistencia a la tracción en lb/in <sup>2</sup> .		% de elongación		Resistencia al desgarre en g.	
		MD	TD	MD	TD	MD	TD
Dioxano	33	31700	19100	160	190	10	16
Acetato de etilo	33	27600	21600	192	178	11	14
Acetona	33	23800	15000	188	204	19	20
Tricloroetano	33	28200	15800	104	114	16	22
Xileno	33	21000	21700	166	204	13	15
HCl 18%	18	24200	19700	139	133	23	34
HCl Conc.	5	24000	18000	114	117	20	20
HNO <sub>3</sub> 35%	7	14400	16900	233	130	5	6

MD Dirección máquina

TD Dirección transversal.

Tabla 2.17 Efecto de los barnices eléctricos e impregnantes sobre la película Mylar (0.001 pulg.de espesor).

Substancia	Tratamiento	Módulo en lb/in <sup>2</sup>	Resistencia a la tracción en lb/in <sup>2</sup> .	% de elongación.
<u>Barniz</u> Resina fenólica GE 1678	Aplicado a 150°C, a lo lar go de 160 horas	817000	22000	4
Resina gliptal GE 2480		1,090000	30000	108
Resina fenólica GE 3200		1,000000	25000	12
<u>Impregnante</u> Piranol GE 1467	Inmersión  a 100°C,  durante  500 horas	317000	24000	112
Silicón 200		367000	19000	190
Hidrocarburos de alto índice de viscosidad		482000	24000	118
Hidrocarburos de bajo índice de viscosidad		499000	27000	91

Tabla 2.18 Propiedades eléctricas del Mylar.  
Película de 0.0254 mm de grueso  
(0.001 pulg).

Propiedad	Condiciones de ensayo	Valor típico (volts)	Método de prueba
Resistencia dieléctrica	25°C, 60 c 150°C, 60 c	4000 3150	ASTM D 149-44
Constante dieléctrica	25°C, 60 c 25°C, 1 Kc 25°C, 1 Mc 150°C, 60 c	3,2 3,1 3,0 3,7	ASTM D 150-47T
Factor de potencia	25°C, 60 c 25°C, 1 Kc 150°C, 60 c 25°C, 1 Mc	0.003 0.005 0.006 0.016	ASTM D 150-47T
Resistencia aislante	100°C 130°C	5000 Mo 4000 Mo	Secciones de bobinado de capacitor (Mylar 25°C).

c = ciclos, Kc = Kilociclos, Mc = Megaciclos, Mo = Megaohmios.

Tabla 2.19 Comparación de Mylar con otras películas  
( espesores de 0.001 pulgadas, a 25°C ).

Propiedad	Mylar C	Polietileno	Acetato de celulosa.
Constante dieléctrica 60 ciclos/seg.	3.20	2.25	3.5-6.5
Factor de disipación 60 ciclos/seg.	0.003	0.0005	0.03-0.06
Resistencia dieléctrica en volts.	4500	4000	3000
Resistencia en volumen en ohm- cm.	$1 \times 10^{19}$ .	$4 \times 10^{15}$	$1 \times 10^{10}$
Resistividad de superficie en ohm-100% de humedad relativa.	$4.8 \times 10^{11}$	--	--

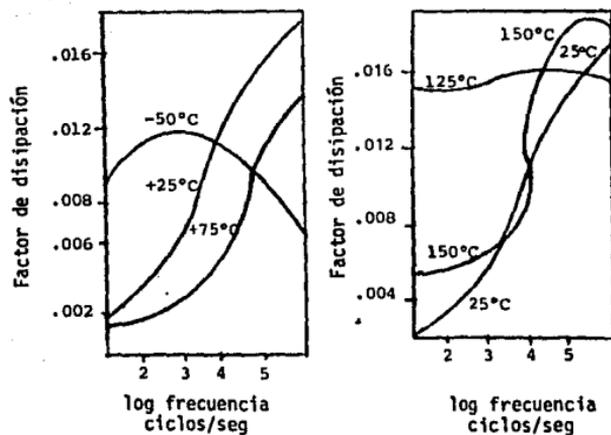


Fig. 2.20 Mylar de 0.00025-0.0075 pulg. de espesor

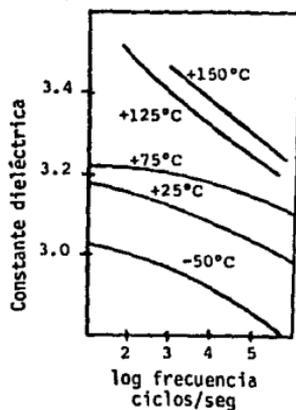


Fig. 2.21 Constante dieléctrica en función de la frecuencia y temperatura para Mylar de 0.00025-0.0075 pulg. de espesor.

0.1778 mm de grueso resistirá voltajes instantáneos hasta de 20Kv (equivalentes a 2800 volts/0.0254 mm).

En la tabla 2,20 se muestra el efecto de la temperatura sobre la resistencia dieléctrica para la película Mylar, de acuerdo al método ASTM D 149-44.

Resistividad en volúmen : Es una función de la temperatura y se muestra en la Fig. 2.22. Las mediciones se realizaron de acuerdo al método ASTM D 257-49T. (potencial = 100 volts , corriente directa, electrodos de plata).

Resistividad de superficie : Se midió de 0 a 100% de humedad relativa a 25°C , según método ASTM D 257-49T. A 100% de humedad relativa la resistividad de superficie es del orden de  $1 \times 10^{11}$  ohms, a 0% de humedad relativa, es mayor ( $1 \times 10^{12}$  ohm = máxima lectura disponible en el instrumento de ensayo).

Tabla 2.20 Efecto de la temperatura sobre la resistencia dieléctrica de Mylar (0.002 pulg. de espesor).

°C	Volts/0.001 pulg.
0	4400
25	4500
75	4200
100	4300
125	3250
150	3150

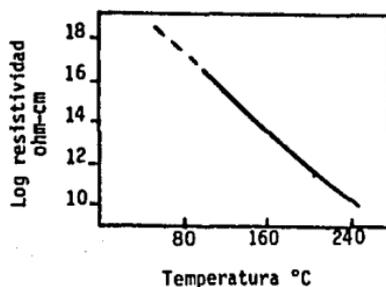


Fig. 2.22 Resistividad (Mylar de 0.00025-0.0075 pulg. de espesor).

## CAPITULO 3

## U S O S .

## 3.1 Como fibra textil.

La fibra de dacrón ha encontrado aplicaciones en prendas de vestir, telas para uso doméstico, telas industriales y cordelería.

## 3.1.1 Industria del vestido:

Las telas de dacrón se usan en trajes, pantalones de deportes, abrigos para hombres y mujeres; camisas para hombres (con 100% de dacrón o en mezclas con nylon y algodón) y corbatas; blusas de mujer, vestidos, faldas y ropa blanca.

La resistencia y recuperación elástica de la fibra cortada, hace al dacrón apropiado para géneros de punto en suéteres, vestidos de jersey, camisas de deporte, calcetines, chalecos e hilaza para tejer de punto.

La hilaza de filamento continuo se emplea para uniformes de enfermeras, camareras, etc., la hilaza de fibra cortada sirve para uniformes más pesados, análogos a trajes y pantalones de deporte, para personal de líneas aéreas, conductores de autobuses y policías, en los que es importante la ausencia de arrugas y una buena presentación que se conserve fácilmente.

Los principales atractivos de las telas de dacrón son: pertenecen al tipo inarrugable, por lo general se usan directamente después de lavar y secar, no hace falta el planchado o apenas es necesario y el lavado es fácil (22, 23, 24).

## 3.1.2 Usos domésticos:

Comprenden a las cortinas (que son muy populares debido a su resistencia a la luz solar), tapicería, fundas, mantelería, relleno de almohadas, coberto-

res y bolsas para dormir (9).

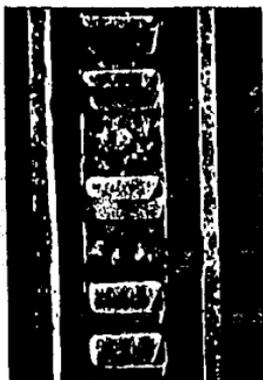
El principal atractivo en este campo es su durabilidad en servicio en comparación de otras fibras expuestas a la luz solar.

### 3.1.3 Aplicaciones industriales (8,9,25,26) :

Para bandas de transportadores (fig. 3.1), para cubiertas de máquinas de planchar, cubiertas de prensas en la trituración de semillas grasas, en mangueras para incendio. El terylene también se ha usado como fieltro en la fabricación de papel, para conducir el rollo de papel a los cilindros calientes en las últimas etapas del secado. El terylene se ha empleado con éxito en forma de filtros en las fábricas de fertilizantes (para separar el yeso del ácido fosfórico), en la recuperación de la grasa de la lana y en la separación de arenas silíceas (cuyo poder abrasivo es grande). La industria textil aprovecha sus ventajas en guarniciones, hilos de lizo, en cuerdas, hilos de tracción y en diversos tejidos con características especiales para estampado. El uso industrial mayoritario del terylene es en lavandería (fig. 3.2) donde su resistencia al calor, fuerza y uso han establecido su preferencia para sabanería, franela de empaque, colchas de la vandería, almohadas, cobijas, bolsas de lavandería y bolsas para tinción (fig. 3.3), la industria de colorantes usa bolsas de terylene para teñir medias de nylon.

Se obtienen excelentes resultados con tejidos de terylene en cintas y bandas de husos, cinturones salvavidas, correas sin fin ligeras, correa resistente para martinets y cintas de descrudado en la industria de la lana.

Las buenas propiedades dieléctricas y el escaso poder de absorción de la humedad propiciaron su empleo en la envoltura de cordones, cables de luz eléctrica o alambres, en cintas aislantes, en barnices aislantes, para recubrir aparatos y devanados (fig. 3.4). También se puede citar su aplicación en las fibras de amianto, aislantes poderosos que hoy en día se refuerzan con alma interior de terylene.



**Fig. 3.1** El terylene es usado en una banda transportadora.  
Su resistencia al calor le da una larga vida.



**Fig. 3.2** Usos de las telas de terylene en la lavandería moderna.



Fig. 3.3 Bolsas de terylene para teñido.



Fig. 3.4 Motor de 500 H.P. recubierto con cintas de terylene barnizado, que actúa como aislante.

El terylene se ha usado en telas para velas y en la navegación, los atributos que lo hacen ideal para estos fines son: su dureza, flexibilidad, bajo estiramiento, durabilidad, resistencia al agua de mar, luz solar, calor y microorganismos. Estas telas han tenido éxito en competencias de yates (fig. 3.5). La resistencia química del terylene a ácidos lo hace útil para vestimenta de protección y es usado en plantas de manejo de ácidos. Un uso especial del dacrón es en las bolsas anódicas y en el decapado de la hojalata de níquel, donde el electrolito es el ácido fluorhídrico, que ninguna fibra que no sea teflón o terylene resistiría.

La resistencia microbiológica del terylene le permite usarlo en filtración de agua, donde la lana y el algodón no han sido satisfactorios.

#### 3.1.4 Usos en cordelería:

La elevada tenacidad en húmedo, el escaso poder de absorción y la resistencia a los hongos, hacen de esta fibra una aportación importante a la fabricación de maromas, sogas y cables resistentes en agua de mar; ofrece excelentes resultados en engarzadores para la industria ballenera y en redes de pesca de todos tamaños (25).

El hilo de dacrón se emplea para la costura del calzado y en sastrería para prendas hechas con telas de fibras sintéticas y de sus mezclas (9). Se usa también para cerrar sacos de abonos, porque son imputrescibles. El terylene posee 15 veces más vida que una cuerda ordinaria, las cuerdas de terylene comprenden cuerdas de remolque, de amarre de yate y cuerdas de soporte de mástil. En la tabla 3.1 se muestra la vida de cuerdas de diversas fibras (las pruebas se realizaron con cuerdas de 2 pulg. de diámetro, en yates) (8).

Uno de los inconvenientes del terylene, es la facilidad con que se agujereara con el tabaco encendido, este problema se puede solucionar mezclando del terylene con otras fibras, por ejemplo: con lana o rayón a la viscosa, aunque natu-



**Fig. 3.5** Uso de las telas de terylene en las velas de yates.

Tabla 3.1 Vida de algunas cuerdas.

Fibra usada para la cuerda	Vida en días
Cáñamo de henequén	6
Hylon	65
Terylene	137

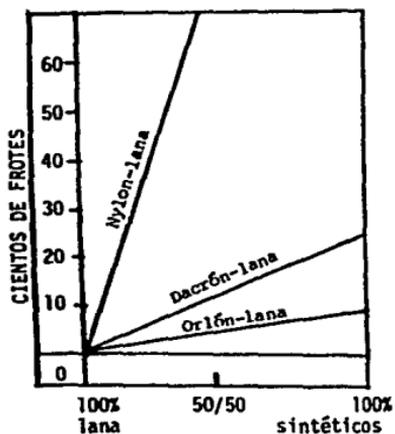


Fig. 3.6 Resistencia a la abrasión de las mezclas lana-sintéticas.

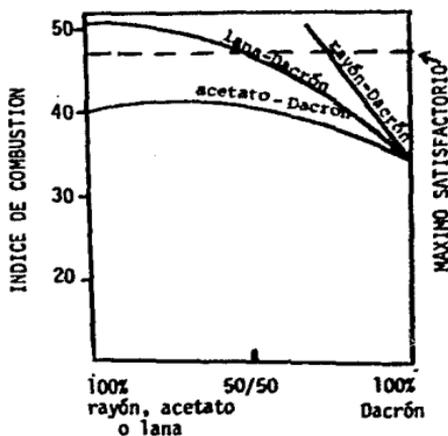


Fig. 3.7 Agujeros por quemadura en las mezclas lana-sintéticas.

ralmente estas mezclas no son tan ventajosas en el poder de absorción de humedad.

Denson y Leach estudiaron las propiedades del nylon, dacrón y orlón; con: rayón a la viscosa, acetato y lana, llegando a las siguientes conclusiones (25):

1 La resistencia a la abrasión de las mezclas que contienen lana aumenta sensiblemente con nylon y dacrón y ligeramente con orlón, la contribución del nylon es excepcional en esta propiedad y mucho mayor que la del dacrón, aunque también la de esta fibra es notable (fig. 3.6).

2 La adición de un pequeño porcentaje de rayón al dacrón disminuye bastante la sensibilidad a las quemaduras de cigarro, el 50% de lana produce un efecto análogo (fig. 3.7).

3 Una de las aportaciones más importantes del polietiléntereftalato a las mezclas, es la resistencia a las arrugas. En esta propiedad el dacrón es incluso superior al nylon y al orlón y naturalmente, la humedad apenas altera esta cualidad (fig. 3.8).

4 Tanto el dacrón como el orlón conservan el pliegue y ambas fibras comunican esta característica a los tejidos de mezclas en proporción al porcentaje de fibra sintética introducida. En las mezclas de porcentajes grandes los pliegues no desaparecen al mojarlas como en el caso de las telas de lana 100% (fig. 3.9).

Con el polietiléntereftalato mezclado con algodón, se obtienen productos para tejidos de secado rápido después del lavado. La mezcla de polietiléntereftalato con lana, se usa para telas de lana peinada (27).

El más próximo competidor del polietiléntereftalato en este campo es el poliéster preparado a partir del tereftalato de dimetilo y del (1,4-di-hidroxime-til) - Ciclohexano (que se conoce comercialmente como Kodel) (28).

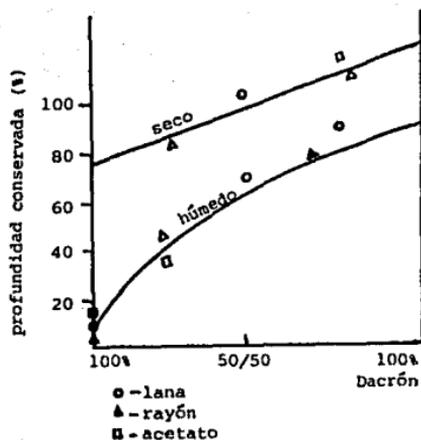


Fig. 3.8 Retención de la arruga en las mezclas de dacrón.

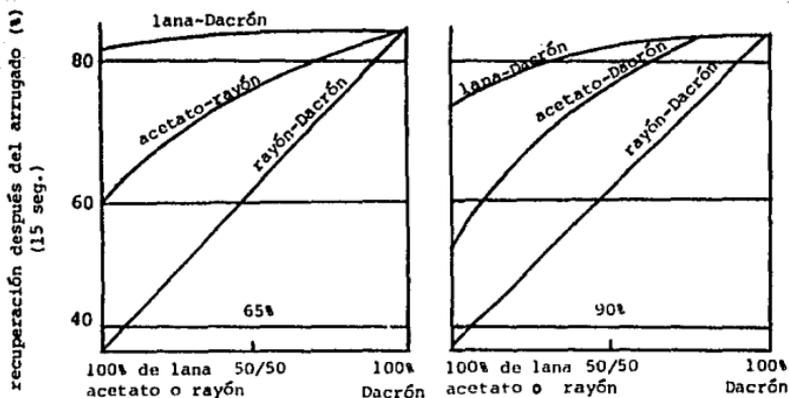


Fig. 3.9 Recuperación después de la arruga en las mezclas de dacrón (los porcentajes expresan la humedad relativa).

## 3.2 Como película

### 3.2.1 Tipos:

Existen 3 tipos de Mylar (19):

Mylar A. Es una película para uso general, sobre todo como material aislante, también se puede usar en muchas aplicaciones no eléctricas. Debido a su alta resistencia, proporciona un material durable. Su resistencia aislante a diferentes temperaturas es: a 100°C 5000, a 130°C 400, a 150°C 100. Su coeficiente de expansión higroscópica de 20-92% de humedad relativa es de  $1.1 \times 10^{-5}$  cm/cm, la resistencia al choque de una hoja de 0.001 pulgadas de espesor a 23°C es  $2.4 \times 10^5$  Kg-cm (29).

Mylar C. Es un preparado muy especial de película, la cual tiene alta resistencia a elevadas temperaturas de aislamiento. Se usa como dieléctrico en capacitores a altas temperaturas.

Mylar D. Es la película más transparente, con defectos mínimos de superficie. Se aplica para cubrir plásticos y como sustituto del vidrio.

Como la película Mylar posee una combinación excepcional de propiedades, tiene una amplia gama de aplicaciones, entre las que se seleccionaron las siguientes, por considerarlas representativas:

### 3.2.2 Envases y botellas (18,30 a 36).

En este renglón se maneja gran variedad de productos tales como: refrescos, agua mineral, licores, cervezas, sidras, jugos, jarabes, soluciones, vinos de mesa, aceites comestibles, etc. (Celanese Mexicana).

La planta destiladora de McCormick Co. (Weston, Mo.) ha representado sus productos de licores en botellas de PET de 1.75ℓ, por ejemplo, Whiskies: americano, escocés, borbón, ginebra, ron, tequila, brandy, vodka, etc. Fig. 3.10 (37).



Fig. 3.10 Botellas de polietiléntereftalato con licores, de 0.02 pulgadas de espesor, son resistentes y de poco peso.



Fig. 3.11 La fabricación de pepsi-cola en botellas de polietiléntereftalato, es la línea principal en E.U.A.

Una planta fabrica botellas de polietiléntereftalato de 650 ml (32-02) cuyo contenido es pepsi-cola, su producción inicial exploratoria fué de un millón de éstas y las puso a la venta por primera vez en New York, fig. 3.11 (38,39).

Los holandeses también fabrican botellas de polietiléntereftalato, de 1.5 l cuyo contenido es coca-cola, las cuales son consumidas en gran parte en el Reino Unido (40).

Rohm & Haas Co. (Filadelfia) y Teijin Ltd. (Tokyo), se asociaron y montaron una planta de resina PET en Fayetteville, N. C. para fabricación de botellas destinadas a bebidas carbonatadas (41,42).

La compañía Crown Zellerbach Corp. Vancouver (Canadá), inició en 1982 un programa experimental para producir botellas suaves a base de polietiléntereftalato, para contener bebidas (43).

### 3.2.3 Aislante eléctrico:

La alta resistencia dieléctrica y mecánica de la película Mylar, ha llevado a su adopción para el aislamiento de ranuras y fases en motores; como dieléctrico en condensadores, bobinas, transformadores y capacitores (44, 45, 46); como aislante primario para hilo de conducción y alambre magnético. Se puede laminar con otros materiales aislantes como el papel asbesto, cambay barnizado y con polietileno o una resina epóxica con 30% de contracción a 100°C (47, 48).

### 3.2.4 Laminados metálicos:

El Mylar se metaliza por depósito en vacío, se lamina con otros materiales y se labra para crear materiales decorativos que son susceptibles de moldeo, conformación, cosido y confeccionado. Estos productos son resistentes a la abrasión y no se empañan, sus usos típicos son: las bolsas femeninas y otros accesorios, los paneles decorativos, interiores de portezuelas en automóviles y diafragmas de bocinas (18,49).

Como base para hilo metálico, el Mylar metalizado o laminado en hojas se usa en la industria textil para obtener un material durable que no se empaña y de lavado y limpieza en seco. El Mylar se usa como base para cintas magnéticas de grabación de sonido (50), en tarjetas magnéticas de memoria con larga vida en servicio, como base para cintas sensibles a la presión (51) y como material de superficies decorativas para losetas acústicas.

Se lamina con hojas de aluminio para obtener materiales que oponen una barrera al paso del vapor. Laminada sobre diversas bases, la película Mylar proporciona un material para muros y mostradores, que resiste la abrasión y es inalterable al agua o a los productos químicos. Metalizado y grabado por el método de pantalla de seda, el Mylar se usa para rótulos y calcomanías dimensionalmente estables, flexibles y de buena duración. Se usa también para metalizados de zinc y plata.

### 3.2.5 Cintas y películas:

El Mylar es la materia prima para elaborar cintas tanto de máquinas de escribir, como adhesivas y cintas perforadas de computadora (52, 53). Se usa además en aplicación de esmalte; en bandas industriales, en artículos de papelería, en cubiertas de libros, en aplicaciones de rodillo, en soporte de vestido, en anaquel, se aplica en bolsas para hervir, etc. (18).

La mezcla que resulta de combinar Mylar con polietilenglicol, se usa en estampado (54,55). Además el Mylar se utiliza como envolvente y protector en aislamiento de tubería (56).

Se elabora para fabricar materiales de dibujo y caligrafía, que no se afectan con el tiempo y tienen dimensiones estables.

Es la base de la película fotográfica. Cuando se mezcla con polietileno carboxilado se obtienen hojas transparentes que se usan en el papel fotográfico (57).

### 3.2.6 Recubrimientos y empaques:

El Mylar se usa para cubiertas protectoras; como material de recubrimiento para tambores de acero y fibra, de mangueras y en diafragmas de bombas.

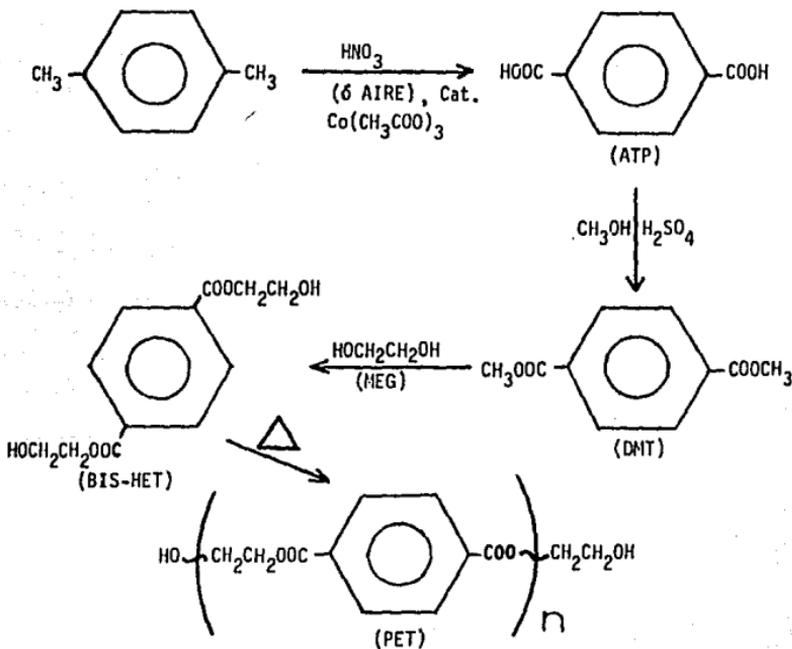
Se usa para empacar medicamentos y todo tipo de productos que requieran esterilización; en empaque de baleros, etc. (58).

El uso de la película Mylar metalizada es ideal para empaques de productos que requieren protección de la luz y envoltura con baja permeabilidad al vapor de agua, vapores orgánicos, olores, sabores y gases, como por ejemplo; en chicles, sopas deshidratadas, polvos higroscópicos, jugos congelados, alimentos con alto contenido de grasas, levadura seca activada, cigarrros, mantequilla, margarina y la película fotográfica misma (5).

## CAPITULO 4

## MANUFACTURA

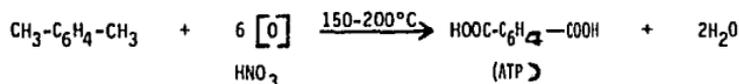
La ruta química del proceso de obtención preferido comercialmente fue desarrollada por Dupont en 1953, esencialmente su diagrama consiste de 4 reacciones, cuya secuencia es:



## 4.1 Proceso de obtención.

## 4.1.1 Oxidación de p-xileno:

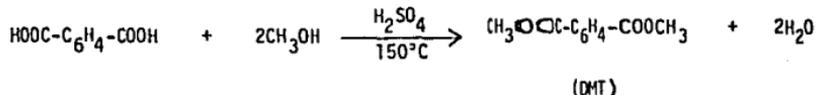
En el primer reactor de la figura 4.1, se lleva a cabo la reacción entre el p-xileno (p.eb= 138,5°C) y el ácido nítrico (p.eb=86°C) o aire, a temperaturas entre 150-200°C y bajo presión (59,60):

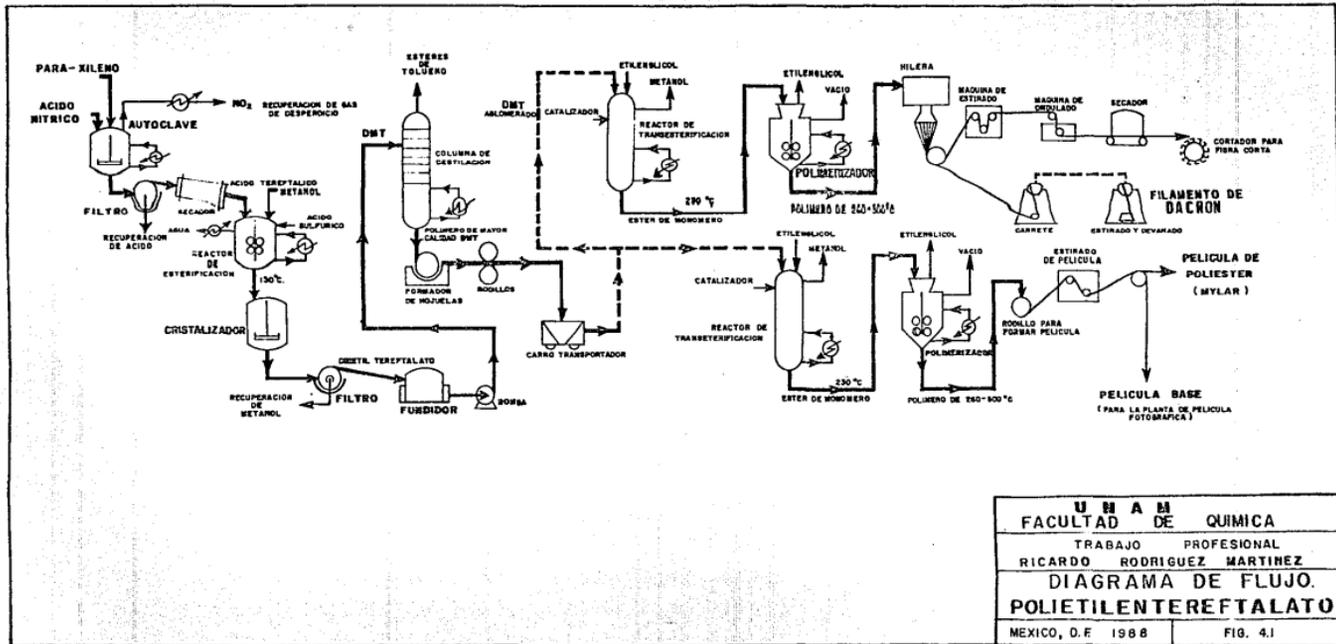


La reacción es exotérmica, compleja y difícil. Después de enfriar, la corriente producida de ATP (p.F.=300°C) se filtra, eliminando el exceso de ácido nítrico y se seca.

## 4.1.2 Esterificación:

El ATP seco se pone en contacto con metanol en el segundo reactor, dos partes de metanol, una parte de ATP y 0.01 partes de ácido sulfúrico (catalizador), se agita bajo presión y se calienta a 150°C. El tiempo de residencia es aproximadamente de 2-3 horas (61). Casi al final de la esterificación, se adiciona lentamente un exceso de metanol a la masa líquida caliente de DMT producida. El DMT se separa de la solución previamente enfriada con un cambiador de calor. El agua se elimina del esterificador en forma de vapor:



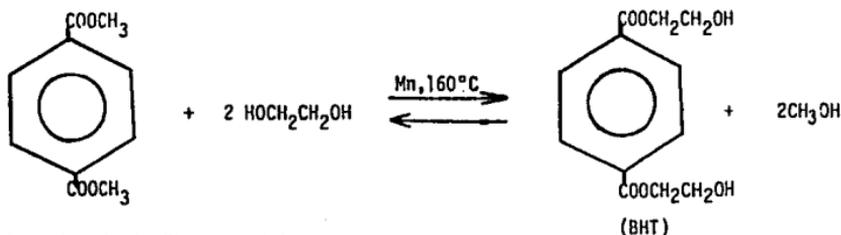


<b>U N A M</b>	
<b>FACULTAD DE QUIMICA</b>	
TRABAJO PROFESIONAL	
RICARDO RODRIGUEZ MARTINEZ	
<b>DIAGRAMA DE FLUJO.</b>	
<b>POLIETILENTEREFTALATO</b>	
MEXICO, D.F. 1988	FIG. 4.1

En ésta reacción se obtiene el DMT con un 95% de pureza (p.F.=141°C). La purificación inicial se realiza en un cristizador, un filtro elimina el exceso de metanol, el cual se recupera y se envía al reactor de esterificación. El DMT se funde y se bombea hasta una torre de destilación donde se eliminan las impurezas producidas en este paso, ésteres del ácido p-toluico con metanol y etilén $\bar{g}$ licol.

#### 4.1.3 Transesterificación (59) :

A la salida de la columna de destilación se obtiene un DMT de mayor calidad el cual se hace pasar a través de un dispositivo que lo convierte en hojuelas o laminillas muy delgadas, éstas se hacen pasar a través de unos rodillos obteniéndose un DMT aglomerado (producto compacto formado por gránulos o fragmentos). El DMT (1 mol), entra a un reactor donde se lleva a cabo el intercambio al $\bar{q}$ uilico con etilén $\bar{g}$ licol (2 moles). En éste paso se produce el tereftalato de bis- $\beta$ -hidroxietano (BHT):



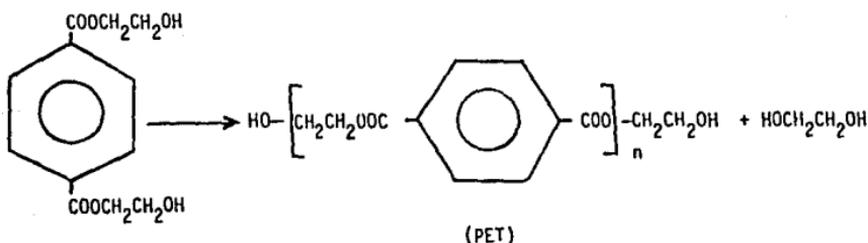
Esta reacción es reversible, el equilibrio se desplaza con exceso de etilén $\bar{g}$ licol a una temperatura de operación lo suficientemente alta (150-160°C) a presión atmosférica (61), para eliminar el metanol por destilación.

Los catalizadores más comunmente utilizados en esta operación son: sales de calcio y magnesio. Metales alcalinos o sus alcóxidos; cobre, cromo y típicamente manganeso. El catalizador se dosifica en un rango de concentraciones de 0.005-0.1%.

La transesterificación empieza aproximadamente a 160°C y el metanol se elimina de la columna de destilación en cuanto se forma. Posteriormente se adiciona lentamente a los reactivos líquidos una corriente de nitrógeno saturado (en el punto de burbuja), el calor de éste es suministrado hasta el final de la reacción, cuando ya no destila más metanol, en este punto la temperatura es aproximadamente 230°C. La mezcla resultante de BHT (p.F.=109°C) es un polímero de bajo peso molecular que se envía a un polimerizador en el cual se elimina el etilénico que no reaccionó.

#### 4.1.4 Policondensación (59):

El PET se obtiene por condensación del monómero formado durante la transesterificación:



Esta reacción ocurre en el polimerizador llevándose a cabo lo más pronto posible a temperaturas entre 260-300°C (62), en presencia de  $\text{Sb}_2\text{O}_3$  como catalizador (63,64).

El etilénico (p.eb=197°C), el agua y el metanol se eliminan gradualmente del polimerizador a vacíos de 10-0.1 mm Hg. La viscosidad de la solución se incrementa durante la reacción. El polímero de polietiléntereftalato se obtiene con un peso molecular promedio entre (20,000-30,000) (19). Este producto puede ser extruído directamente en filamentos o películas. Comercialmente es deseable tener un polímero con viscosidad intrínseca  $> 0.45$  cp (61).

#### 4.2 Extrusión de la fibra:

El polímero fundido (290-298°C) que sale del polimerizador se pasa por hileras de acero inoxidable (65,66,67) fabricadas con orificios de extrusión que varían desde 14 hasta varios cientos, dependiendo del número de filamentos de hi lo que se deseen obtener. Los orificios tienen diámetros que varían desde 0.2 hasta cerca de 0.6 mm de acuerdo al grosor que está siendo hilado, la profundidad de los mismos es de 1.3 a 3 veces el diámetro (68).

Al emerger de la hiladora los filamentos pasan al aparato de recolección ayudados por la gravedad, a través de un tubo vertical de 3 a 6 m de largo. Los filamentos se solidifican con aire a 250°C, justo después de la hiladora a velocidades de enrollado variables entre 1500 y 5000 m/min, antes de ser estirados (65,66,67,69). La tenacidad y la elasticidad se aumentan por orientación de las moléculas a lo largo de la fibra, ésto se hace por estirado, procedimiento de alargamiento irreversible de la hilaza hasta 2-6 veces su longitud original. Después del estirado, los filamentos de dacrón son finalmente enrollados en carretes (1).

La limpieza de la hilera para eliminar residuos de fibra se realiza con trietilénglicol en ebullición o decalina a 350°C (70).

El procedimiento para obtener hilos de fibra corta consiste en enviar los carretes a una máquina donde se les estira, posteriormente pasan por otra máquina donde son rizados u ondulados, finalmente este filamento rizado pasa por un secador, donde se elimina el agua remanente, al salir del cual se obtiene la base para cortar y con ella hilar la fibra corta.

#### 4.3 Películas:

Para estos productos el mismo PET fundido (polimerizador 290-298°C) se ha ce pasar por unos rodillos en donde se forma la película. Posteriormente se esti ra y finalmente se obtiene el película de poliéster Mylar (59).

Otra forma para obtener películas de polietiléntereftalato consiste en partir del polímero fundido a 285°C y enviarlo a la máquina de extrusión (71, 72), la cual consta de dados con rendijas (molde), en éstos se obtienen hojas continuas del espesor deseado que solidifican al instante (6). La película así obtenida es amorfa, sin orientación e inestable al calentamiento. A temperaturas de transición vítrea (aproximadamente a 80°C) (10), la película cristaliza en forma opaca y quebradiza. Las condiciones del vaciado (285°C) y la temperatura se deben controlar cuidadosamente para evitar una cristalización prematura.

La manufactura de la película de poliéster, continúa con las etapas de orientación y estabilización. En la orientación, la película amorfa se calienta arriba de 80°C y se retira biaxialmente (dos direcciones en ángulo recto). Cuando se mejoran las propiedades mecánicas, la fragilidad de la película forjada se pierde. El producto en esta etapa, está aún sujeto a encogimiento si se retira arriba de la temperatura de vaciado, esta propiedad se usa para encapsulación o en empaques de encogimiento por calor (6). La manufactura se completa normalmente calentando la película y estirándola a 200°C con limitación de encogimiento cuando ocurre la cristalización (puede ser acelerada por agentes nucleantes, generalmente una mezcla de polietileno y polipropileno (73). El material se suministra dimensionalmente estable a la temperatura de cristalización, existiendo numerosas variantes en cuanto a detalles de extrusión tanto para las películas como para las fibras y el proceso mismo para la obtención del polietiléntereftalato, que en esencia corresponden a los descritos (74 a 79).

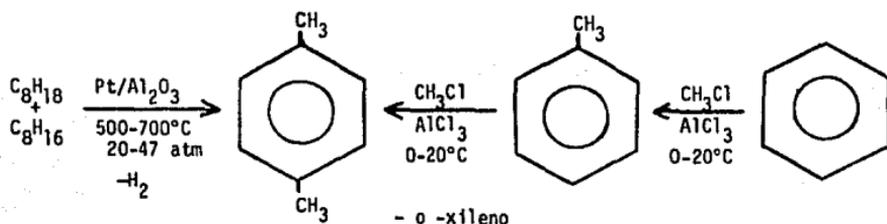
#### 4.4 Materias primas:

La materia prima utilizada para la síntesis del PET es el p-xileno y los reactivos principales son el ácido nítrico, metanol y etilenglicol (59).

##### 4.4.1 p-xileno:

Sus usos principales son la obtención de ATP, ácido benzóico y como disol-

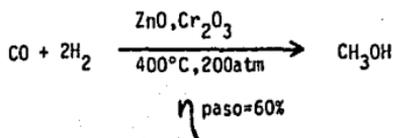
vente. Se produce principalmente por reformado catalítico de nafta ligera  $C_8$  y alquilación de tolueno o benceno, la extracción del destilado del alquitrán de hulla representa 1-2% de la producción total (80,81). A su vez el tolueno se sintetiza por alquilación de benceno o reformado del heptano, el corte  $C_6$  de hidrocarburos ligeros del petróleo produce benceno por este mismo proceso, ambos en condiciones similares a la nafta  $C_8$ :



Pasando acetileno por un tubo calentado a  $500^\circ C$ , éste se trimeriza dando benceno (82).

#### 4.4.2 Metanol:

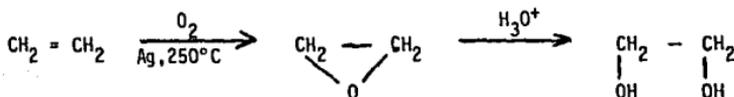
Originalmente obtenido por destilación destructiva de la madera, este petroquímico básico o primario, de múltiples usos y aplicaciones, se prepara a la fecha principalmente por hidrogenación del monóxido de carbono, dentro de los procesos relacionados al inicial de Fischer-Tropsch (80,81,83):



#### 4.4.3 Etilénglico (MEG) :

Tanto el MEG como su principal materia prima, el etileno, tienen innumerables aplicaciones industriales y constituyen un pilar básico en la petroquímica mundial.

La obtención del etilénglico se realiza usualmente a través del óxido de etileno (84, 85) :

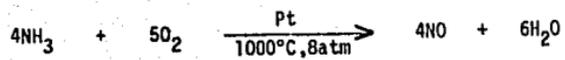
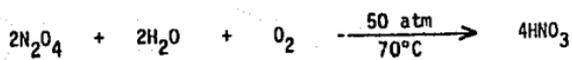


El etileno se obtiene por varios procedimientos, por ejemplo deshidrogenación pirolítica de etano en condiciones de "cracking" a  $T = 500-700^\circ\text{C}$ ,  $P = 2-4$  atm, sobre  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  como catalizador. Pirólisis de propano en condiciones similares con producción de propileno, metano e hidrógeno como coproductos, etc. La fuente de estos hidrocarburos es el gas natural (80,86,87).

Los gases de cracking dentro de las operaciones básicas de refinería son una fuente importante de etileno e hidrocarburos insaturados, pudiendo contener hasta 40% de etileno (88).

#### 4.4.4 Acido nítrico :

De importancia capital en la industria química inorgánica, este ácido se usa entre otras aplicaciones en la manufactura de nitratos orgánicos e inorgánicos, nitrocompuestos, intermediarios para colorantes, explosivos, fijadores de perfumes, etc. Los principales procesos para su obtención son el método Fauser (89) a partir de tetróxido de nitrógeno y la oxidación catalítica del amoníaco (90):



## CAPITULO 5

## DISCUSION

La fibra de polietiléntereftalato, es un polímero versátil debido a sus propiedades que lo hacen adecuado para múltiples usos. Es muy importante en la industria textil, en la industria en general y es básico en el ramo eléctrico. El polietiléntereftalato ha presentado un progreso significativo en el campo de las aplicaciones como material para fabricación de botellas, en las que se manejan gran variedad de productos como bebidas carbonatadas (cervezas, sidras, refrescos) y licores.

El PET combinado con otras fibras, por ejemplo con lana, rayón a la viscosa, orlón, etc., adquiere mayor consistencia, durabilidad y mejor calidad de los productos derivados, proporcionando ventajas y comodidad al usuario.

El polietiléntereftalato se ha fabricado en diversos países del mundo y ha sido registrado bajo diversos nombres, esta fibra se mantiene en primera línea desde la década de los 50s. En la actualidad se sigue fabricando polietiléntereftalato en gran escala sobre todo en los Estados Unidos, Canadá y en algunos países de Europa y Asia.

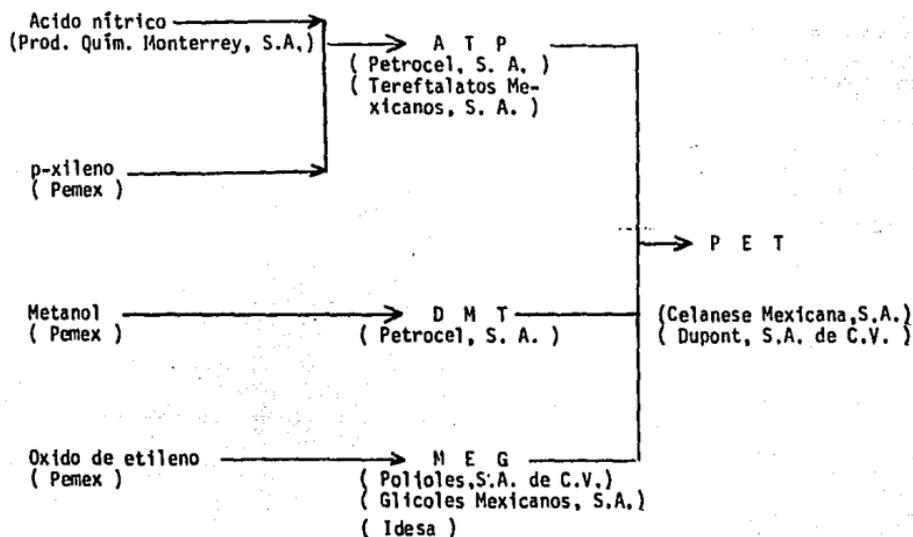
Sus usos mayoritarios en México son como fibra textil y como película plástica para envases y botellas.

El sector industrial de las fibras artificiales y sintéticas en nuestro país, se halla constituido por 10 empresas que operan 31 plantas ubicadas en 14 localizaciones de los estados de : México, Tlaxcala, Jalisco, Nuevo León, Querétaro, Veracruz, Tamaulipas y el Distrito Federal. La producción total de fibras sintéticas y artificiales fue de  $3.4 \times 10^5$  ton, en 1986 (22).

Las empresas productoras de polietiléntereftalato fabrican también fi-

bras y película, destinando cierta proporción para venta a otras compañías que elaboran los productos finales, principalmente telas y botellas, tabla 5.1 (\*).

Por la materia prima y reactivos involucrados así como las empresas que los producen (91), la integración industrial en la manufactura de la resina PET con la petroquímica básica, se puede esquematizar para nuestro país en función de los productores mayoritarios como:



(\*) Fuente: información directa.

Tabla 5.1 Fibras y película de polietiléntereftalato fabricadas en el país.

EMPRESA	PLANTA	FILAMEN TO TEX- TIL	FIBRA CORTA	A.T. Y CUERDA PARA LLANTAS	PELICULA
Celanese Mexicana, S.A.	Toluca, Edo. de Mex. Ocotlán, Jal. Querétaro, Qro.	* *	* *	*	*
Dupont, S.A. de C.V.	Edo. de México		*	*	*
Fibras Químicas, S.A.	Monterrey, N.L.	*		*	
Fibras Sintéticas, S.A.	México, D.F. Cotaxtla, Ver.	* *	*		
Kimex, S. A.	Edo. de México	*	*		
Nylon de México, S.A.	Monterrey, N.L.	*	*		

## CAPITULO 6

## CONCLUSIONES

Se resumió y clasificó la información existente en la literatura bajo la presentación propuesta en los capítulos desarrollados en este trabajo, lográndose los objetivos planteados.

Debido a sus propiedades el polietiléntereftalato es adecuado para una gran variedad de usos, tanto industriales como domésticos y en cordelería.

Las fibras de polietiléntereftalato y las películas de poliéster (Mylar) constituyen un renglón económico muy importante tanto al nivel nacional como internacional.

Su consumo aparente en el mercado nacional, mostró una tendencia creciente cuya proyección a futuro implica un aumento en la producción para satisfacer la demanda interna con posibilidad de abrir nuevos mercados potenciales.

A la fecha la resina PET se produce en México mediante el proceso de transesterificación.

Los precursores petroquímicos clave en su proceso de manufactura y síntesis son: ácido nítrico, p-xileno, metanol y etilén-glicol.

El proceso utilizado en la manufactura de la fibra y la película, es básicamente el mismo desarrollado inicialmente, salvo pequeñas variaciones.

## B I B L I O G R A F I A .

- 1) Kirk D. F. & Othmer F. D.- "Encyclopedia of Chemical technology".  
Vol. 13, First Ed. Ed. Board, N. Y. 1954.
- 2) Whinfield J. R.- Nature, 159, 673 (1947).
- 3) Mark F. & Hernan G. G.- "Encyclopedia of Polymer Science and Technology".  
Vol. 11, Ed. Board, N.Y. 1969.
- 4) Kirk D. F. & Othmer F. D.- "Encyclopedia of Chemical technology".  
Vol. 16, 2nd. Ed. Ed. Board, N. Y. 1968.
- 5) Bjorkstenj & Toverly H.- "Polyesters and their applications".  
Reinhold Publ. Corp. N. Y. 1956.
- 6) Goodman I. & Rhys A.- "Polyesters", Vol. 1 saturated polymers,  
American Elsevier Publ. Co. Inc. N.Y. 1965,
- 7) Windholz M. & Budavari S.- "The Merck Index 10th. Ed." Merck & Co. Inc.  
Rahway N. J. 1983,
- 8) Moncrieff R. W.- "Man-Made Fibers", J. Wiley & Sons, Inc.  
N. Y. 1957.
- 9) Carbajal A. D.- "Diseño de una planta de polietiléntereftalato". Tesis  
profesional, Fac. de Química, UNAM, México, 1974.
- 10) Billmeyer F. W. Jr.- "Textbook of Polymer Science". J. Wiley & Sons,  
Inc. N. Y. 1962.
- 11) Kirk D. F. & Othmer F. D.- "Encyclopedia of Chemical technology". Vol. 18,  
third Ed. J. Wiley & Sons, Inc. N. Y. 1982,
- 12) Yoshimoto M. & Owaki S.- J P 60,151,310 (1985). C. A. 103,  
p197278 w (1985).
- 13) Iguarán de la G. R.- "Estudios sobre los procedimientos de tinturas para  
tejidos de poliéster". Tesis profesional, F. O. UNAM,  
México, 1976.

- 14) Guzmán Z. A.- "Tintura de la tela poliéster en máquinas a presión". Tesis profesional, Fac. de Química, UNAM, México, 1975.
- 15) Harald R. & Wiertelorz E.- Ger. (East) DD 217,544 (1985). C. A. 103, p143 286 d (1985).
- 16) Feria M. I.- "Teñido de la fibra poliésterica". Tesis profesional, Fac. de Química, UNAM, México, 1969.
- 17) Van W. K.- Text. Prax. Int. 40 (5), 545 (1985). C. A. 103, p179540 w. (1985).
- 18) Kirk D. F. & Othmer F. D. "Enciclopedia de la Tecnología Química", tomo XII, 1a. edición en español, U.T.E.H.A. México, 1962.
- 19) Amborski L. E. & Flierl W. D.- Ind. Eng. Chem. 45, 2290 (1953).
- 20) Srinivasan R. & Leigh J. W.- J. Am. Chem. Soc. 104, 6784 (1982).
- 21) Roberta A. & Col.- "1985 Annual Book of American Standards for Testing Materials", ASTM, Easton Md. U.S.A., 1985.
- 22) ANIQ.- "Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana". 11a. edición. Talleres ANIQ, México, 1986.
- 23) Matsumoto T. & Masaru H.- J P 60,151,375 (1985). C. A. 103, p179581 k (1985).
- 24) J P 59,913 (1984). C. A. 101, p8652 p (1984). Teijin Ltd. Jpn.
- 25) Hill R.- "Tecnología de las Fibras Artificiales". Ed. Aguilar, Madrid, 1958.
- 26) Yoshiyuki K. & Yoshuki K.- J P 60, 199, 940 (1985). C. A. 104, p35406 e (1986).
- 27) Hawley G.- "Diccionario de Química y de Productos Químicos". Ediciones Omega S. A. Barcelona, 1975.
- 28) Pine H. S. y Cram J. D.- "Química Orgánica". 2a. Ed. Mc Graw-Hill de México S. A. Madrid, 1982.

- 29) Brandrup J. & Immergut G. H.- "Polymer Handbook". 2nd. Ed.  
J. Wiley & Sons Inc. N. Y. 1975.
- 30) Wendt H. C.- Plastics Engineering 38, 29 (1982).
- 31) Neumann H. E.- Plastics Engineering 38, 21 (1982).
- 32) Plastics Engineering 38, 40 (1982). National Starch and Chemical Corp.
- 33) Frederickson R.- Plastics Engineering 37, 53 (1981).
- 34) Weber G. T.- "Coloring of Plastics". J. Wiley & Sons, N. Y. 1979.
- 35) Ink D.- J P 57; 168, 945 (1982). C. A. 98, p127167 p (1983).
- 36) J P 5820, 443 (1983). C. A. 99, p89278 m. (1983). Teijin Ltd. Jpn.
- 37) Plastics Engineering 40, 41 (1984). Eastman Chemical Products, Inc.
- 38) Rosenzweig D. M.- Chem. Eng. 82, 52 (1975).
- 39) Iammartino R. N.- Chem. Eng. 83, 73 (1976).
- 40) Chem. Eng. 85, 77 (1978).
- 41) Celanese Mexicana.- Boletín Técnico No. 1-2-3, México, 1985.
- 42) Chem. Eng. 85, 94 (1978).
- 43) Hayward T.- Chem. Eng. 89, 27 (1982).
- 44) Modern Plastics 30 (5), 204 (1953).
- 45) Chem. Eng. News 32, 928 (1954).
- 46) Ross S. D. & Colburn E. R.- J. Polymer Sci. 13, 406 (1954).
- 47) Kazuyoshi O.- J P 79, 156085 (1979). C. A. 92, p164880 n (1980).
- 48) Modern Plastics 31 (9), 9 (1954).
- 49) Wark T. D.- Chem. Eng. News 55, 15 (1977).
- 50) Yasuyuki Y.- U S PAT : 4, 183, 976 (1980). C. A. 92, 164860f (1980).
- 51) Modern Plastics 30 (9), 74 (1953).

- 52) Shigeru S. & Takao N.- J P 79, 153, 836 (1979). C. A. 92,  
p164870 j (1980).
- 53) Shigeru S. & Takao N.- J P 79, 155, 232 (1979). C. A. 92,  
p164867 p (1980).
- 54) Dia Foil K. K.- J P 8138, 256 (1981). C. A. 95, p82151 y (1981).
- 55) Dia Foil K. K.- J P 8138, 257 (1981). C. A. 95, p82150 x (1981).
- 56) Kemblowski Z. & Torzecki J.- Polym. Eng. Sci. 22 (3), 29 (1982).  
C. A. 96, p86858 c (1982).
- 57) Branford A. N. & Eric N.- Eur. Pat. 44, 616 (1982). C. A. 96,  
144038 y (1982).
- 58) J P 5959, 915 (1984). C. A. 101, p8650 m (1984). Teijin Ltd. Jpn.
- 59) Guccione E.- Chem. Eng. 70, 76 (1963).
- 60) Mayer L.- "Métodos de la Industria Química". Ed. Reverté S.A.  
Barcelona-México, 1978.
- 61) Groggins P. H.- "Unit Processes in Organic Synthesis", 5th. Ed.  
Mc Graw-Hill, N. Y. 1958.
- 62) J P 8029, 729 (1980). C. A. 94, p176581 y (1981), Mitsubishi  
Rayon Co. Jpn.
- 63) Matsukawa S. & Tetsuo M.- J P 60, 208, 326 (1985). C. A. 104,  
p150705 p (1986).
- 64) Prengel H. G. & Wolf T. E. - Ger. (East) DD 217, 812 (1985). C. A.  
103, p143285 c (1985).
- 65) J P 60, 126, 315 (1985). C. A. 103, p124918 v (1985). Toray  
Industries, Inc. Jpn.
- 66) Brody H.- Eur. Pat. 154,425 (1985). C. A. 103, 179583 n (1985).

- 67) J P 60, 126, 318 (1985). C. A. 103, p124916 t (1985). Toray Industries, Inc. Jpn.
- 68) "Considine D. M."- "Chemical and Process Technology Encyclopedia". Mc Graw-Hill, Book Co. N. Y. 1974.
- 69) J P 5959,911 (1984). C. A. 101, p8653 q (1984). Asahi Chemical Industry. Co., Ltd. Jpn.
- 70) Fourne F.- Chemiefasern Textilino 35 (6), 397 (1985). C. A. 103, p197220 w (1985).
- 71) Wenig W.- Colloid Polym. Sci. 260 (1), 31 (1982). C. A. 96, p143853 y (1982).
- 72) Eric N. & Keith M. T.- Eur. Pat. 44, 141 (1982). C. A. 96, 124036 t (1982).
- 73) Bourland L.- Plastics Engineering 43, 39 (1987).
- 74) Bunn H.- Ind. Eng. Chem. 44, 2129 (1952).
- 75) Chem. Eng. 77, 82 (1970). Goodyear tire & Rubber Co.
- 76) Chem. Eng. News 31, 3830 (1953).
- 77) Hans J. Z.- Chem. Eng. News 43, 6 (1965).
- 78) Ellwood P.- Chem. Eng. 74, 98 (1967).
- 79) Osipenko I. F. & Tsvilik G. L.- USSR SU : 1,014, 941 (1983). C. A. 99, p89548 z (1983).
- 80) Wingrove A. S. & Caret R. L.- "Organic Chemistry". Harper & Row Publ. Inc. N. Y. 1981.
- 81) Wittcoff H. A. & Reuben B. G.- "Industrial Organic Chemicals in Perspective". Part 1 : Raw Materials and Manufacture. J. Wiley & Sons, Inc. N. Y. 1983.

- 82) Finar I. L.- "Organic Chemistry", Vol. 1, 6th. Ed. Continental Printing Co. Ltd. Hong Kong. 1973.
- 83) Allinger N. L. & Cava P. M.- "Organic Chemistry". 2nd. Ed. Worth Publ. Inc. N. Y. 1976.
- 84) Morrison T. R. y Boyd N. R.- "Química Orgánica". Fondo Educativo Interamericano. Versión española de la 3a. ed. en inglés. México, 1976.
- 85) Roberts D. J. & Caserio C. M.- "Basic principles of Organic Chemistry". 2nd. Ed, W. A. Benjamin, Inc. Menlo Park, California, 1977.
- 86) Rakoff H. y Rose C. N.- "Química Orgánica Fundamental". 8a. reimpre- sión, Ed. Limusa, México, 1982.
- 87) Noller R. C.- "Química Orgánica". 3a. Ed. Editorial Interamericana, México, 1971.
- 88) Devore G.- "Química Orgánica". 9a. reimprección, Publicaciones Cultural S. A. México, 1980.
- 89) Bargalló M. y Bolívar J. I.- "Tratado de Química Inorgánica" 1a. edi- ción, Ed. Porrúa, México, 1962.
- 90) Choppin R. G. y Jaffe B.- "Química", 1a. edición, Publicaciones Cultural S. A. México, 1982.
- 91) Ramírez de A. C.- "Guía de la Industria Química. Productos Químicos 1987-1988". Vol. 1, Editorial Cosmos, México, 1987.