

170
12



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

Escuela Nacional de Estudios
Profesionales "Zaragoza"



LA INDUSTRIA DE LAS FIBRAS
QUIMICAS

T E S I S

Que para obtener el Titulo de
INGENIERO QUIMICO
p r e s e n t a

JUAN MANUEL MARTINEZ SANCHEZ



TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

México, D. F.

1991



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 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.

INDICE GENERAL.

INTRODUCCION

Cap. I.-	GENERALIDADES	
I.1	Antecedentes Históricos y Evolución	1
I.2	Origen de las Fibras Químicas	4
I.3	Clasificación	8
I.4	Usos	11
I.5	Industria Petroquímica Secundaria, Petroquímicos Intermedios e Industria Textil	13
Cap. II.-	PANORAMA MUNDIAL DE LAS FIBRAS QUÍMICAS	
II.1	Desarrollo Histórico y Situación Actual	20
II.2	Perspectivas	30
II.3	Participación de México en el Mercado Mundial	36
Cap. III.-	PANORAMA NACIONAL DE LAS FIBRAS QUÍMICAS	
III.1	Panorama General	39
III.2	Desarrollo Histórico y Situación Actual	40
III.3	Perspectivas	48
III.4	Participación de las Fibras Químicas dentro de la Industria Textil	52
Cap. IV.-	PRINCIPALES FIBRAS QUÍMICAS NACIONALES	
IV.1	Fibras Poliamidas	57
IV.1.1	Generalidades	57
IV.1.2	Usos	59
IV.1.3	Mercado	63
IV.1.4	Materias Primas	73
IV.1.5	Perspectivas	75

IV.2	Fibra Acrilica	78
IV.2.1	Generalidades	78
IV.2.2	Usos	83
IV.2.3	Mercado	85
IV.2.4	Materias Primas	90
IV.2.5	Perspectivas	98
IV.3	Fibra Polipropilénica	101
IV.3.1	Generalidades	101
IV.3.2	Usos	103
IV.3.3	Mercado	105
IV.3.4	Materias Primas	111
IV.3.5	Perspectivas	117
IV.4	Fibras Elastoméricas	119
IV.4.1	Generalidades	119
IV.4.2	Usos	124
IV.4.3	Mercado	125
IV.4.4	Materias Primas	134
IV.4.5	Perspectivas	137
IV.5	Fibras Acetato de Celulosa	139
IV.4.1	Generalidades	139
IV.4.2	Usos	140
IV.4.3	Mercado	142
IV.4.4	Materias Primas	151
IV.4.5	Perspectivas	155

Cap. V.- CASO DE ESTUDIO: FIBRAS POLIESTER

V.1	Generalidades	157
-----	---------------------	-----

V.2	Usos	153
V.3	Mercado	155
V.4	Materia Prima	174
V.5	Perspectivas	176
V.6	Costos de Planta para Fibras Poliéster	183
V.7	Análisis de Costos para Plantas de Fibras Poliéster	194
Cap. VI.-	ANÁLISIS DE COSTOS PLANTA DE OTRAS FIBRAS QUÍMICAS	
VI.1	Costos de Planta para producir Fibras Nylon	196
VI.2	Costos de Planta para producir Fibras Polipropileno ..	202
Cap. VII	CONCLUSIONES	208
Cap. VIII	BIBLIOGRAFIA	211
APENDICE A:	REGRESION MULTIPLE	215
APENDICE B:	MEMORIA DE CALCULO	220

INTRODUCCION.

La industria de las fibras químicas es un segmento sumamente importante en la economía de las naciones. Un análisis de cualquier corporación líder muestra que el porcentaje de ingresos totales obtenidos de la fabricación y comercialización de las fibras químicas, es mucho mayor en comparación con los gastos asociados al proceso productivo.

Sobre esta base puede establecerse que la fabricación de fibras represente una fuente considerable de producto ingreso para la economía de cualquier país.

La industria de las fibras químicas está integrada por empresas que producen fibras artificiales o sintéticas, las cuales son fabricadas haciendo uso de procesos químicos en los que cuando menos una de las materias primas es de origen petroquímico.

Las fibras artificiales o sintéticas se consumen en la industria textil principalmente en sus dos presentaciones, tanto en su tipo filamento como en su forma de fibra corta, y pueden ser fibras químicas puras o solas, o bien mezcladas con fibras de origen natural como el algodón o la lana.

A través del tiempo la tendencia general de las fibras químicas ha sido la de sustituir o desplazar precisamente a las fibras naturales, esto debido a sus propiedades, su gran diversidad y su aspecto físico, el cual, incluso les ha permitido tener mayor disponibilidad, mejor calidad y hasta menor precio.

Debido a que esta industria ha experimentado un desarrollo muy dinámico, lo cual la ha constituido como una actividad altamente

exportadora y una fuente de divisas muy importante para el país, no obstante la grave crisis económica que lo ha afectado en los últimos años, se eligió el presente tema como resultado de analizar la industria de las fibras químicas, su evolución, situación actual y posible escenario futuro.

Tomando esto en consideración se planteará en el presente trabajo un estudio de lo que son las fibras químicas, donde se originan, como se clasifican y en que se usan. Asimismo se analizará el panorama económico mundial y nacional del mercado de las mismas.

Se estudiará por separado y en forma particular para cada una de las principales fibras químicas elaboradas en el país sus parámetros más importantes en el mercado nacional, la situación de las materias primas y el estado actual de las tecnologías que se emplean en su fabricación, y además se incluirá las proyecciones de cada una al mediano plazo.

Al final se escogerá y abordará como caso de estudio la fibra con mayor impacto en el mercado nacional y hacia el exterior, y se enfatizará sobre su aspecto tecnológico, incluyendo dentro de él un análisis de los costos de planta del o de los procesos empleados para su elaboración.

CAPITULO I
GENERALIDADES SOBRE FIBRAS QUIMICAS

CAPITULO I.

GENERALIDADES

Una fibra es un material en el cual la longitud es al menos cien veces el diametro de este. En el caso de fibras naturales, estas se definen como una aglomeracion de celulas en la cual el diametro es despreciable en comparacion con la longitud. En el caso de fibras sinteticas, estas son materiales organicos o inorganicos los cuales han sido procesados para formar hilos.

Las fibras sinteticas se clasifican por su forma en elementos de longitud corta (fibra corta) o de longitud muy larga (hilamiento continuo). Las fibras quimicas son aquellas que durante su proceso de fabricacion se utiliza al menos una materia prima de origen petroquimico.

Si bien la naturaleza es abundante en materiales fibrosos, especialmente de tipo celuloseico, tales como el algod6n, la lana, la madera, la paja, etc., solo algunos de estos puede ser usado para aplicaciones textiles u otros propositos industriales. La utilidad de una fibra para fines comerciales esta determinada por sus propiedades tales como longitud, resistencia, elasticidad, plegabilidad y otras propiedades de superficie. No obstante que muchas fibras no combinan el grado optimo de todas estas propiedades, se adaptan segun su naturaleza a los requerimientos especiales sobre todo de aplicacion textil.

1.1. Antecedentes Historicos y Evolucion.

El origen de las fibras quimicas se remonta a los albores de la historia cuando el hombre tuvo necesidad de entrelazar fibras naturales para hacer sogas o algunos tejidos, para sujetar sus ropas y/o cuorirse del frio. Varios siglos despues el hombre intento duplicar las fibras naturales y en 1664 Hooke realizo algunas investigaciones en

las cuales noto que se podria fabricar una fibra parecida a la seda y predijo que dicho material tendria utilidad asi como un gran mercado, si bien no logro obtenerla, sus investigaciones constituyen las bases conceptuales de lo que actualmente son las fibras sinteticas y especificamente la fibra nylon.

No fue sino hasta el surgimiento de la patente de produccion de una seda artificial llamada "articele" (hoy nombrada rayon), cuando logro producirse la primera fibra sintetica, esto ocurrio en Besancon, Francia en 1885. El autor de dicha patente fue Count Hilarie de Chardonnet el cual regenero celulosa eliminando la inflamabilidad del nitrato de celulosa. Chardonnet baso sus estudios en los trabajos hechos 200 años antes por Andemars quien estiro fibras a partir de una solucion de nitrato de celulosa que contenia algo de caucho.

La seda Chardonnet fue hecha por dos de los mejores procesos de hilado en uso hoy en dia. La palabra hilado es aplicable a las fibras quimicas obtenidas a partir de polimeros organicos naturales u organicos sinteticos. El primer proceso de Chardonnet es representativo del hilado húmedo, en el cual una solucion de un polimero es extruida en un dispositivo con un orificio o con orificios multiples dentro de un baño con una temperatura adecuada para el endurecimiento de las hebras. Estas hebras filiformes individuales son llamadas filamentos. El segundo proceso de Chardonnet es llamado de hilado seco en donde una solucion de un polimero es extruida a traves de un dispositivo con orificios multiples dentro de una camara en la cual el solvente se evapora de los filamentos.

La articele fue derivada a partir de un polimero de origen natural de cadena larga: la celulosa. La produccion de fibras quimicas desde 1880 a 1930 se baso primordialmente en el uso de este polimero de origen

natural.

Las investigaciones de Staudinger y Carothers entre 1920 y 1930 sentaron las bases para avances más amplios especialmente en el desarrollo de fibras sintéticas.

Staudinger experimentó con polímeros de alto peso molecular. Basándose en estos trabajos, Carothers dirigió una investigación en los laboratorios de DuPont en 1929 que lo llevo a introducir dos innovaciones en el campo de las fibras químicas. La primera fue la comercialización de la fibra nylon 6,6, que posteriormente se convirtió en la primera fibra obtenida por medios químicos y a partir de polímeros. La segunda fue la técnica de hilado a partir ya no de disolver al polímero en un solvente, sino fundiéndolo. El nylon fue fundido y el líquido viscoso fue extruido a través de un dispositivo con pequeños orificios obteniendo los filamentos del material endurecido por enfriamiento.

El descubrimiento del nylon y la subsecuente aparición de fibras a partir de polímeros sintéticos ha traído consigo la subdivisión de las fibras químicas en dos fibras principales: aquellas que son elaboradas a partir de polímeros de origen natural (llamadas también celulósicas o artificiales) y aquellas derivadas a partir de polímeros sintéticos (fibras no-celulósicas ó sintéticas). Estas últimas representan la mayoría de las fibras químicas.

Poco después de haberse sintetizado el nylon 6,6 el Dr. Paul Schiack (Alemania) realizó otra síntesis diferente del nylon 6 mediante la polimerización de caprolactama, su primer nombre comercial ya en forma de fibra fue perlon. Junto con la fibra nylon 6,6 estos productos son conocidos como fibras poliamidas.

Hacia finales de los años cuarenta los investigadores Whintied y Dixon produjeron un polímero lineal por condensación de etilenglicol con ácido tereftálico o por intercambio estérico entre el glicol y el

tereftalato de dimetilo, conocido como polietilentereftalato (PET). Este polímero podía transformarse en fibras con propiedades muy valiosas incluyendo el ser incoloras. Estas fibras constituyeron la base de lo que hoy se conoce como fibras poliéster.

En los mismos cuarentas se desarrolló la fibra acrílica que se obtuvo al polimerizar el acrilonitrilo y en pocos años logró alcanzar un gran crecimiento como producto competidor, e incluso sustituto en muchos casos, de la lana.

Una de las fibras de más reciente aparición es la polipropilénica, obtenida en los cincuentas. Esta fibra presenta algunas limitaciones en cuanto a sus propiedades físicas con respecto al resto de las fibras, sin embargo ha promovido la aparición de nuevas técnicas de fabricación y de usos especializados.

El desarrollo que han tenido las fibras químicas hasta 1977 a nivel mundial se reporta en la tabla I.1. La producción mundial de fibras químicas se aproximó a la producción mundial de fibras naturales, así mismo es notable como la producción de fibras sintéticas en 1977 fue poco más del triple de la de 1967, en tanto que las fibras celulósicas (artificiales) se mantuvieron estables o tendiendo a la baja.

I.2 Origen De Las Fibras Químicas.

En el cuadro I.1 se esquematizan los principales sectores a los que se destina la mayor parte del volumen de productos obtenidos del petróleo. Además de los aceites, combustibles comunes que resultan de la refinación del petróleo (petroquímica básica), hay otro grupo de sustancias que se obtienen a partir de los hidrocarburos del petróleo y del gas natural mediante procesos de destilación, "cracking" y síntesis posteriores. Este grupo de sustancias constituye lo que se denomina la industria petroquímica secundaria.

Tabla I.1.
Producción Mundial de Fibras Textiles (Miles de Tons. Metricas)

Año	1967	1977
FIBRAS NATURALES		
Algodon	10,180	14,138
Lana	1,502	1,390
Seda	32	49
TOTAL NATURALES	11,774	15,577
FIBRAS QUIMICAS		
Artificiales*	3,428	3,555
Sinteticas		
Poliester	754	4,233
Nylon	1,317	2,934
Acrilicas	542	1,765
Olefinas	150	949
otras	110	110
SUBTOTAL SINTETICAS	2,873	9,996
TOTAL QUIMICAS	6,301	13,551

*Incluyendo rayón y acetato así como fibras de acetato para cigarrillos

Fuente: Textile Economics Bureau.

Este complejo industrial, como se observa en el cuadro 1.1 abarca desde la obtencion de los hidrocarburos alifaticos y aromaticos hasta compuestos resultantes de procesos sinteticos y de polimerizacion. Como resultado de tales procesos en que son transformados los hidrocarburos aromaticos o alifaticos surgen las seis subramas de la petroquímica secundaria en el país: la de los fertilizantes, la de las fibras químicas, las resinas y nules sintéticos, los elastómeros y el negro de humo, los petroquímicos intermedios y por último la de las especialidades químicas. En el cuadro 1.1 solo se esquematizan los tres primeros.

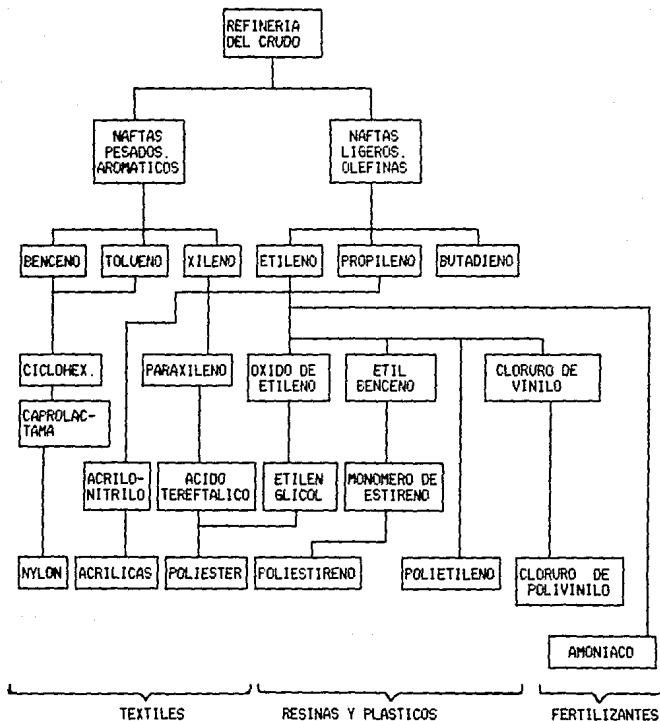
Entre los hidrocarburos de este sector mas utilizados estan el etileno, el propileno y los butilenos. El benceno, el tolueno y los xilenos, el ciclohexano y los acetilenos son algunos de los productos que se obtienen de la deshidrogenacion o pirólisis de los hidrocarburos del petróleo.

Como se muestra en el cuadro 1.1 las principales fibras sintéticas para uso textil surgen a partir de los principales petroquímicos intermedios derivados del petróleo.

En el cuadro 1.2 se representa en forma global el origen que tienen las principales fibras químicas que se producen en Mexico, esencialmente a partir de la industria petroquímica secundaria.

De este cuadro se desprende como conclusion que para la fabricación de todas y cada una de las fibras químicas nacionales se requiere de cuando menos una materia prima de origen petroquímico. Así, se tiene que por ejemplo para la fabricación de la fibra nylon se requiere de la caprolactama, la cual a su vez se obtiene a partir de ciclohexano que es producto del sector petroquímico secundario. Las fibras poliéster requieren para su elaboracion de etilenglicol ácido tereftálico o dimetiltereftalato como materias primas directas y el

Cuadro I.1
Destino de los Principales Productos Petroquímicos



paraxileno en forma indirecta. Este ultimo tambien es producido por la industria petroquimica secundaria.

Existen tambien otras fibras quimicas que requieren de algunas materias primas las cuales no son directamente de origen petroquimico, pero todos los procesos de polimerizacion para fabricarlas siempre requieren de algun derivado petroquimico. Estos son los casos de la fibra acetato (que requiere de metilcelulosa) y las fibras elastomericas (que requieren de isocianatos de metil difenilo), ambos compuestos no petroquimicos. Si bien, por otro lado, tambien requieren de oxido de propileno y acetato de vinilo, derivados petroquimicos.

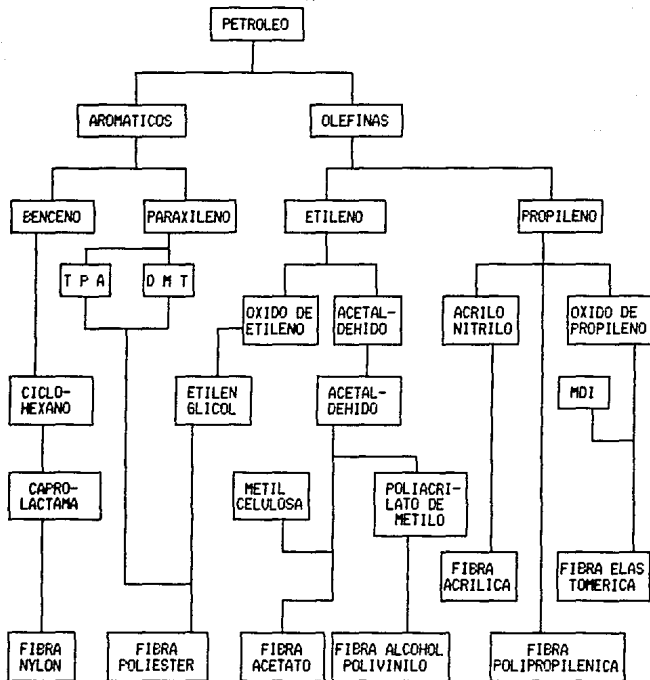
1.3 Clasificacion.

Una clasificacion hecha por muchos autores es aquella que se basa en la aplicacion final de las fibras y que se denomina fibras blandas a todas aquellas que sin importar su origen, son susceptibles de hilarse y tejerse y de usarse sobre todo en la industria textil. Las fibras quimicas acorde a esta definicion caen dentro de este grupo de fibras blandas y las ramas en que se subdividen se muestran en el Cuadro 1.3. En el cuadro 1.3 se observa que las fibras quimicas pueden ser artificiales, sinteticas o inorganicas. Las dos primeras son la base de la produccion de fibras quimicas destinadas a la industria textil.

De las fibras artificiales (tambien llamadas celulosicas) la de mayor importancia es la fibra de acetato de celulosa, ya que la rayon y el triacetato de celulosa tienden a desaparecer por resultar incosteable su produccion.

Dentro de las fibras sinteticas (denominadas tambien no celulosicas) se destacan por su importancia, las fibras poliester, aunque resultan tambien con participacion creciente, las fibras poliamicas, las fibras acrilicas, las fibras polipropilenicas y por ultimo las fibras elastomericas.

Cuadro 1.2
 Origen de las Principales Fibras Químicas
 que se Producen en el País



DMT = Dimetil Tereftalato
 TPA = Acido Tereftalico
 MDI = Isocianato de Metilen Difenilo

Cuadro 1.3 Clasificación de las Principales Fibras Blandas

1.- FIBRAS NATURALES

- | | | |
|-------------------------------------------------|-----------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.1. FIBRAS VEGETALES.
(basadas en celulosa) | a) Procedentes de la
Semilla o Fruto | algodón |
| | | kapok |
| | | fibra de coco
otras |
| b) Procedentes del
Tallo | lino | |
| | cañamo | |
| | yute | |
| | ramio
urena y kenaf | |
| c) Procedentes de
las Hojas | abaca | |
| | henequen (sisal) | |
| | centala | |
| | cañamo mauritano
tormium | |
| 1.2 FIBRAS ANIMALES
(basadas en proteínas) | a) Lana | pelo de llamas
cashmere
pelo de cabra
pelo de camel
pelo de vaca
pelo de caballo |
| | b) Seda | |
| | c) Fibras de pelo
especial | |

1.3 FIBRAS MINERALES. Asbestos (Silicatos de Magnesio)

2.- FIBRAS QUIMICAS

**2.1 FIBRAS ARTIFICIALES O CELULOSICAS
(polímeros orgánicos naturales)**

- a) Rayon
- b) Acetato de Celulosa
- c) Triacetato de Celulosa

**2.2 FIBRAS SINTETICAS-NO CELULOSICAS
(polímeros orgánicos sintéticos)**

- a) Fibras Poliamidas
 - Aramidas
 - Alifáticas
- b) Fibras Acrílicas. Basadas en Poliacrilonitrilo.
- c) Fibras Dietínicas. Basadas en Polipropileno.
- d) Fibras Elastoméricas. Base de Poliuretano segmentado.
- e) Fibras Poliester. De un ácido dicarboxílico y un alcohol dihidrico.

2.3 FIBRAS INORGANICAS

- a) Fibras de Vidrio. Silica y carbonato de calcio.
- b) Fibras Metalicas. Uni o multicomponentes.
- c) Fibras de Ceramica. Oxidos refractarios.

En el cuadro 1.3 se enmarcan otro tipo de fibras que pueden utilizarse en la industria textil, como son las fibras de origen natural y las fibras inorgánicas sintéticas. Las primeras tienen una participación importante en el mercado de la industria textil aunque cada vez son desplazadas principalmente por las fibras químicas sintéticas, en tanto que las segundas tienen una participación relativamente baja en dicho mercado.

Cuando las fibras químicas se comercializan, el nombre que adaptan en el mercado no siempre tiene que ver con alguna nomenclatura química. En la tabla 1.2 se enlistan las principales fibras textiles comerciales así como su composición porcentual.

1.4. Usos Principales de las Fibras Químicas.

Las fibras artificiales y sintéticas se utilizan en la industria textil principalmente, en sus dos presentaciones, tanto en su tipo filamento, como de fibra corta y pueden ser fibras químicas puras, o bien pueden estar mezcladas con otras fibras de origen natural como el algodón o la lana.

Las causas que han originado el notable incremento en el uso de las fibras químicas son las siguientes:

a) Su aspecto, su apariencia, y sus propiedades fisicoquímicas amplían su campo de aplicación sobre las fibras naturales.

b) La elaboración de la fibra corta, que permitió usar las fibras artificiales y sintéticas en forma cada vez más extensa en mezcla con las naturales.

c) La firme tendencia a mediano y largo plazo, a reducir el costo relativo de las fibras artificiales y sintéticas frente a las naturales.

d) La gran diversidad existente con mejores y más amplias posibilidades de uso en varios campos, que las hace tener mayor disponibili-

Tabla 1.2 Principales Fibras Textiles Comerciales

Nombre Comercial	Composicion
Rayon	Celulosa regenerada con el menos 10% de otros sustituyentes químicos combinados
Acetato Secundario	Acetato de celulosa con un contenido de 53-54.5% de grupos acético
Acetato Terciario	Acetato de celulosa con aproximadamente 60% de grupos acético
Nylon 6	Poliamida resultante de la polimerización de la caprolactama
Nylon 6,6	Poliamida resultante de la combinación del ácido adipico con hexametildiamina
Courtelle	Copolimero de acrilonitrilo
Orlon	Polimero de acrilonitrilo
Vinyon	Copolimero de 60% de cloruro de vinilo y 12% de acetato de vinilo
Modacrilica	Poliacrilonitrilo con un contenido de grupos de acrilonitrilo de entre 35 y 65%
Algodon	Celulosa natural
Lino	Celulosa natural
Yute	Celulosa natural
Seda	Proteína natural fibrosa
Lana	Proteína natural keratina
Vinyon	nicolol para nitrilo
Polietileno	Polietileno
Ulerinica	Polipropileno
Dynel	Copolimeros con 60% de cloruro de vinilo y 40% de acrilonitrilo
Terilene	Poliéster
Termovihyl	Polimero de cloruro de vinilo
Rhovyl	Polimero de cloruro de vinilo
Dacron	Poliéster
Acrlan	Polimero de acrilonitrilo
Zelan	Copolimero de 60-65% vinilideno y acrilonitrilo
Darvan	Copolimero formado principalmente a base de acrilonitrilo
Creslan	Copolimero formado principalmente a base de acrilonitrilo
Verele	Copolimero de vinilo o cloruro de vinilo y acrilonitrilo
Spandex	Elastomérica con el menos 65% de poliuretano

dad, y mejor calidad. Toda esta diversidad debida a el perfeccionamiento de los procesos por parte de las empresas productoras y la publicidad que hacen estas a gran escala, lo cual propicia grandes necesidades en el consumidor.

En el cuadro I.4 se resumen los principales usos de las fibras quimicas por el orden de importancia que tienen en los diversos campos de aplicacion.

I.5 La Industria Petroquimica Secundaria, los Petroquimicos Intermedios y la Industria Textil.

La industria petroquimica basica esta constituida esencialmente gracias a los beneficios que da su unica materia prima, el petroleo. Todos los componentes o fracciones obtenidos a partir de la destilacion primaria del mismo, sin incluir ningun proceso termico o catalitico para obtener otros derivados es lo que se denomina la petroquimica basica.

Dentro del grupo de compuestos obtenidos en las operaciones basicas de refinaria estan las gasolinass naturales, kerosenos, naftas, diesel.

Cuadro I.4 Principales Productos Derivados de las Fibras Quimicas

PRINCIPALES USOS FIBRAS QUIMICAS	a) Industria Textil	{ Ropa interior y exterior Pañuelos Sábanas y manteles Guantes
	b) Productos para el hogar	{ Cortinas Tapetes y alfombras Calzado
	c) Usos Industriales	{ Cuerdas para llantas Redes y cuerdas Mangueras Bandas y lonas
	e) Otros usos	{ Filtros para cigarrillos Cintas y listones

gasoleno, petroleo diáfano y Crudo desdesbetado.

En el país la situación del sector petroquímico básico es diferente al de otros países debido a que de acuerdo con la ley, empresas solamente 100% del estado mexicano pueden intervenir en la transformación de los hidrocarburos para obtener los productos petroquímicos de primera reacción. En todos aquellos casos en los cuales los productos petroquímicos básicos se transforman en otros productos, la iniciativa privada puede intervenir siempre y cuando cuente con el correspondiente permiso que otorga la comisión de gobierno denominada Comisión Petroquímica Mexicana, conjuntamente con la Secretaría de Minas e Industria Paraestatal, la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial y PEMEX.

Todos los derivados de los petroquímicos básicos constituyen lo que se llama Industria Petroquímica Secundaria. Esta industria está integrada por el grupo de sustancias obtenidas a partir de los hidrocarburos del petróleo y del gas natural mediante procesos de destilación fraccionada, "cracking" y síntesis posteriores.

Todo este grupo de compuestos subdividen al sector petroquímico secundario dependiendo del destino que tenga su aplicación final. De esta forma surgen las seis subramas de la petroquímica secundaria en México: los petroquímicos intermedios, las resinas sintéticas, las fibras químicas, los elastómeros y negro de humo, las especialidades químicas y los fertilizantes nitrogenados.

En 1969, a diez años de iniciada la petroquímica en México, se producían únicamente diez petroquímicos intermedios y su consumo aparente fue de 170,000 tons. Doce años después, en 1981 se produjeron más de veinte y su consumo aparente, fue de 800,000 tons. Para 1987 el consumo aparente fue cercano a 1,200,000 tons. (ver tabla 1.3).

La mayoría de ellos se utilizan como monómeros o materias primas para

polímeros. Solamente algunos de los intermedios, como por ejemplo la anilina y la acetona se usan principalmente para elaborar otros productos que no son polímeros.

Algunos de los intermedios dan lugar a numerosos derivados en los cuales se agrupan dos o tres productos químicos diferentes bajo una sola denominación, por ejemplo, se dice etilenglicoles, al monoetilenglicol, dietilenglicol y trietilenglicol, que se obtienen del óxido de etileno.

Muchos de los intermedios están ligados a la producción de fibras, de manera que son las mismas empresas fabricantes de fibras artificiales y sintéticas las que solicitan los permisos y se integran verticalmente hacia las materias primas en su producción de fibras.

Aunque la producción y el consumo de los petroquímicos intermedios es menor en volumen que los petroquímicos básicos, generalmente sus precios son mayores.

En la tabla 1.4 se presenta para el periodo 1975-1980 algunas cifras que se derivan de la necesidad de vestir.

Un 5% de la población del país en 1980 (o sean 3.4 de 67.5 millones de habitantes) subsistía de las siguientes actividades: cultivo de algodón, manufactura de fibras químicas, industria textil, fabricación y venta de ropa y otros artículos textiles.

De esos 3.4 millones de personas el 3% dependían de la industria de las fibras químicas, en tanto que de el total de personas ocupadas en actividades tendientes a vestir, la industria de las fibras químicas participaba con un 3.3% y el valor de su producción era un 6.5% del total aportado por dichas actividades en 1980.

La industria de las fibras químicas es una subrama de la industria petroquímica secundaria que se analizará con mayor detalle en los capítulos siguientes.

Tabla 1.5
Consumo aparente de algunos intermedios petroquímicos 81/87
(Miles de toneladas)

Producto	Producción	Importación	Exportación	Consumo Aparente
TOTAL*	1022/1587	19.41	167/456	872/1172
Acetato de vinilo	26/41	-/-	-/14	26/33
Acetona	29/48	1/1	-/1	30.48
Acido acético	85/146	-/-	-/15	85/131
Alcohol 2-etil- xilico	27.52	-/-	-/15	27/37
Anhidrido ace- tico	36.79	3/-	-/3	39/76
Anhidrido ftá- lico	28/78	5/-	-/43	33/35
Anhidrido Mal- leico	6/6	-/-	-/-	6/6
Anilina	2/2	-/1	-/-	2/3
Acido Tereftálico	145/249	-/-	-/134	73/115
Dimetil terefta- lato	174/241	-/-	-/133	93/108
Etilenglicoles	58/87	-/20	-/16	58/91
Fenol	23.35	-/-	-/13	21/22
Formaldehido 37%	75/99	-/-	-/-	75/99
Caprolactama	48.58	3/7	-/-	51/65
Metacrilato de metilo	11/16	-/2	2/5	9/13
Toluen Diiso- cianato	11/16	-/-	2/2	9/8
Acido nítrico	161/219	5/9	-/-	165/219
Negro de humo	77/124	2/1	10/62	69/63

*sin incluir los fertilizantes, ni el tetraetilo de plomo.

FUENTE: ANIQ. Anuario Estadístico 1987.

Tabla 1.4
 México: Estructura de las actividades tendientes a vestir

TOTAL	1975	1980
Personal ocupado (miles)	551	641
Población dependiente (miles)	3,000	3,455
Valor de la producción (millones \$)	80,000	200,000
CULTIVO DEL ALGODÓN:		
Personal ocupado (miles)	150	150
Población dependiente (miles)	1,000	1,000
Valor de la producción (millones \$)*	2,500	13,000
INDUSTRIA DE LAS FIBRAS QUÍMICAS:		
Personal ocupado (miles)	17	21
Población dependiente (miles)	65	105
Valor de la producción (millones \$)	5,800	13,000
INDUSTRIA TEXTIL:		
Personal ocupado (miles)	144	170
Población dependiente (miles)	720	850
Valor de la producción (millones \$)	29,400	65,800
INDUSTRIAS DE ROPA Y OTROS ARTICULOS TEXTILES#:		
Personal ocupado (miles)	90	100
Población dependiente (miles)	450	500
Valor de la producción (millones \$)	12,000	28,000
ACTIVIDADES COMERCIALES Y OTRAS RELACIONADAS:		
Personal ocupado (miles)	150	200
Población dependiente (miles)	750	1,000
Valor de la producción (millones \$)	20,000	80,000

* Aproximadamente la mitad del algodón producido se exporta

Corresponde a los establecimientos censados. En los establecimientos no declarados pueden trabajar dos o tres veces el personal mencionado y aumentar el valor del producto.

FUENTE: Censo industrial y Cámara Nacional de la Industria Textil

Las actividades arriba mencionadas proporcionan las materias principales a la industria textil. Esta industria surte con sus telas y textiles a las industrias de la ropa y otros artículos textiles. Por último los comercios y otros servicios se encargan de hacer llegar al consumidor final los artículos textiles que este requiere.

En la tabla 1.5 se puede observar que el consumo de fibras naturales era mayor que el de las fibras químicas hasta 1970. A partir de entonces las fibras químicas han tenido una mayor participación en el mercado de fibras blendas, esto, debido principalmente a sus mejores y más amplias posibilidades de aplicación sobre las fibras naturales aunque por motivo del aumento de la población y la crisis económica que resiente la mayor parte de esta, el consumo percapita ha tenido altibajos.

Además de la producción de fibras químicas, la industria textil depende de los colorantes y aprestos que le proporciona la industria química. La industria textil tiene una tecnología de equipo, porque una vez producido el polímero, la producción de la fibra y sus diversos tratamientos como son, extrusión, termofijado, secado, rizado, alargamiento, embobinado, tejido, etc. son actividades que dependen de la maquinaria textil.

Una empresa integrada a la fabricación de fibras químicas, del total del equipo utilizado aproximadamente la mitad es similar al usado en la industria química y la otra mitad es equipo del tipo textil. Este último se utiliza para hacer la fibra y darle los primeros tratamientos antes de comercializarla.

Tabla 1.5
Consumo Per cápita de Fibras biadas en México (gr/habitante)

Años	Total	Fibras Naturales	Fibras Químicas
1970-1971*	4.8	3.1	1.7
1972-1973	4.9	2.8	2.1
1974-1975	5.1	2.1	3.0
1976-1977	5.3	2.1	3.2
1978-1979	5.7	2.1	3.6
1980#	6.0	2.6	4.0
1981	6.3	2.4	3.9
1982	5.5	2.1	3.4
1983	5.0	1.7	3.3
1984	5.0	2.0	3.0
1985	5.5	1.4	3.6
1986	4.7	1.7	3.0
1987	5.3	1.8	3.4

* el total corresponde al bienio marcado con los años intercalados con guion

el total solo corresponde al año marcado

FUENTE: Cámara Nacional de la Industria Textil.
Memorias Estadísticas.

CAPITULO II
PANORAMA MUNDIAL DE LAS FIBRAS QUIMICAS

CAPITULO II

PANORAMA MUNDIAL DE LAS FIBRAS QUIMICAS

II.1. Desarrollo Historico y Situacion Actual.

Aunque las fibras quimicas han sido de alto provecho economico a lo largo de su historia, en los años recientes se ha detenido su utilidad. El comportamiento que han tenido las fibras quimicas desde sus origenes ha partido de la base de sustituir a las fibras de origen natural.

A partir de la decada de los sesentas las fibras quimicas, principalmente las sinteticas iniciaron ya no una simple sustitucion, sino un fuerte desplazamiento sobre las fibras de origen natural debido esencialmente a sus propiedades, caracteristicas, disponibilidad de materias primas y niveles de precios.

Posteriormente en adiccion al tradicional atractivo de la industria textil en la decada de los setentas, una sobrecapacidad en ambas industrias de los petroquimicos y de las fibras quimicas y un incremento en los costos de energia y materias primas, afectaron significativamente la utilidad de los principales productores mundiales, incluidos los U.S.A. y Europa.

En la tabla II.1 se enlistan los precios de mercados tipicos para varias fibras importantes entre 1970 y 1978 en U.S.A. con 1973 y 1974 incluidos para reflejar los agudos incrementos en los precios del petroleo en este periodo.

Es practicamente en 1973 cuando se detiene de golpe el desplazamiento de las fibras quimicas sobre las naturales, ya que el incremento en el precio del petroleo, y por tanto de sus derivados, provocaron que disminuyera su competitividad con respecto a los productos naturales.

Tabla 11.1
Precios Típicos del Mercado de Fibras Químicas en U.S.A., (\$/Kg).

Fibra y Presentación	1970	1973	1974	1978
Rayon fibra corta, regular	0.59	0.72	1.06	1.25
Acetato filamento,				
8.3 tex (75 den)	1.01	1.47	2.02	2.42
16.7 tex (150 den)	1.23	1.16	1.63	2.11
Poliéster fibra corta	0.70	0.68	0.97	1.17
Poliéster filamento textil				
16.7 tex (150 den)	2.77	1.74	1.87	1.43
Nylon filamento textil				
4.4 tex (40 den)	2.31	2.77	3.12	3.52
95.5 tex (860 den)	1.76	1.71	1.98	2.55
Acrilica fibra corta baja textura	1.56	1.71	1.76	1.63
Polipropileno fibra corta				
sin pigmentar	1.01-1.08	0.77-0.86	1.03-1.10	1.14-1.21
177.8 tex (1600 den) filamento coloreado	2.09	2.20	2.20	2.20

* Fuente: Kirk-Othmer, Enciclopedia of Chemical Technology.

Dependiendo del modulo de humedad entre el menor y el mayor varia \$0.05-0.09.

Estos precios reflejan los factores externos, (así como los costos de producción) que señalan que otros artículos de diferente precio y de ciertos mercados son los que gobiernan en un momento dado el precio de las fibras.

Las presiones económicas se han combinado para dar énfasis a la investigación y desarrollo de mejores procesos para reducir los costos. En la década de los ochentas los productos sintéticos han recuperado nuevamente gran parte de su participación (perdida en la década anterior) en el mercado mundial de fibras y se espera que dicha tendencia continúe los próximos años.

Tal y como se muestra en la tabla 11.2 las fibras químicas pasaron de abarcar del 22% del mercado mundial de fibras blandas en 1960 a cerca del 50% durante 1987.

Este incremento estuvo sustentado por el crecimiento logrado por las fibras sintéticas, ya que la participación de las fibras artificiales ha ido disminuyendo, debido principalmente a la extinción cada vez más aguda del mercado del rayón el cual a pesar de tener en su proceso el factor celulosa como fuente renovable provoca fuertes gastos en su proceso de elaboración de hilado húmedo, ya que el manejo de solventes y soluciones tienden a incrementar el consumo de energía, mano de obra y contaminación ambiental.

Excepto en ciertas circunstancias y en ciertos países comunistas y algunos otros desarrollados se prevé por lo tanto, la nula construcción de nuevas plantas de rayón debido a sus gastos de capital, los gastos asociados con su proceso de elaboración obsoleto y por las características mismas de la fibra que la hacen ya poco atractiva en comparación con el resto de las fibras sintéticas con mejores y más versátiles posibilidades de aplicación.

Dada la importancia adquirida a través del tiempo por las fibras sin-

teléticas a continuación se analiza la evolución de cada uno de los factores del mercado mundial de las mismas, durante los últimos doce años, como son capacidades instaladas, producción, consumo y perspectivas.

Tabla 11.2
Participación de las Fibras Químicas en el Mercado Mundial de las Fibras Blandas. Desarrollo Histórico (1).

TIPO DE FIBRA/AÑO	1960	1975	1980	1983	1987
Artificiales	17	13	11	10	7
Sintéticas	5	27	35	36	41
Subtotal Fibras Químicas	22	40	46	46	48
Subtotal Fibras Naturales	78	60	54	54	52
TOTAL (%)	100	100	100	100	100

Fuente: Textile Organon

11.1.1. Capacidad Instalada.

Como se puede observar en la tabla 11.3 y en la gráfica 11.1 la capacidad instalada mundial de fibras sintéticas se incremento de 10.1 millones de toneladas en 1975 a 16.4 millones de toneladas en 1987 para lograr un aumento en dicho periodo del 62%.

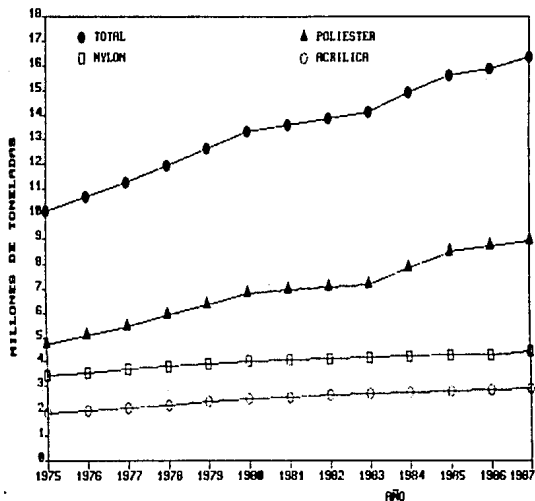
Aun cuando la tendencia global fue de incremento en la capacidad instalada mundial, se pueden distinguir dos subperiodos, el primero de 1975 a 1980, en el que todas las fibras sintéticas experimentaron un crecimiento en su capacidad instalada, y el segundo a partir de este año en que tanto en los países en desarrollo como en los industrializados, se observo un decremento de 10 y 20%, respectivamente en su capacidad instalada.

Tabla II.3
Capacidad Instalada Mundial de Fibras Sintéticas* (Miles de Tons.)

FIBRA	1975	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
ACRILICA	1925	2495	2560	2626	2697	2751	2806	2838	2916
NYLON	3460	4022	4066	4111	4174	4245	4290	4308	4464
POLIESTER	4710	6823	6966	7110	7271	7912	8515	8747	8955
TOTAL	10095	13340	13592	13850	14142	14908	15611	15893	16335

* no incluye olefinicas ni fibras de acetato de celulosa

Gráfica II.1
Capacidad Instalada Mundial
Fibras Sintéticas



En los países industrializados se redujo aproximadamente en 150 mil tons. la capacidad en las fibras acrílicas; en 418 mil tons. la de las fibras nylon y en 1,311 mil tons. la de las poliéster.

La tendencia global de crecimiento se conservó en buena medida gracias al empuje que imprimieron los países de economía centralizada, ya que entre 1975 y 1987 aumentaron su capacidad en casi 0.5 veces. La gráfica 11.2 muestra la evolución de la participación de los diferentes países en la capacidad instalada mundial de las fibras sintéticas. Por tipo de fibra, el crecimiento más dinámico correspondió al poliéster, al aumentar en un 90% con respecto a 1975, seguida por la acrílica con 51% y finalmente las fibras nylon con un 29%. La distribución de la capacidad instalada se muestra en la tabla 11.4.

Tabla 11.4
Distribución de la Capacidad Instalada
de Fibras Sintéticas por tipo de Fibra (%)

FIBRA	1975	1980	1983	1986	1987
ACRÍLICAS	19	19	19	18	16
NYLON	34	30	30	27	27
POLIÉSTER	47	51	51	55	55
TOTAL	100	100	100	100	100

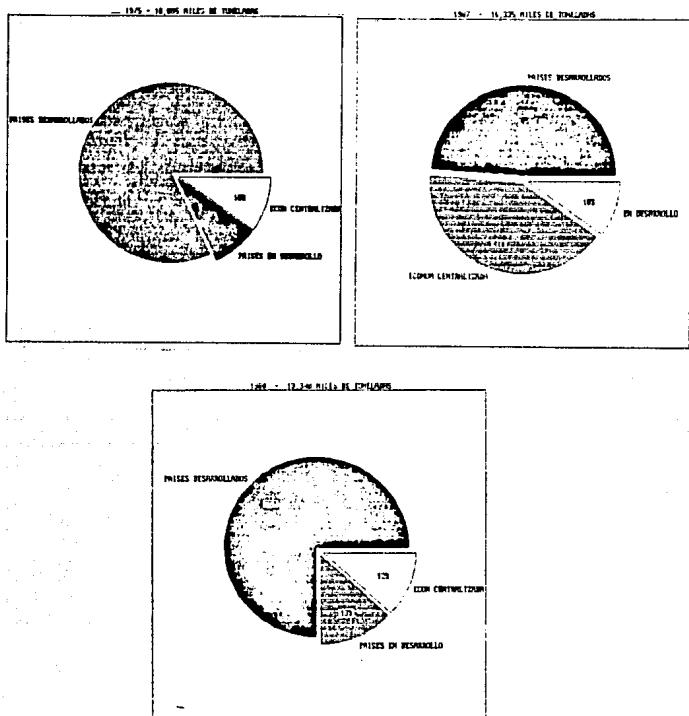
Fuente: Textile Organon

II.1.2. Producción Mundial.

La producción mundial de fibras blandas se encuentra resumida desde 1975 a 1987 en la tabla 11.5. Como se puede observar en los datos de esta, la producción mundial de fibras blandas aumentó a una tasa media de 3.1% anual en el periodo 1975-1987.

Este crecimiento se sustentó principalmente en el dinámico crecimiento que experimentaron las fibras sintéticas (6.1% en el promedio anual).

Gráfica II.2 Capacidad Instalada Mundial:
Fibras Sintéticas* (%)



*Incluye: poliéster, nylon y acrílica
Fuente: Textile Organon

en virtud de que el crecimiento de las naturales fue menor (2.3%) y que las artificiales disminuyeron su volumen de producción, dando como resultado un decremento del 2.1% en promedio anual.

Producción por tipo de fibra.

En la tabla 11.6 se muestra que en el periodo 1975-1987, la fibra que ha tenido el mayor crecimiento en su oferta, fue la poliéster con una tasa media de crecimiento anual (TMCA) cercana al 6%, excepto entre 1981-1982 en que tuvo un decremento de un 2.5%.

Le siguieron en orden de importancia por su oferta las fibras olefinicas con una TMCA de poco más del 5% aproximadamente (sin considerar 1981-1982 en que todas las fibras sintéticas sufrieron un considerable decremento debido a la recesión de la crisis económica mundial), y por último las fibras nylon y las fibras acrílicas ambas con una TMCA muy similar, cercana al 4.5%, con sensibles variaciones entre año y año sin considerar el periodo de 1981-1982.

Dentro de la demanda total de fibras sintéticas campeon la fibra poliéster esta a la vanguardia pues su participación se incrementó de 40.2% en 1975 a 46.3% en 1987. En la gráfica 11.3 se representa el comportamiento de las fibras sintéticas a través del tiempo en lo referente a su oferta.

Producción por País o Región.

A nivel mundial, la producción de fibras químicas (artificiales y sintéticas) se encuentra altamente concentrada.

En 1987, el 44.5% de la producción proviene de solo cuatro países, U.S.A., Japón, Alemania Occidental y Rusia. La gráfica 11.4 muestra la participación de estos países en el total de fibras químicas para el año de 1987.

El resultado del dinámico crecimiento de las fibras sintéticas permiti-

Tabla II.5 Produccion Mundial de Fibras Blandas
(Miles de Toneladas)

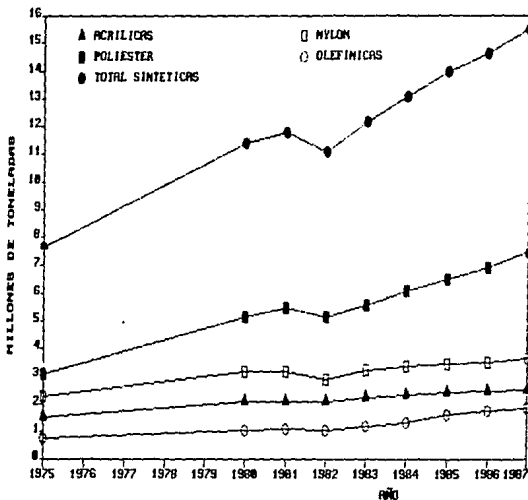
FIBRA/Año	1975	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
SUBTOTAL									
NATURALES	15193	15654	16979	16417	16756	17005	18315	20025	19938
Algodon	13718	13991	15296	14736	15062	15272	16578	18250	18122
Lana	1424	1607	1626	1624	1639	1677	1678	1712	1753
Seda	51	56	57	55	55	56	59	63	63
Fibras Artificiales	3661	3242	3204	2945	2928	3002	2928	2840	2834
Fibras Sinteticas	7640	11382	11780	11065	12132	13017	13948	14603	15455
SUBTOTAL									
QUIMICAS	11301	14624	14984	14010	15060	16019	16876	17443	18289
TOTAL	26494	30278	31963	30427	31816	33024	35191	37468	38227

Tabla II.6
Produccion Mundial Fibras Sinteticas*
Por Tipo, (Miles de Toneladas)

FIBRA/AÑO	1975	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
ACRILICAS	1519	2060	2090	2056	2221	2298	2362	2440	2511
NYLON	2280	3151	3139	2853	3196	3354	3442	3497	3637
POLIESIER	3075	5127	5465	5106	5535	6053	6511	6912	7464
OLEFINICAS	770	1044	1086	1048	1180	1312	1613	1751	1843
TOTAL									
SINTETICAS	7640	11382	11780	11065	12132	13017	13948	14603	15455

* no incluye elastomericas

Gráfica 11.3
Producción Mundial Fibras Sintéticas



tio que su participacion en la oferta mundial de fibras blandas pasara de 28.8%, en 1975, a 40.4% en 1987.

La gráfica II.5 ilustra la evolucion del comportamiento de las fibras sintéticas en la produccion de fibras blandas.

El comportamiento de cada una de las regiones más importantes en la produccion de fibras sintéticas se muestra en la tabla II.7, mientras que en la tabla II.8 se presentan las cifras completas para el periodo considerado.

II.1.3. Consumo.

El ramo de las fibras sintéticas está conformado principalmente por los siguientes productos: Fibra Acrilica, Fibra Nylon, Fibra Poliéster, Fibras Olefinicas y con menor importancia Fibras Elastoméricas.

Los tres primeros representan en la actualidad cerca del 50% del consumo mundial de fibras y se espera que este volumen disminuya marginalmente en los años futuros, para dar una mayor participacion a las fibras olefinicas.

El consumo mundial de fibras sintéticas se incremento de 8.2 millones de toneladas en 1975 a 15.5 millones de toneladas en 1987, lo cual dio una TMCA de un 5.5%. Es importante mencionar que de 1980 a 1983 el crecimiento fue casi nulo debido a la sensible contraccion del consumo de nylon y el estancamiento observado en acrilicas en las regiones de mayor demanda.

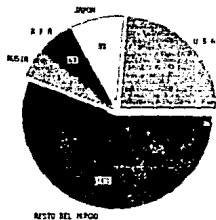
II.2 Perspectivas.

La mayor parte de los pronósticos coinciden en señalar que la demanda de fibras sintéticas seguirá creciendo y que continuará desplazando tanto a las fibras naturales como a las artificiales.

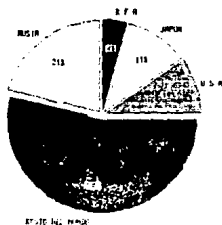
Las expectativas de crecimiento en la demanda de fibras sintéticas indican que estas mantendrán un ritmo de crecimiento de 3.6% en pro-

OF FIVE YEAR
FIBRE WORLDWIDE
Production (millions of tons)

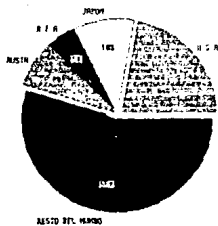
FIBRE STATISTICS - 15 465 MILL TONS



FIBRE STATISTICS - 2 824 MILL TONS



PRODUCCION TOTAL - 18 289 MILL TONS



Gráfica II.5
Fibras Blancas
Producción Mundial

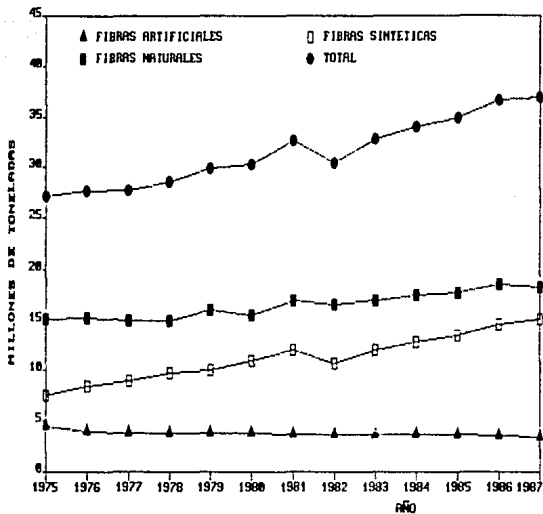


Tabla 11.7
Crecimiento Global en la Producción
de Fibras Sintéticas por Región

REGION	TMOA PERIODO 1975-1987
EUROPA ORIENTAL	6.7
EUROPA OCCIDENTAL	4.8
AMERICA (EXCEPTO U.S.A)	5.8
U.S.A	3.4
JAPON	2.1

Tabla 11.8
Producción Mundial de Fibras Sintéticas*
(Miles de Toneladas)

PAIS/AMO	1975	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987
PAISES DE- SARROLLADOS	5469	7481	7662	8769	7470	7723	8086	8209	8482
Europa Occ.	1916	2572	2720	2548	2745	2976	3262	3306	3358
U.S.A	2505	3569	3622	2921	3412	3378	3426	3547	3781
Japon	1048	1340	1320	1000	1319	1369	1398	1356	1343
PAISES DE ECONOMIA CENTRALIZADA	962	1462	1614	1688	1780	2029	2302	2459	2672
Europa Or.	812	1244	1267	1304	1371	1470	1570	1658	1762
China	150	218	347	384	409	559	732	801	910
PAISES EN DESARROLLO	1209	2409	2504	2608	2876	3265	3560	3935	4301
Am. Latina	340	599	549	541	575	641	624	659	671
Mexico	151	247	246	239	277	301	325	331	367
Otros	718	1563	1709	1828	2024	2323	2607	2945	3263
TOTAL	7640	11282	11780	11065	12132	13017	13948	14603	15455

* Incluye: acrílica, nylon, poliéster y olefinicas.
Fuente: Textile Oregon, Process Economics International.

medio anual para el periodo 1987-1995. Esto implica que la demanda de las mismas aumentara en poco más de 5 millones de toneladas.

Por lo que a los diferentes tipos de fibra se refiere, de mantenerse la tendencia actual, el mayor crecimiento correspondera a las fibras olefinicas (4.3% anual), por otro lado, las fibras poliester seguiran siendo las de mayor participacion en el contexto mundial, ya que su participacion se elevara de 46.3% en 1987 a 50.2% en 1995.

En la tabla II.10 se muestra la participacion actual y el pronostico para los proximos años por tipo de fibra a nivel mundial.

En funcion de las diferentes regiones, se espera que la demanda de fibras sinteticas continúe creciendo en los países en vías de desarrollo, de forma tal que su participacion aumente un 27.5 a 35% del consumo total mundial, mientras que la participacion de los países de economia centralizada mantendrá un nivel similar al actual siendo los países desarrollados los que vayan perdiendo presencia en el mercado mundial de fibras blandes.

Tabla II.9
Participacion de las Fibras Sinteticas
en el Mercado Mundial de las Fibras Blandas (%)

TIPO DE FIBRA/AÑO	1987	1990	1992	1995
NATURALES	52	51	49	50
ARTIFICIALES	7	0	7	4
SINTETICAS	41	43	44	46
TOTAL	100	100	100	100

Fuente: E. Sandor Process Economicas International, Textile Organon

Tabla 11.10
 Perspectivas en el Consumo Mundial
 de Fibras Sintéticas (Miles de Tons)

PRODUCTO/AÑO	1987	1990	1992	1995
ACRÍLICAS	2511	2743	2911	3118
NYLON	3637	3928	4135	4466
POLIÉSTER	7464	8420	9125	10294
OLEFINICAS	1843	2091	2275	2581
TOTAL	15455	17182	18446	20552

FUENTE: Textile Organon

Tabla 11.11
 Pronóstico para la Demanda Mundial
 de Fibras Sintéticas por Región
 (Miles de Toneladas)

PAIS / AÑO	1987	1992	1995
PAISES DESARROLLADOS	8531	9854	10419
EUROPA OCCIDENTAL	3556	3882	4105
U.S.A	3781	4365	4616
JAPÓN	1392	1607	1689
PAISES DE ECONOMÍA CENTRALIZADA	2672	2750	2920
EUROPA ORIENTAL	1762	1815	1972
CHINA	910	935	948
PAISES EN DESARROLLO	4252	5842	7183
AMÉRICA LATINA Y MÉXICO (incluido)	1038	1426	1753
OTROS	3214	4416	5430
TOTAL	15455	18446	20522

Fuente: Textile Organon

11.3. Participación de México en el Mercado Mundial.

El sector industrial de fibras químicas en México se ha caracterizado por mantener un continuo proceso de inversiones, para ampliar su estructura productiva, para mejorar la calidad de sus productos, para mantener una concurrencia permanente en el mercado internacional, y por consiguiente propiciar exportaciones con mayor valor agregado fortaleciendo su posición competitiva en el contexto mundial.

Como resultado de lo anterior, la participación de México en el mercado mundial de fibras sintéticas se incremento en el periodo 1975-1987. En la capacidad instalada global, a nivel mundial la participación del país se incremento de 2.3% en 1975 a 3.2% en 1987.

Por tipo de fibra el comportamiento se muestra en la tabla 11.12. En esta se desprende como conclusión que a partir de la década de los ochentas, la fibra en que México tiene la mayor capacidad instalada es la fibra acrílica, seguida por la fibra poliéster. Esta posición la adquirió a pesar de que la fibra de mayor demanda a nivel mundial y por supuesto nacional, es la fibra poliéster.

TABLA 11.12
PARTICIPACION DE MEXICO
EN LA CAPACIDAD INSTALADA
MUNDIAL POR TIPO DE FIBRA %

FIBRA	1975	1980	1983	1987
ACRILICA	1.2	3.1	3.6	3.6
NYLON	1.4	1.9	2.0	2.1
POLIESTER	3.3	3.0	3.4	3.1

Por otro lado, la producción nacional aumento su participación en el contexto mundial de 2.0% en 1975 a 2.4% en 1987. Por lo que respecta a tipo de fibra la participación en 1987 fue: Acrilica 4.1%, Nylon 1.5%

y poliéster 2.7% respectivamente.

En cuanto al consumo de fibras sintéticas, este decreció, ya que de representar el 1.9% del consumo mundial de 1975, en 1987 fue de 1.6%.

II.3.1. Consumo Percapita De Fibras Sintéticas.

El consumo percapita de fibras sintéticas en el país ha presentado una serie de altibajos en el periodo 1980-1987. En 1985 logró su cifra máxima que fue de 3.71 kg., descendiendo en 1987 a 3.15 kg. Este comportamiento es debido principalmente a:

- La pérdida del poder adquisitivo de nuestra moneda.
- La crisis económica, en general, que aqueja al país.
- Y, al incremento del nivel de las exportaciones de estos productos.

Sin embargo, aún el nivel mostrado en 1985 es sustancialmente menor al de los países desarrollados, los cuales son del orden de 7 a 15 kilos/habitante. La tabla II.12 compara el consumo percapita de los países desarrollados con respecto al de nuestro país.

Dentro de la información que se muestra en ella, es de notarse la sensible baja en el consumo de fibras sintéticas a nivel mundial, la cual se presentó en el año de 1983. El considerable aumento de la población mundial aunado con la grave crisis económica que resintieron la totalidad de los países del mundo, incluidas las superpotencias, fueron las causas fundamentales para el decremento en el consumo percapita de fibras a nivel mundial.

Tabla II.12
Fibras Sintéticas
Consumo Per cápita
(kg/habitante)

PAIS / Año	1980	1982	1983	1985	1987
ALEMANIA FED.	9.0	8.8	2.3	7.1	7.5
ARGENTINA	1.4	5.0	0.4	1.4	1.8
BRASIL	1.8	1.3	0.2	1.2	1.4
CANADA	7.5	8.5	3.5	5.2	8.4
COREA	-	12.5	-	13.2	14.6
ESPAÑA	5.2	4.1	1.4	4.5	4.8
U.S.A	13.0	13.2	3.5	11.9	11.6
FRANCIA	6.7	5.0	1.7	3.3	3.0
ITALIA	5.0	7.5	1.7	8.0	8.3
JAPON	7.9	10.0	2.7	11.6	12.9
REINO UNIDO	-	6.4	-	4.3	4.0
TURQUIA	-	3.0	-	3.8	4.4
MEXICO	3.5	3.0	2.1	3.7	3.4

Fuente: Canaitex-Statistiche Cotoniere Italiane

Nota: Los espacios con guion son datos que no se publicaron

CAPITULO III
PANORAMA NACIONAL

CAPITULO III.

PANORAMA NACIONAL DE LAS FIBRAS QUIMICAS.

III.1 Panorama General.

De las seis subramas en que se divide la industria petroquímica secundaria en México, la industria de las fibras químicas se ha constituido como una de las más importantes a partir sobre todo de la segunda mitad de la década de los setentas.

La importancia de las fibras químicas dentro de la industria petroquímica secundaria se pone de manifiesto si se observa su participación en la misma, ya que no obstante contribuir tan solo con poco más del 5% de la producción total, fue la subrama que tuvo el más alto ingreso de divisas por concepto de exportaciones en 1988: alrededor de los 280 millones de dólares.

Las subramas que le siguieron en orden decreciente, fueron la de los petroquímicos intermedios y la de las resinas sintéticas con 234 y 218 millones de dólares respectivamente.

En la tabla III.1 se resume la participación de las fibras químicas de acuerdo a los principales parámetros del mercado de la industria petroquímica secundaria. Cabe destacar también que en 1988 las fibras químicas fue la subrama en que erogaron menos divisas por concepto de importaciones de entre las seis subramas de este sector, con tan solo 12.1 millones de dólares, un 3.3% del total de importaciones.

III.2. Desarrollo Histórico y Situación Actual.

En forma similar a como ha ocurrido con el mercado internacional de las fibras, en el país las fibras naturales así como las artificiales cada vez son más desplazadas por las fibras sintéticas en virtud principalmente de dos factores:

Tabla III.1
Participación de las Fibras Químicas
en la Petroquímica Secundaria durante 1988

CONCEPTO	CANTIDAD (Miles tons)	VALOR (Millones dolares)	PARTICIPACION (%)	LUGAR OCUPA
Capacidad Instalada	565	---	0.1 ^a	4
Producción	402	---	5.1 ^b	4
Importación	3.8	12	3.3 ^c	0
Exportación	102	280	28.5 ^d	1
Consumo Aparente	308	---	3.7 ^e	4

- a Referida a la cantidad en miles de tons. instaladas totales en la petroquímica secundaria
- b Referida a la cantidad en miles de tons. producidas totales en la petroquímica secundaria
- c Referida a la cantidad en millones de dolares totales gastados en la petroquímica secundaria
- d Referida a la cantidad en millones de dolares totales obtenidos por concepto de exportaciones de la petroquímica secundaria
- e Referida a la cantidad en miles de tons. totales consumidas en la petroquímica secundaria

El primero de ellos es resultado de sus menores y más variadas posibilidades de aplicación, y el segundo de ellos se debe a la suspensión en la producción de algunas fibras artificiales como la fibra corta de rayón principalmente por la inestabilidad de su proceso. Para ilustrar este comportamiento se muestra la gráfica III.1. En ella se observa que la participación de las fibras sintéticas en el mercado nacional de las fibras blandas se ha ido incrementando paulatinamente, en tanto que el de las fibras naturales y las artificiales ha ido disminuyendo.

Así se observa en esta gráfica que las fibras sintéticas representaron solo el 18% del total de fibras blandas consumidas en el país en 1970, mientras que en 1988 pasaron a constituir el 69% de estas.

Actualmente se elaboran en el país, en sus distintas modalidades (tales como fibra corta, filamento textil o filamento industrial) solo seis fibras químicas: acetato de celulosa, fibras poliamidas (nylons), fibra acrílica, fibra polipropilénica, fibra poliéster y fibra elastomérica.

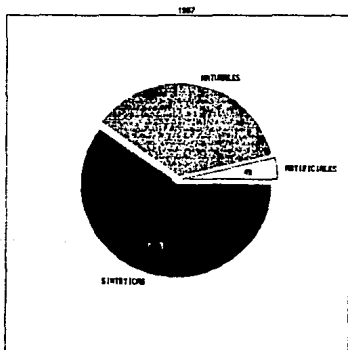
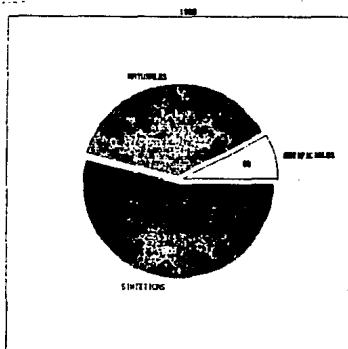
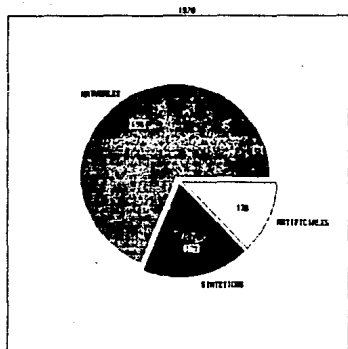
III.2.1. Capacidad Instalada y Producción.

La capacidad instalada conjunta de las fibras químicas (artificiales o sintéticas) pasó de poco más de 250 mil toneladas en 1975 a cerca de 395 mil en 1980. Esto significó un crecimiento promedio de 9% anual.

En los últimos años las cifras indican una tendencia a ritmos moderados de crecimiento. Así se tiene que en 1986 la capacidad instalada llegó a 531.6 miles de toneladas lo cual representó un crecimiento promedio de 4% anual en el periodo 1980-1986.

A pesar de esto para 1988 se ubicó en 564.7 miles de toneladas, lo que significa que tuvo un crecimiento del 44% respecto a lo que se tenía en 1980. Desafortunadamente el aprovechamiento de esta capacidad instalada total en el país apenas llegó al 69%, en ese año.

Gráfica III.1
 Participación de las Fibras Químicas en el
 Mercado Nacional de las Fibras Blandas



Este comportamiento se muestra en la gráfica III.2 conjuntamente con la producción obtenida en el periodo 1960-1988.

En cuanto a la producción total de fibras químicas, este pasó de poco más de 105 mil toneladas en 1975, a cerca de 100 mil en 1988. Esto representó una tasa media de crecimiento anual (CMCA) de 3.0% para ese periodo. Los años siguientes han tenido altibajos, en 1988 la producción se estableció en 401 mil toneladas, lo cual representó una tasa media de crecimiento de 3.0% para el periodo 1980-1988.

Por tipo de fibra la que ha presentado una mayor presencia sobre el resto de las fibras tanto en producción como en capacidad instalada, es la fibra poliéster.

Esta fibra alcanzó para 1988, 281.1 mil toneladas de las 304.6 mil toneladas de capacidad instalada total, y 230.7 mil toneladas de las 401.4 miles de toneladas de producción total de fibras químicas, lo cual en porcentaje representa un 49.7 y 51.1% respectivamente.

Esto se demuestra en la gráfica III.3, así como la participación del resto de las fibras químicas en estos conceptos.

La capacidad instalada de fibras químicas se encuentra aportada por ocho empresas, aunque tal y como se desprende de la tabla III.2 cuatro de ellas abarcan el 85% del total.

Dichas empresas operan 39 plantas, ubicadas en 17 localidades. Estas plantas se encuentran distribuidas en los estados de México, Tlaxcala, Jalisco, Nuevo León, Querétaro, Veracruz, Tamaulipas y D.F.

En la tabla III.3 se muestra la localización de las plantas así como la producción por tipo de presentación que tiene cada una.

11.2.2 Consumo Aparente.

El consumo aparente de fibras químicas en el país que durante las décadas de los sesentas y setentas creció a tasas de 17 y 15% anual respectivamente, se ha ido estancando ya que el nivel de consumo de

Gráfica III.2
Planta Productiva y Producción
de Fibras Químicas en México

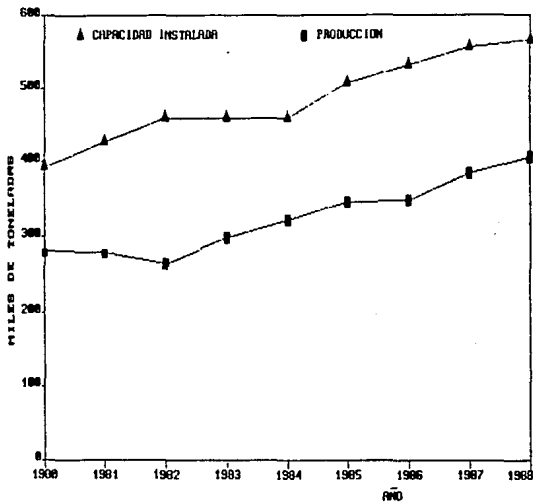


Gráfico 11.2
 Capacidad Instalada y Producción de Fibras Químicas
 Durante 1988 por Tipo de Fibra

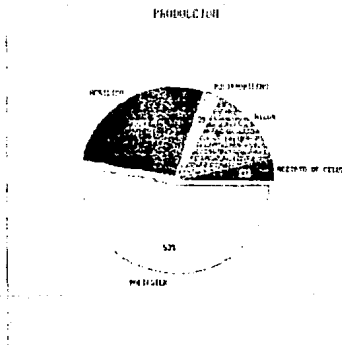
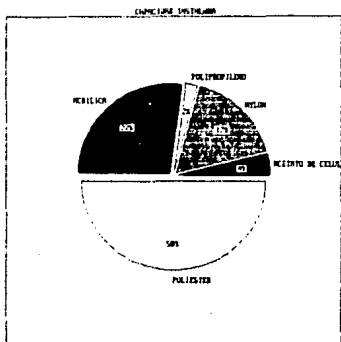


Tabla III.2
Distribución de la Capacidad Instalada
de Fibras Químicas en México durante 1987

Empresa	Participación (%)
CELANESE MEXICANA, S.A.	35.0
M.iffa	23.0
FIBRAS SINTÉTICAS, S.A.	14.0
CELULOSA Y DERIVADOS, S.A.	13.0
FINEX, S.A.	7.0
FINACRIL, S.A.	5.0
INDUSTRIAS FOLIFIL, S.A.	1.0
INFETEX, S.A.	1.4

Tabla III.3
FIBRAS ARTIFICIALES Y SINTÉTICAS FABRICADAS EN EL PAÍS

Empresa	Producción Total	Producción 1987	Producción 1986	Producción 1985	Producción 1984	Producción 1983	Producción 1982	Producción 1981	Producción 1980	Producción 1979	Producción 1978	Producción 1977	Producción 1976	Producción 1975	Producción 1974	Producción 1973	Producción 1972	Producción 1971	Producción 1970
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A. M.iffa	*	*			*	*													
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.	*	*		*														*	*
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.			*	*	*														
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.									*	*									
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.									*										
Fibra Mexicana S. A. Fibras S. A.	*		*	*			*												
Fibra Mexicana S. A. Fibras S. A.	*			*	*														
Fibra Mexicana S. A. Fibras S. A.				*				*											
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.				*															
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.									*	*									
Fibra S. A. Fibras S. A.	*			*	*														
Compañía Mexicana S. A. Fibras S. A.	*	*		*	*														*
Fibra S. A. Fibras S. A.									*										

Las mismas durante 1986 es ligeramente superior al que se tenía en 1980 (poco más de 308 mil toneladas).

Si se analiza el comportamiento de la IMCA por periodos, se observa que si se considera el intervalo de 1975-85, este parametro se estableció en un valor muy cercano al 5% en promedio anual.

Si se considera solamente el periodo de 1980-85, la IMCA en el consumo de fibras químicas tiene el valor aproximado de 1.5%, lo cual es indicativo del grave deterioro que ha estado sufriendo este sector de la industria manufacturera desde el inicio de esta década.

En la tabla III.4 se muestra el comportamiento histórico del consumo de fibras químicas, así como las IMCA que se han obtenido desde 1970. Analizando diferentes periodos para demostrar el estancamiento que presentan sobre todo en los últimos años.

Tal estancamiento puede deberse principalmente a dos cosas, la caída en el poder adquisitivo de la población debido a la crisis económica que vive el país, y por otro lado, a que el impacto que ocasionó las fibras químicas en su etapa inicial de introducción al mercado de las fibras blandas quedó consumado, y ahora el consumo se condiciona a la dinámica de la población.

Por tipo de fibra la poliester es también la que ocupa el primer lugar en cuanto a nivel de consumo, seguida por la fibra sintética y la nylon. Mientras que la que tiene la menor participación es la alar tomérica, con menos del 1% del consumo total. Toda esta información se ilustra en la grafica III.4.

III.2.3 Comercio Exterior:

Las fibras químicas se han convertido en la subrama más importante de la petroquímica secundaria en México (reduciendo a los fertilizantes) desde el punto de vista exportador, y al mismo tiempo es la que presenta la menor cantidad de importaciones, lo que la convierte en la

Tabla III.4
EVOLUCION EN EL CONSUMO DE FIBRAS QUIMICAS
(Toneladas) y IMCR (%)

Año	1960	1970	1975	1980	1985	1988
CONSUMO	12174	62806	170014	266456	263794	308073
IMCR (%)						
	PERIODO			VALOR		
	1960-70			17.0		
	1970-75			22.5		
	1970-80			15.0		
	1975-88			4.5		
	1980-85			2.3		
	1980-88			1.5		

subrama petroquímica con el desarrollo más sano en los últimos años.

Como puede observarse en la gráfica III.3, de las poco más de 9 mil toneladas exportadas en 1980, se pasó a 102 mil para 1988, lo que equivale a una IMCR en ese periodo del 34%.

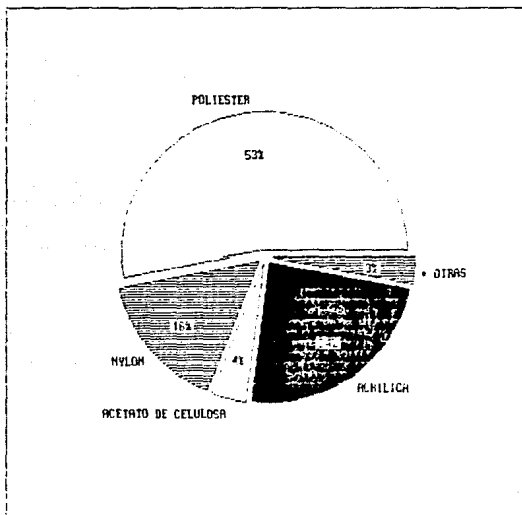
Aunado a los bajos niveles de importación las fibras químicas se han permitido contar con una balanza superavitaria como lo muestra la tabla III.5.

Es de notarse en dicha tabla que a pesar de tener una caída significativa en 1985, el saldo de la balanza comercial de las fibras químicas siempre ha tenido valores positivos a partir de 1961, lo que es más, su tendencia siempre ha sido a la alza.

III.3 Perspectivas.

De las cifras reportadas anteriormente se deduce que el consumo interno de fibras químicas prácticamente no ha cedido en los últimos años.

Gráfica 11114
DISTRIBUCION EN EL CONSUMO
DE FIBRAS QUÍMICAS EN 1968



*Incluye polipropilénica y elastomérica

Grafica III.5
Exportaciones de Fibras Químicas

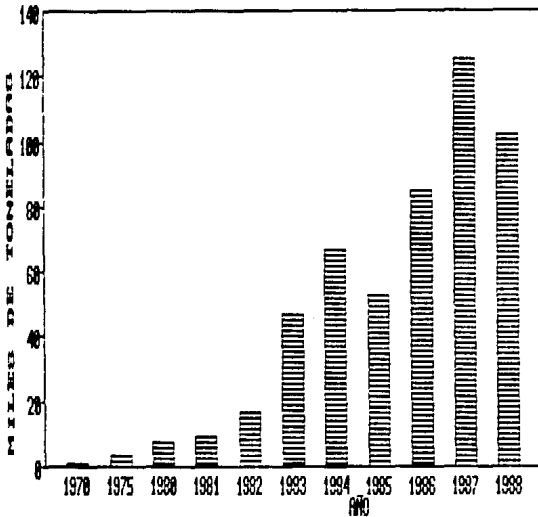


Tabla III.5
SALDO DE LA BALANZA COMERCIAL DE LAS FIBRAS QUIMICAS
(MILLONES DE DOLARES CORRIENTES)

Año	EXPORTACIONES	IMPORTACIONES	SALDO
1981	27.7	26.9	0.7
1982	31.3	12.4	18.9
1983	70.1	4.5	65.6
1984	124.2	8.2	116.0
1985	79.4	16.1	61.3
1986	120.0	15.1	104.9
1987	229.0	16.0	213.0
1988	260.0	12.0	276.0

Sin embargo, uno de los retos más importantes es el de reiniciar el crecimiento económico, con lo que se lograría la reactivación del mercado interno de las fibras.

De esta forma, si se toma en cuenta el crecimiento que ha presentado el producto interno bruto (PIB) nacional desde 1975, a pesos constantes de 1980, se tienen los siguientes datos:

Tabla III.6
Evolución del Producto Interno Bruto Nacional (PIB)
(miles de millones de pesos de 1980)

Año	1975	1980	1985	1988	TMCA (75-87)	TMCA (80-85)	TMCA (80-87)
PIB TOTAL	3700	4920	4725	4655	2.20	1.90	1.40

Como se observa en la anterior tabla, durante el periodo 1975-88 la TMCA en el PIB nacional presentó el aumento más alto de todos los periodos analizados en la misma, con un valor de 2.20% a pesar de que los otros fueron más cortos.

Este periodo 1970-80 coincidentemente tambien tuvo la mayor IMCR en cuanto a niveles del consumo, tal y como se mostro en la tabla III.4, llegandose a alcanzar un valor de 4.0% en promedio anual.

Uno de los objetivos a alcanzar para reactivar el mercado de las fibras quimicas en el pais, es precisamente el de obtener valores similares en el consumo interno de las fibras quimicas, tales como los que ya se han obtenido por ejemplo en el periodo de 1975-86.

En gran parte la reactivacion del mercado interno de las fibras quimicas tambien depende del aumento de la poblacion, asi como del poder adquisitivo con que cuente esta para la adquisicion de sus prendas de vestir, y por tanto de las fibras quimicas. De ahi que sera sumamente importante la politica que se siga para aliviar la crisis economica que ha venido padeciendo el pais en los ultimos anos.

III.4 Participación de las Fibras Químicas dentro de la Industria Textil.

Con la finalidad de resaltar la importancia de las fibras químicas en la economía nacional, en seguida se analiza el valor de la producción, el valor agregado y los índices de precios de estos aspectos, comparándolos con el valor correspondiente de las industrias de los hilados y tejidos de fibras blandas y duras así como la de prendas de vestir.

III.4.1 Valor de la Producción.

La situación económica del país de los últimos años ha mermado el ritmo de crecimiento de las actividades industriales, efecto que no ha sido ajeno a las ramas industriales que se comparan y que ha originado que los crecimientos de estos últimos años (1980-1987) sean menores a los de años anteriores (1975-1980).

Ejemplo de esto y en términos globales, el valor de la producción de las actividades incluidas en este análisis de 1975 a 1980 creció a un ritmo promedio anual de 0.2%, disminuyendo drásticamente de 1980 a 1987 al registrar una TMCA negativa de 0.6%.

Fese a lo anterior, de las actividades comparadas, la industria de las fibras químicas muestra un crecimiento de 4.4% en el periodo 1975-1987.

En este mismo lapso las industrias incluidas en el rubro de otras, crecieron a una TMCA de 3.2%, siendo de esta manera la segunda actividad con mayor crecimiento. La tabla III.7 muestra los valores de este rubro para varios años a precios de 1980.

Es importante señalar que el crecimiento acelerado de la industria de las fibras químicas, ha sido mayor que el de las otras actividades comparadas, esto es debido fundamentalmente a dos causas.

La primera de ellas es la sustitución de las fibras naturales por fibras artificiales o sintéticas, que entre otras cosas se debe principalmente a que han sido bien aceptadas por el consumidor en virtud de tener precios menores a la lana y el algodón; en segundo término aparecen los factores inherentes al desarrollo del país, tales como el avance tecnológico y el aumento de la capacidad instalada, consecuencia de una mayor demanda a nivel nacional y a la potencialidad de exportación de los excedentes no demandados del país.

Tabla III.7
 Valor de la Producción de las Diferentes
 Actividades de la Industria Textil
 (Millones de Pesos de 1980)

Industria	1975	1980	1985	1986	1987	TMCA (%)
HILADO Y TEJIDO FIBRAS BLANDAS	85,506	114,254	110,629	105,658	105,296	1.7
HILADO Y TEJIDO FIBRAS DURAS	6,315	7,025	5,306	6,261	5,710	(3.1)
OTRAS IND. TEXTILES	19,288	33,630	31,108	29,324	28,092	3.2
FRENDAS DE VESTIR	78,053	98,784	88,831	85,999	89,010	1.1
FIBRAS QUIMICAS	31,374	46,976	52,355	50,631	52,697	4.4
TOTAL	222,536	300,769	288,228	275,873	280,805	2.0

De acuerdo con los datos asentados en la tabla III.8 durante el periodo 1975-1987 las industrias de fibras químicas muestran el menor incremento en el índice de precios de su producción, con una IMCA del 24.7%.

Tabla III.6
 Índice de Precios de las Diferentes
 Actividades de la Industria Textil

Industria	1975	1985	1986	1987	IMCA (%)
HILADO Y TEJIDO FIBRAS BLANDAS	31.5	599.9	717.6	807.9	35.0
HILADO Y TEJIDO FIBRAS DURAS	66.0	485.6	562.6	606.0	29.1
OTRAS IND. TEXTILES	31.4	560.1	668.3	710.1	32.2
PRENDAS DE VESTIR	34.5	792.4	921.2	998.8	38.9
FIBRAS QUIMICAS	23.0	316.9	377.3	464.3	24.7

Esto refleja el impacto favorable de la utilización de factores que tienden a hacer más rentable el proceso de producción y más competitivos los precios. Tales factores son tanto tecnológicos como de economías de escala, y mediante ellos se logran reducir los costos de producción.

Por otro lado en la tabla III.9 se muestra la composición del valor agregado a precios de 1980 de las actividades comparadas. La industria de las fibras químicas ha presentado una creciente participación de este concepto al pasar de un 16.5% en 1975 a 21.8% del total en 1987.

Tabla III.9
 Valor Agregado de las Diversas
 Actividades de la Industria Textil
 (Millones de Pesos de 1980)

Industria	1975	1980	1985	1990	1987	IMCA (%)
1) HILADO y TEJIDO FIBRAS BLANDAS	32,015	42,098	41,611	38,755	39,403	1.7
2) HILADO y TEJIDO FIBRAS DURAS	4,167	6,070	4,577	5,137	4,777	1.2
3) OTRAS INDUSTRIAS TEXTILES	9,534	14,136	14,717	14,219	14,822	3.7
4) PRENDAS VESTIR	35,351	44,175	42,848	40,387	37,671	0.5
5) FIBRAS QUIMICAS	15,968	15,260	26,679	25,804	26,924	4.4
TOTAL	97,106	121,739	130,483	124,431	123,597	2.0
PARTICIPACION EN LA PROD. MANUFACTURERA	13.8	12.5	12.4	12.3	12.2	---
PARTICIPACION EN EL TOTAL NACIONAL	3.1	2.5	2.7	2.5	2.6	---
PARTICIPACION DE (5) EN TOTAL 1+2+3+4+5	16.5	12.5	20.4	20.7	21.8	---

CAPITULO IV
PRINCIPALES FIBRAS QUIMICAS NACIONALES

CAPITULO IV

PRINCIPALES FIBRAS QUIMICAS NACIONALES.

IV.1 FIBRAS POLIAMIDAS.

IV.1.1 Generalidades.

Las fibras poliamidas tienen unidades de monomero unidas por grupos amidas ($\text{CONHR}^1\text{HCOR}^2$) y son obtenidas a partir de diamidas y de acidos dicarboxilicos, O en el caso de (HCONH) , a partir de lacta-
 n
mas.

Si R^1 y R^2 son alifaticos, acrilicos o mezcias que contienen menos de 85% en peso de moleculas aromaticas, estas poliamidas son usualmente referidas como nylon. Si más del 85% en peso de las unidades repetidas son aromaticas en estructura, las fibras se denominan aramidias.

Generalmente las poliamidas son los polimeros comunmente conocidos como nylon, los cuales son resultado de la condensación de una diamina y un acido dicarboxilico o sus compuestos equivalentes.

La identificación de los diferentes tipos de nylon se realiza escribiendo la palabra generica nylon, seguida de uno o dos numeros que indican el numero de carbonos del monomero del que proviene.

Por ejemplo, el nylon 12 proviene de la polimerización de la lauroilactama (amida de 12 carbonos). Cuando se utilizan dos numeros, estos numeros indican tambien la cantidad de átomos de los compuestos que se parte para obtener la poliamida.

Así pues, el nylon 6,6 se prepara a partir de la polimerización del compuesto resultante de la reacción entre la hexametildiamina y el acido adipico (ambos de 6 átomos de carbonos).

Aunque existen varias poliamidas de importancia comercial, tales como la Quiana, el nylon,4; nylon,7; nylon,11; y el nylon,12; que se paten-

teron simultaneamente cuando surgio el nylon 6. tento este ultimo como el nylon 6,6 son los mas importantes al abarcar juntos cerca del 90% del mercado total de las poliamidas.

Estos tipos de nylon se producen en dos grados diferentes, como plasticos de ingenieria para aplicaciones sobre metales (como las automotrices), y en grado fibra, ya sea como filamento textil o filamento de uso industrial.

En la tabla IV.1 se presentan las principales propiedades de los filamentos de nylon 6, y nylon 6,6.

La fibra nylon se obtiene a partir de la polimerizacion de la caprolactama en un proceso catalizado con agua, a temperaturas cercanas a 270 °C. Esencialmente todos los procesos de produccion de las fibras poliamidas son por el metodo de fusion del polimero, ya que este es mas economico que el hilado en solucion, debido al costo de los solventes y el manejo de los mismos durante la etapa de recuperacion de los hilos.

En la elaboracion del nylon 6, y del nylon 6,6, actualmente se utiliza el metodo de fusion del polimero.

En el procesamiento de los nylons, la mezcla fundida obtenida durante la etapa de polimerizacion, se purifica para eliminar la caprolactama que no reacciono y otros subproductos generados en la reaccion (polimeros de bajo peso molecular).

El proceso emplea una bomba dosificadora, la cual hace pasar la masa fundida del polimerizador hacia un extrusor (dispositivo con orificios multiples), a traves de un filtro de diseo especial, el cual retiene los subproductos de la reaccion.

Los filamentos fundidos obtenidos del extrusor se hacen pasar por una chimenea vertical, en donde son enfriados con aire y al mismo tiempo son alargados al diametro deseado. Al final los hilos son enredados en

carretes y pasan a su almacenamiento.

Dependiendo de los requerimientos deseados para las aplicaciones textiles e industriales de estas fibras, se hace necesario introducir al proceso cierto tipo de operaciones. Todas ellas están encaminadas a darle al producto final las propiedades mecánicas y textura requeridas.

Por ejemplo, para muchos usos en ropa, medias y tejidos de alfombras se prefiere un hilo especialmente texturizado. Así pues, es necesario introducir al proceso operaciones de repurificado, rizado y doblado de las fibras.

Donde se requieren propiedades especiales, por ejemplo muy bajo coeficiente de encogimiento, como en el uso de cuerdas para llantas, un paso de refundido (calor-relajamiento), para la fibra puede ser adicionado. En la figura IV.1 se presenta un diagrama general para ilustrar este método de hilado por fusión del polímero.

En lo que corresponde a las tecnologías empleadas para la elaboración de esta fibra, todas son de origen extranjero, aunque ya se han realizado en nuestro país varios desarrollos propios que se han incorporado a las tecnologías originales.

Tales desarrollos han obtenido propiedades y rendimientos en niveles similares a los de los principales productores mundiales. En la tabla IV.2 se muestra el origen y los licenciadores de las tecnologías empleadas en el país.

IV.1.2 Usos.

Los usos de la fibra nylon pueden dividirse en textiles e industriales, las aplicaciones textiles fueron las primeras en aparecer a principios de los años cuarenta cuando causaron toda una revolución al utilizar el nylon en la fabricación de medias transparentes para

Tabla IV.1
Principales Propiedades de los Filamentos Continuos
de Nylon 6,6 y el Nylon 6

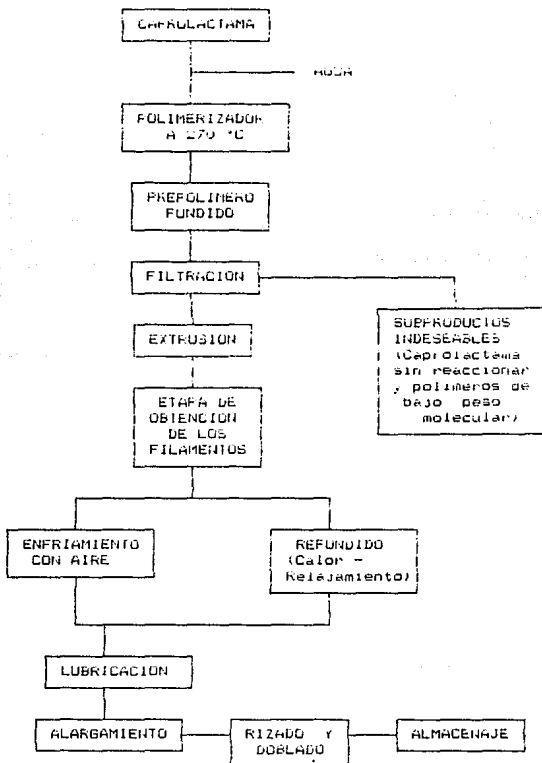
Propiedad	Tenacidad Normal	Alta Tenacidad
Tenacidad a rotura, N/tex ^a	0.4-0.6	0.75-0.84
Esfuerzo de tensión max, MPa ^b	550-635	855-752
Elongación a rotura secos, %	23-43	12-17
húmedos, %	28-41	14-21
Módulo de tensión, N/tex	2.2-3.1	2.9-4.1
Flexibilidad promedio, N/te,	0.7-0.14	0.06-0.14
Absorción de humedad, a 21°C, %	4.5	3.3-4.5
Punto de Fusión, °C		
Nylon 6	215-220	----
Nylon 6,6	250	----
Punto de reblandecimiento, °C		
Nylon 6	170	----
Nylon 6,6	235	----
Temperatura crítica en aire, °C		
Nylon 6	163	----
Nylon 6,6	158	----
Temperatura crítica en vapor, °C		
Nylon 6	137	----
Nylon 6,6	140	----

a Para convertir de N/tex a gf/den multiplicar por 11.33

b Para convertir de MPa a psi multiplicar por 145

Fuente: Link-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology

Figura IV.1
Metodo de Hilado por Fusión para la Manufactura de Fibra Nylon



mujer, aplicacion que sigue siendo una de las mas importantes de esta fibra.

Tabla IV.1
Origen de las Tecnologías Empleadas en México
para la Obtencion de la Fibra Nylon

Empresa Nacional	Origen de Tecnología	Empresa Licenciante
FIQUISÁ	Holanda	Enka International B.V.
CELANESE	U.S.A	Celanese Corporation U.
KIMEX	Alemania/México	Karl Fischer/Kimex
NYLMEX	U.S.A	Du Pont
FISISA	Japon	Icare, Industries

Otras aplicaciones textiles importantes son la elaboracion de ropa interior, calcotines y tobilleras, y en general forma parte esencial de las partes elasticas para ropa intima y para pantalones de los llamados ajustables, ropa deportiva, ademas de su uso en la fabricacion de tapetes y alfombras para el hogar.

El nylon 6, y 6,6 son las fibras mas usadas para la fabricacion de alfombras, debido a la textura en su apariencia y a la conservacio de la misma durante su uso y su mantenimiento, esto debido a su excelente resistencia al desgaste, ademas de la disponibilidad de colores en el mercado y por si fuera poco su bajo costo.

Se requiere de menos nylon en términos de kg/m² para la fabricacion de cualquier alfombra que si se empleara fibras acrilicas o fibras poliéster y los niveles de vida util y por lo tanto de apariencia son mas duraderos.

Por lo que a las aplicaciones industriales se refiere, se incluyen en estas las cuerdas para refuerzo de llantas automotrices, y para

aviones la elaboracion de cinturones para los asientos de algunos vehiculos, para fabricar mangueras, cuerdas, bandas, etc.

A pesar de perder gran parte del mercado como refuerzo para carcazas de neumaticos para automoviles y aviones con el poliester, los nylon siguen siendo las fibras mas importantes en esta industria. Sobre todo se usan en la fabricacion de llantas radiales, por su excelente incorporacion al caucho, y su alta resistencia a la fatiga.

IV.1.3 Mercado.

La fibra nylon 6 se empezo a producir en el pais a finales de los años cincuentas y aun cuando en los primeros años la produccion fue muy baja, esta fue incrementandose hasta que en 1975 se produjeron poco mas de 30 mil toneladas, cantidad que ha ido aumentando hasta alcanzar poco mas de 58,000 toneladas en 1988 tal y como se observa en la grafica IV.1, y tabla IV.3.

En la grafica IV.1 se muestra que la capacidad instalada de la fibra nylon paso de 49,000 toneladas en 1975 a poco mas de 98,000 en 1988, lo cual represento un incremento superior al 100%.

Sin embargo el aprovechamiento de dicha capacidad es menor al 60% en el periodo historico analizado. Hasta 1988 se alcanzo un aprovechamiento de 59.5%.

La produccion nacional de fibra nylon ha permitido cubrir adecuadamente la demanda local de este producto, y tal como se observa en la grafica IV.2. A partir de 1982 se han tenido algunos excedentes que han sido colocados en el mercado internacional, y aunque en 1985 tuvieron una caida en su tendencia creciente, estos pueden considerarse como muy significativos.

En la grafica IV.3 se presenta un analisis de la evolucion de las exportaciones de esta fibra de 1980 a 1988.

Gráfica IV.1
 Producción y Capacidad Instalada Nacional
 de la Fibra Nylon

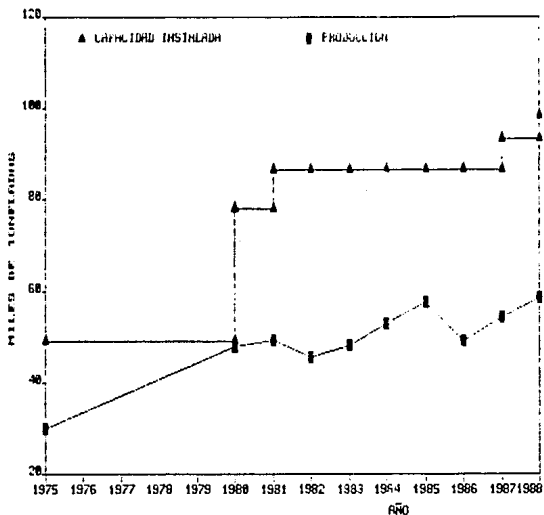


Tabla IV.3
Desarrollo Histórico del Mercado de la Fibra Nylon
(Datos en Miles de Toneladas)

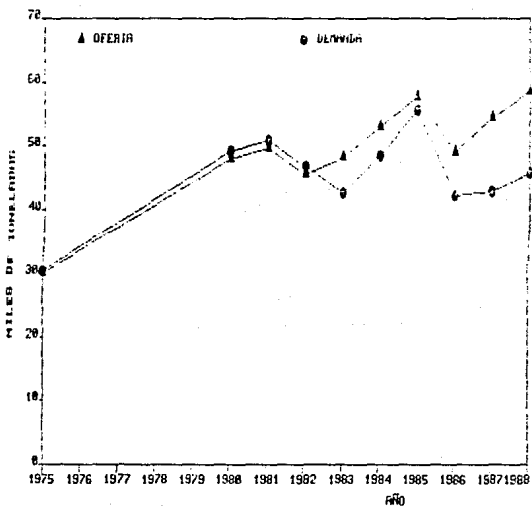
Año	Capacidad Instalada	Producción	Exportación	Importación	Consumo Aparente
75	49.080	30.039	0.096	0.559	30.590
80	78.055	47.928	---	1.293	49.221
81	86.400	49.551	0.017	1.244	50.778
82	86.400	45.512	0.387	1.577	46.702
83	86.400	46.146	5.724	0.215	46.682
84	86.400	52.920	6.476	1.912	46.356
85	86.400	57.683	2.649	0.566	55.600
86	86.400	48.982	10.798	4.031	42.215
87	93.260	54.268	11.882	0.360	42.746
88	98.200	58.433	12.894	0.200	45.739

La situación de la fibra durante 1988 presentó un incremento tanto en la capacidad como en la producción con un nivel de consumo muy similar al de 1987, lo cual permitió incrementar las exportaciones en este producto. Estos datos se representan en la gráfica IV.4.

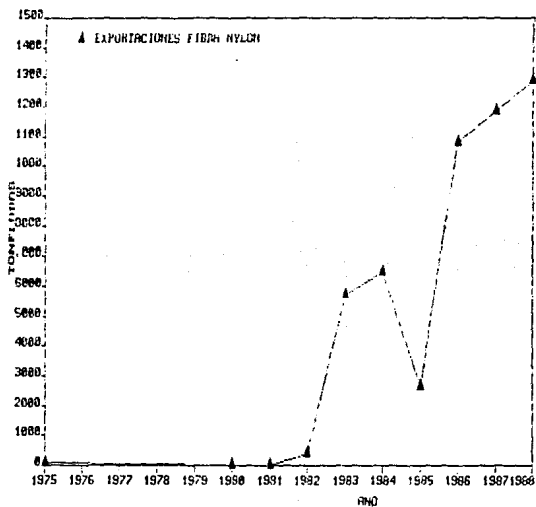
La producción en 1988 se incrementó cerca de un 10% con respecto a 1987 al pasar de 54,268 a 58,433 tons, y como el consumo fue muy similar en ambos años (poco más de 42,000 tons), dicho incremento se tradujo en exportaciones, siendo estas un 8% mayores en volumen con respecto a las 1987.

Por otro lado, el precio promedio de la fibra nylon en el país pasó de 91 pesos/kg en 1980 a 4367 pesos/kg en 1987. Sin embargo al analizar los datos descontando el efecto de la inflación, el precio para 1988 equivale a 80.1 pesos/kg de 1980 lo que significa un decremento real en este rubro de 12%, esta información se muestra en la gráfica IV.4a.

Gráfica 19.2
Evolución de la Oferta-Demanda
Nacional de la Fibra Nylon



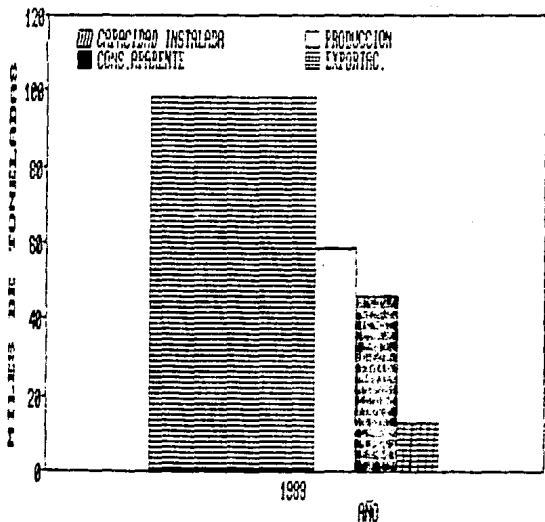
Gráfica IV.3
Evolución de las Exportaciones de Fibra Nylon



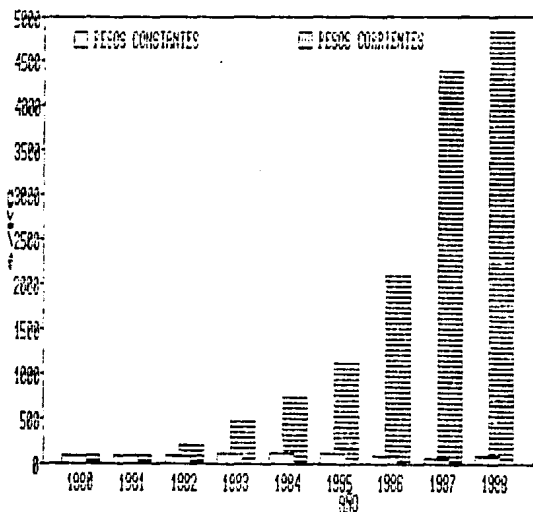
Ahora bien, la relación del precio promedio nacional con el internacional, en varias ocasiones el precio local ha sido superior a este último.

Si se analizan los datos de la gráfica IV.4b, en que se comparan los mercados nacional con el americano, se observa que las diferencias han sido muy significativas, por ejemplo, considerando la paridad promedio dólar-peso de \$2500.00/dólar durante 1986, se tiene que en ese año el precio nacional fue superior en un 12% al del mercado de los U.S.A. Es importante señalar que los precios que se muestran en las gráficas IV.4a y IV.4b, corresponden a un promedio de las diferentes presentaciones o tipos de fibra nylon producidos en el país: filamento, fibra corta y filamento alta tenacidad.

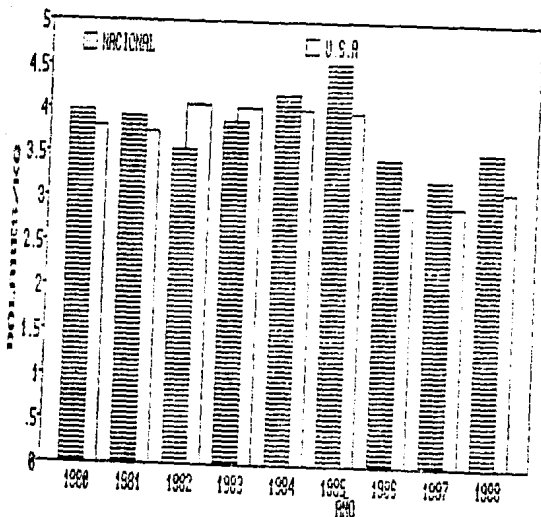
Gráfica IV.4
Mercado Nacional de la Fibra Nylon en 1986



Gráfica IV.4a
Evolución del Precio Promedio
de la Fibra Nylon en el País



Gráfica IV.4b
 Comparación del Precio Nacional de la Fibra Nylon
 con el Precio en los U.S.A



En general los precios tanto del filamento estandar como el del filamento de alta tenacidad estan entre un 50 y un 60% mas altos que los correspondientes a la fibra corta.

La capacidad instalada para producir la fibra nylon paso de 90,200 toneladas en 1987 a 98,200 en 1988, lo que represento un incremento de 8.3%.

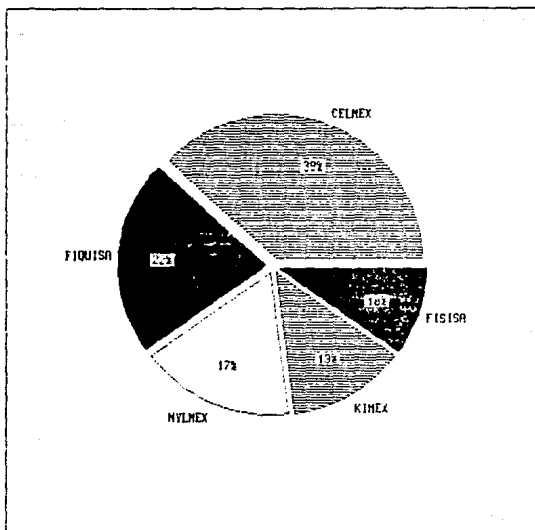
Esta capacidad, como se observa en la grafica IV.5, esta soportada por cinco empresas: Celanese Mexicana, SA; Fibras Quimicas, SA; Nylon de Mexico, SA; Fibras Sinteticas, SA, y Fimer SA. Las empresas agrupadas bajo el nombre de ALFA (Nylon de Mexico y Fibras Quimicas y Celanese Mexicana tienen cerca del 80% de la capacidad total de la fibra nylon. Por lo que al tipo de fibra producida se refiere, en la tabla IV.5 se presentan los tipos fabricados por cada una de las empresas antes mencionadas, asi como la participacion de cada una de ellas en la capacidad instalada total.

Tabla IV.5
Productores de la Fibra Nylon por Tipo de Presentacion
y sus contribuciones a la Capacidad Instalada Total de la Fibra Nylon

EMPRESA	FILAMENTO TEXTIL	P R E S E N T A C I O N		CAPACIDAD INSTALADA (TONS)
		FIBRA CORTA	FILAMENTO DE ALTA TENACIDAD Y CUERDA PARA LLANTAS	
CELMEX	+		+	37,316
FIQUISA	+		+	21,604
FISISA	+			9,820
KIMEX	+			12,766
NYLMEX	+	+		16,694

Al analizar los datos historicos se observa que el nivel de produccion de la fibra nylon ha sido tal que ha cubierto en forma adecuada la demanda nacional, por lo que, aun cuando siempre se han realizado importaciones de este producto, estas nunca han sido significativas, la mayor de parte de las veces inferiores al 1% del consumo aparente.

Gráfica 19.5
Distribución de la Capacidad Instalada de Fibra Óptica



Al mismo tiempo, esta fibra tampoco se ha caracterizado por ser un producto importante desde el punto de vista exportador aunque presenta una tendencia a mejorar este concepto, según se puede observar en la gráfica IV.3.

Tal y como se muestra en la tabla IV.6, en los últimos años la balanza comercial de la fibra nylon ha sido superavitaria, correspondiendo a 1988 el mayor volumen de exportaciones de este producto, con cerca de 13,000 toneladas exportadas, lo que significó un ingreso de 9.9 millones de dolares.

IV.1.4 Materias Primas

Caprolactama.-

La caprolactama es el monómero empleado para obtener el nylon 6. La evolución que ha tenido el mercado nacional de esta materia prima se muestra en la gráfica IV.6. En México este producto es producido por Univex, SA, el cual en 1988 produjo cerca de 62,000 toneladas, con una capacidad instalada de 75,000 toneladas, teniendo un nivel de aprovechamiento de la misma de 82.6%.

La capacidad instalada por esta empresa la alcanzó apenas en 1988, y de acuerdo al consumo aparente registrado en ese año cercano a las 70,000 toneladas, con tan sólo optimizar su nivel de aprovechamiento sería suficiente para abastecer el mercado nacional.

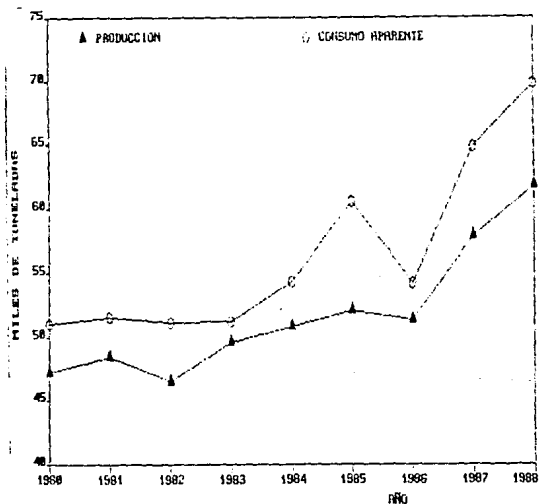
Sin embargo para el mediano plazo se requeriría arrancar con un proyecto de ampliación ya que las demandas futuras según la tendencia de los datos históricos, no serían satisfechas si la capacidad instalada se estableciera por mucho tiempo en las 75,000 toneladas.

El perfil de distribución de la caprolactama en 1988 fue de un 99% al mercado de las fibras sintéticas y sólo un 1% se dirigió hacia otros sectores.

Tabla IV.6
 Balanza Comercial de la Fibra Nylon
 (Volumen en Tons y Valor en millones de Dlls)

Año	1985		1986		1987		1988	
	VOL	VALOR	VOL	VALOR	VOL	VALOR	VOL	VALOR
IMPORTACION	566	2.1	4,031	3.2	360	1.8	200	2.4
EXPORTACION	2,649	13.1	10,798	9.7	11,882	15.0	12,694	12.3
BALANZA	2,083	11.0	6,767	2.7	11,522	13.2	12,694	9.9

Grafica IV.6
 Evolucion del Mercado Nacional de la Caprolactame



IV.1.5 Perspectivas.

La aleatoriedad de factores que determinan la tendencia del mercado de las fibras, hace difícil establecer un escenario apropiado del mercado de las mismas al mediano plazo; sin embargo, es factible presentar un campo de demanda en función del PIB nacional, y el incremento poblacional.

De esta forma, tomando en cuenta los datos históricos del consumo de fibras nylon, el PIB nacional, y la población y correlacionándolos mediante una ecuación de tipo multivariable de la forma:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (1)$$

donde x_1 y x_2 son PIBtot y población respectivamente y donde b_0, b_1, b_2 , etc. son las constantes a evaluar mediante el ajuste multivariable, o bien tomando en cuenta una interacción entre la población y el PIB total de manera que la ecuación quedará de la forma:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_{12} x_1 x_2 \quad (2)$$

se puede obtener una proyección satisfactoria del consumo aparente de la fibra al mediano plazo.

Así pues mediante el uso del método de Doolittle simplificado de inversión de matrices para la evaluación de las constantes de ambos modelos y finalmente se realizando un análisis de varianza para cada uno de ellos, se llegó a obtener la mejor aproximación al comportamiento de los datos históricos del consumo aparente de fibras nylon, y se pudo obtener una proyección del mismo.

Los datos obtenidos para las constantes del modelo representado por la ecuación (1) fueron los siguientes:

$$b_0 = -27.663651$$

$$b_1 = 0.0257222$$

$$b_2 = -0.6301689$$

Por lo que respecta a los valores de las constantes del modelo

representado por la ecuacion (2), los datos obtenidos fueron:

$$b_0 = -70.061134$$

$$b_1 = 0.0300525$$

$$b_2 = 0.1591309$$

$$b_3 = -0.0001077$$

3

Posteriormente en un analisis de varianza se demostro que los datos de las constantes obtenidas para representar la ecuacion (2), son mas satisfactorios que los de la (1).

En base a los parametros de poblacion y FIBTOT proyectados por dependencias gubernamentales, los cuales se reportan en la tabla IV.6a, y con los datos de la ecuacion formada por el segundo modelo se realizaron las proyecciones del consumo aparente de fibras nylon hasta el año de 1995, los resultados se muestran en la grafica IV.7.

En ésta, tambien se grafican los datos historicos de consumos aparentes y capacidades instaladas hasta 1988, y se complementan con las proyecciones de la demanda de fibras nylon y la capacidad instalada de la misma hasta 1995, con objeto de comparar los datos historico y los datos calculados de acuerdo a la ecuacion (2).

Tal y como se muestra en la grafica IV.7 los crecimientos anteriores implicarian un consumo interno de cerca de 60,000 toneladas para 1995, las cuales comparadas con las 96,200 toneladas de capacidad instalada que se tienen a partir de 1988, no implicaria el establecimiento de nuevos proyectos ya que la capacidad instalada seria suficiente para abastecer la demanda interna hasta ese año, con tan solo optimizar el aprovechamiento de la misma a niveles de 60%.

Sin embargo la tendencia hacia la alza de las exportaciones de acuerdo al comportamiento historico, podria inducir a el establecimiento de nuevos proyectos de ampliacion de la planta productiva de fibra nylon.

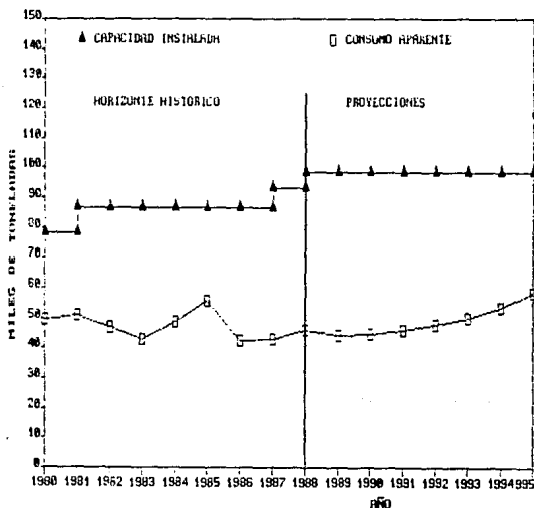
Tabla IV.6a
Proyecciones del FIBTOT y la Población

AÑO	FIBTOT (1) (Miles de Millones de Pesos de 1980)	Población (2) (Millones de Habitantes)
89	4861	84.3
90	4943	85.6
91	5036	87.3
92	5165	88.7
93	5337	90.1
94	5558	91.5
95	5854	92.9

(1) Fuente: Departamento de Investigaciones Economicas del Banco Nacional de Mexico.

(2) Fuente: INEGI-COHAFO, según la hipótesis de la Fecundidad Programática.

Gráfica IV.7
Perspectivas del Consumo de la Fibra Nylon



IV.2 FIBRA ACRILICA.

IV.2.1 Generalidades.

Las fibras que contienen 35% o mas de monomero de acrilonitrilo, se les conoce como fibras acrilicas. Por tal razon, tanto la Comision Federal de Comercio de los U.S.A como otros Organismos Internacionales clasifican a estas fibras en dos grupos: fibras acrilicas y fibras modacrilicas, dependiendo de su contenido de acrilonitrilo.

De una manera mas especifica, las fibras acrilicas son aquellas en las que la sustancia formadora de la fibra es cualquier cadena larga de polimero sintético compuesto al menos de un 85% en peso de unidades de acrilonitrilo ($-\text{CH}_2-\underset{\text{2}}{\text{CH}}(\text{CN})-$), el porcentaje restante consiste generalmente de dos comonomeros de acrilatos y metacrilatos.

Las fibras modacrilicas, se definen de una manera similar, con una composicion menor del 85% en peso, pero con un minimo de 35% en peso de unidades de acrilonitrilo. El 15-35% restante de una fibra modacrilica consiste principalmente de comonomeros halogenados, tales como el cloruro de vinilideno y el cloruro de vinilo.

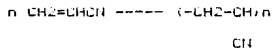
La fibra acrilica, una de las principales fibras sinteticas en Mexico y en el mundo, tuvo su origen en la necesidad de contar con un sustituto de la lana, lo que ha conseguido en buena medida debido principalmente a su apariencia, conduccion termica y menor costo.

Las fibras acrilicas sobresalen especialmente por su fácil procesamiento para formar hilos de gran tamaño. Los articulos producidos con hilo acrilico son elasticos, ligeros y tienen una suavidad y propiedades aislantes comparables a los de los productos de lana.

Las principales propiedades de estas fibras son altamente dependientes de los siguientes factores: la estructura del poli(acrilonitrilo), la cantidad y concentracion del modificador empleado durante la reaccion

de polimerización, el método de hilado y el grado de elasticidad usado durante la formación de la fibra.

Los dos últimos afectan la orientación molecular y la cristalinidad de la fibra en gran medida. La polimerización del acrilonitrilo procede de la adición sucesiva de unidades de monómero de acrilonitrilo, resultando en moléculas lineales largas:



donde n puede estar en un rango de 500 a 5000.

Para las fibras comerciales n está normalmente en el rango de 600 a 2000, lo cual equivale a pesos moleculares de 32,000 a 110,000.

Sobre la base de los rayos "x" y estudios de solubilidad, se ha concluido que las cadenas adyacentes están interactuando por efecto del enlace o puente de hidrógeno, aunque hay quienes sin embargo, prefieren el concepto de que la interacción se lleva a cabo entre los pares de grupos CN, por efecto del enlace par-dipolo.

Algunas de las principales propiedades de las fibras acrílicas más comerciales se sintetizan en la tabla (1.7).

Todas estas propiedades proporcionan una serie de características que aunadas a otros atributos de las fibras acrílicas, hacen que en forma total estas sean sumamente apreciadas dentro del mercado, aunque sin duda alguna, su especial facilidad para colorearse tanto en colores claros como brillantes, y para tonos color mortecino, así como para tonos apagados, las hacen más atractivas sobre otro tipo de fibras sintéticas.

Por si fuera poco, dentro de sus propiedades químico-biológicas, las fibras acrílicas tienen una excelente resistencia a la degradación por luz ultravioleta, al ataque microbiológico, a alcalis débiles y a blanqueadores de lavandería.

Tabla IV.7
Propiedades Físicas de algunas Fibras Acrílicas

Propiedad	Acrilan (U.S.A)	Couturelle (Inglaterra)	Creslan (U.S.A)	Dralon (Alemania)	Enlan (Japón)
Tenacidad, g/den					
secas	2.0-2.7	3.0-3.6	2.7-3.3	2.5-3.2	2.7-4.0
húmedas	1.6-2.2	2.4-2.8	---	2.1-2.7	2.0-3.6
Fuerza de Tensión, psi	30 a 40,000	---	---	---	---
Elongación, %					
secas	36-40	40-45	30-40	24-30	20-28
húmedas	44-49	40-45	---	24-30	26-34
Recuperación de Tensión(1), % a partir del 2% de extensión	93	87	89	---	90
Gravedad Específica	1.17	1.15	--	1.17	1.14
Absorción de humedad(2), %	1.5	1.3	1.0	1.5-2.0	1.5
Efecto del calor	resiste a 245°C	resiste a 294°C	viscoso a 210°C	ablanda a 235°C	resiste a 252°C
Efecto de la luz solar(3)	muy resistente	idem	idem	idem	idem

(1) Promedio de tensión recuperable del total de extensión aplicada sobre la fibra

(2) Porcentaje de humedad que esta en equilibrio con la atmosfera bajo condiciones estandar

(3) Todas las fibras son muy resistentes a la luz solar

Fuente: Kirk-Othmer, Encyclopedia of Chemical Technology

Las fibras modacrílicas se asemejan a las acrílicas en la mayoría de sus cualidades, pero son ligeramente menores a estas en su capacidad para colorearse, su resistencia a los solventes orgánicos comunes y su estabilidad dimensional al lavado en seco.

Por otro lado, las fibras modacrílicas tienen una temperatura de ablandamiento significativamente menor a la de las acrílicas, y debido a su contenido de comonomeros halogenados tienen características inherentes de retardadores de flama.

En la fabricación de fibras acrílicas se pueden usar procesos batch o continuos. En ambos procesos se usan un catalizador y un activador como son respectivamente las sales metálicas, y los compuestos cuaternarios de amonio.

En uno u otro proceso debe tenerse cuidado en mantener una atmósfera inerte durante la fabricación, ya que la presencia de oxígeno inhibe la polimerización.

Los métodos más ampliamente usados en la manufactura de las fibras acrílicas son el de hilado en solución y el hilado seco, sin embargo en el país la utilización del primero es más frecuente por la mayoría de las empresas productoras de fibras acrílicas.

Una de las principales barreras en el desarrollo primario de los procesos para la manufactura de las fibras acrílicas, fue la falta de solventes apropiados para disolver el polímero.

Actualmente es usual acompañar la solución de poliacrilonitrilo y sus copolímeros por tres tipos de solventes: orgánicos, soluciones concentradas de sales inorgánicas, y ácidos inorgánicos.

Los solventes orgánicos que son frecuentemente polares, y son capaces de romper los enlaces o puentes de hidrógeno entre las cadenas del poliacrilonitrilo, fueron los primeros usados en la manufactura comercial de fibras acrílicas. Entre ellos están, la dimetilformamida,

adiponitrilo y metilenditiocianato. Algunos de los solventes usados posteriormente son la dimetilacetamida, mezclas de sulfito de etileno y emidas orgánicas.

Las soluciones de sales hidrotropicas primarias no dieron buenos resultados en el proceso comercial, porque el polimero no recuperaba su forma estructural debido al solvente. Sin embargo se encontro posteriormente que el mantener el hilado abajo de 10°C la estructura del polimero mejora y el proceso viene a ser mas facil de operar.

En el hilado humedo la pasta resultante de la polimerizacion que puede contener hasta un 40 % del polimero en solucion, una vez filtrada es enviada directamente del polimerizador, a traves de una bomba dosificadora hasta una serie de extrusores, los cuales tienen de 1000 a 1200 orificios. Los diametros de los orificios pueden variar de 2.4 a 5 mm.

Asi como la pasta sale de los orificios, entra en un baño de hilado en donde el solvente se difunde de los filamentos, naturalmente el baño contiene algun solvente y una baja concentracion de este promueve la solidificacion rapida de los filamentos, asi como su mas facil separacion de los mismos.

En el proceso de hilado seco el polimero es hilado con un solvente de alto punto de ebullicion y por tanto de mas baja velocidad de evaporacion. Posteriormente dicho solvente se elimina parcialmente en una torre de secado.

No es en apariencia muy practico remover todo el solvente en la misma torre de secado, por consiguiente la fibra emerge de la torre conteniendo normalmente de 10 a 25% de solvente, y este es posteriormente completamente eliminado en un baño de agua de agua.

Al final se hacen los ultimos tratamientos a la fibra con objeto de reducir su electricidad estatica, darle suavidad y lubrificarla lo su-

ficiente para su posterior procesamiento en el equipo textil.

En la figura IV.2 se muestra un diagrama de bloques que ilustra el método de hilado en solución para la manufactura de fibras acrílicas. Por lo que respecta a las tecnologías empleadas en el país para la manufactura de fibras acrílicas son de procedencia extranjera, principalmente de Europa Occidental. La tabla IV.8 muestra el origen de cada una de ellas.

Tabla IV.8
ORIGEN DE LAS TECNOLOGÍAS DE FIBRA ACRÍLICA

EMPRESA	LICENCIADOR	PAÍS DE ORIGEN
CYDSA	SACKI FAR DE LYON MITSUBISHI RAYON CO.	FRANCIA/JAPON
FINACRIL	SHIA VISCOSA	ITALIA
FISISA	ASAHI CHEMICAL	JAPON
CELANESE	SUDEUTSCH CHEMICAL	ALEMANIA

Las tecnologías antes mencionadas han sido debidamente asimiladas en nuestro país y en varios casos mejoradas, al incorporar mejoras alcanzadas con la experiencia adquirida en estos procesos.

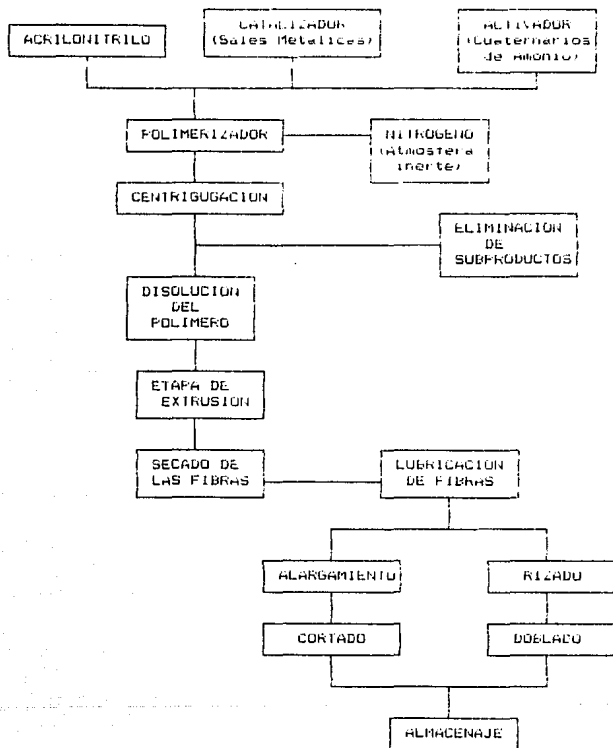
Estas tecnologías además, se encuentran, por sus características y rendimientos, entre las más importantes a nivel mundial.

IV.2.2 Usos.

Como ya se mencionó, la fibra acrílica se produce a partir del poli-acrilonitrilo y solo en el tipo de fibra corta.

La ropa (industria textil) es el mercado principal para las fibras acrílicas y modacrílicas, con aplicaciones principales en tejido de punto o de calcetería, sweaters, estambre para tejer a mano, hilo atelpado e hilos para pezca.

Figura 19.2
 Metodo de Hilado en Solucion
 para la Manufactura de Fibras Acrilicas



El mercado de artículos para el hogar representa un porcentaje menor del mercado total. Las alfombras y tapetes, las mantas, tapicería y cortinas tienen el principal volumen del mercado de esta área.

Los mercados industriales para las fibras acrílicas son reducidos, con alguna utilidad como filamento en aplicaciones tales como empaquetado, productos para protección y recubrimiento, hilos no trenzados, boíes, filtros y otros usos.

En la tabla IV.9 se resume en forma sintética la distribución porcentual para la estructura de los usos de las fibras acrílicas para el año de 1988.

IV.2.3 Mercado.

La producción de fibra acrílica se remonta al año de 1968, cuando la empresa Celulosa y Derivados inició la operación de su planta ubicada en El Salto, Jalisco.

Esta fibra experimentó el crecimiento más dinámico de las fibras químicas, en su estructura productiva en el periodo 1975-1988. La capacidad instalada aumentó casi siete veces y la producción más del triple. En la tabla IV.10 y en la gráfica IV.5 se puede observar de mejor forma estos aspectos.

Como reflejo del dinámico crecimiento de la estructura productiva, el abastecimiento de la demanda nacional ha sido satisfactorio a lo largo del periodo analizado.

En la gráfica IV.9 se demuestra como la producción nacional de la fibra acrílica normalmente ha sido suficiente para abastecer la demanda nacional desde el año de 1980.

El mercado de artículos para el hogar representa un porcentaje menor del mercado total. Las alfombras y tapetes, las mantas, tapicería y cortinas tienen el principal volumen del mercado de esta área.

Los mercados industriales para las fibras acrílicas son reducidos, con alguna utilidad como filamento en aplicaciones tales como empaquetado, productos para protección y recubrimiento, hilos no trenzados, bolsas, filtros y otros usos.

En la tabla IV.9 se resume en forma sintética la distribución porcentual para la estructura de los usos de las fibras acrílicas para el año de 1988.

IV.2.3 Mercado.

La producción de fibra acrílica se remonta al año de 1968, cuando la empresa Celulosa y Derivados inició la operación de su planta ubicada en El Salto, Jalisco.

Esta fibra experimentó el crecimiento más dinámico de las fibras químicas, en su estructura productiva en el periodo 1975-1986. La capacidad instalada aumentó casi siete veces y la producción más del triple. En la tabla IV.10 y en la gráfica IV.b se puede observar de mejor forma estos aspectos.

Como reflejo del dinámico crecimiento de la estructura productiva, el abastecimiento de la demanda nacional ha sido satisfactorio a lo largo del periodo analizado.

En la gráfica IV.9 se demuestra como la producción nacional de la fibra acrílica normalmente ha sido suficiente para abastecer la demanda nacional desde el año de 1980.

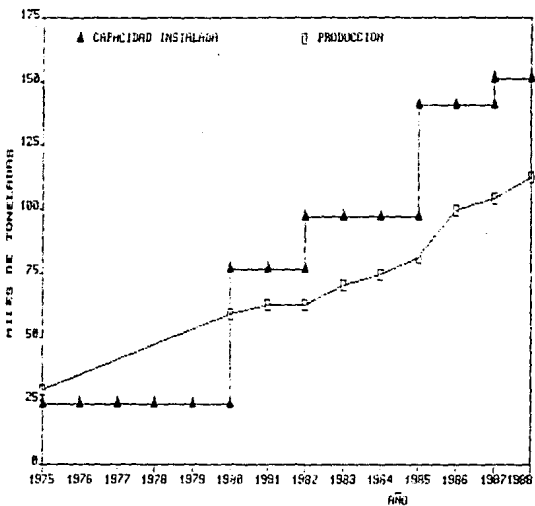
Tabla IV.9
ESTRUCTURA PORCENTUAL DE LOS
USOS DE LAS FIBRAS ACRILICAS

MERCADO	%
Sweteres	20.5
Estambre para tejer a mano	9.0
Ropa caballeros	1.4
Ropa dama	2.9
Ropa deportiva	5.6
Ropa niño	2.0
Calcetines	1.7
Cobertores, colchas	18.4
Tapetes	2.1
Hilo (fantasie)	21.1
Manteles	0.3
Cortinas	0.3
Tapicería	0.8
Alfombras	13.3
Otros	0.3
TOTAL	100.0

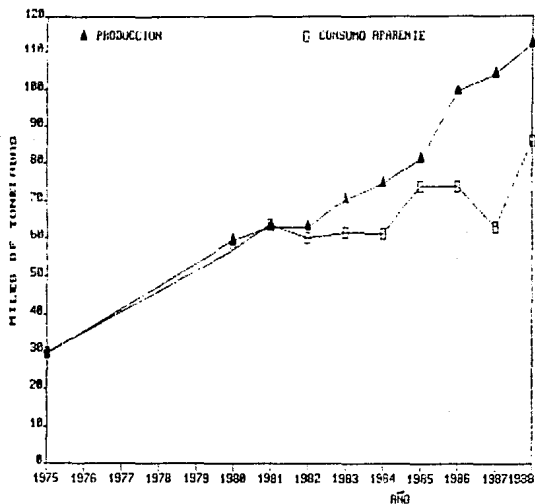
Tabla IV.10
Evolucion del Mercado de Fibra Acrilica
(Miles de Toneladas)

Año	Capacidad Instalada	Produccion	Exportacion	Importacion	Consumo Aparente
1975	23.800	29.121	0.082	0.738	29.777
1980	70.660	59.433	2.537	0.100	50.996
1981	70.660	62.771	0.360	1.090	63.507
1982	96.660	62.913	3.279	0.331	59.965
1983	96.660	70.300	8.840	0.050	61.510
1984	96.660	74.380	13.308	0.065	61.137
1985	140.600	81.092	7.848	0.430	73.674
1986	140.600	99.431	27.530	1.725	73.626
1987	150.600	104.018	41.297	0.300	62.721
1988	150.600	112.246	27.209	0.985	65.462

Gráfica IV.B
 Producción y Capacidad Instalada Nacional
 Fibra Acrílica



Gráfica IV.7
Evolución de la Oferta Demanda
de la Fibra Acrilica en Mexico.



Aun cuando se han realizado importaciones de fibra acrílica, estas han sido de tipo complementario, ya que durante el periodo 1975-1988 el total acumulado de las importaciones ascendió a 1,154 toneladas, lo cual representó menos del 1%, en promedio, de la demanda total en ese periodo.

Por otro lado, las exportaciones se realizaron en forma consistente durante el periodo analizado, habiendo aumentado en un ritmo bastante acelerado, llegando a representar, en 1988, el 40% de la producción. En la gráfica IV.10 se visualiza de mejor forma el comportamiento que han tenido las exportaciones de fibra acrílica desde 1975.

Si se analiza el saldo de la balanza comercial de esta fibra, se puede establecer que como consecuencia de la producción obtenida a partir de 1982, este ha resultado ser positivo.

En 1986 el valor agregado de la exportación ascendió a 37.7 millones de dólares y un total acumulado en ese periodo de 91.1 millones de dólares. Para el año de 1987 se alcanzó el saldo más favorable de todo el periodo histórico para estas fibras con un valor de 46.5, en tanto que en 1988 tuvo un decremento cercano a los 10 millones de dólares con respecto a 1987.

Los valores para 1987 y 1988 originan que el total acumulado sea de 175.2 millones de dólares en el saldo de la balanza a partir de 1982 cuando empezó a ser positivo.

En la tabla IV.11 sintetiza los valores del saldo de la balanza comercial de fibra acrílica desde 1982.

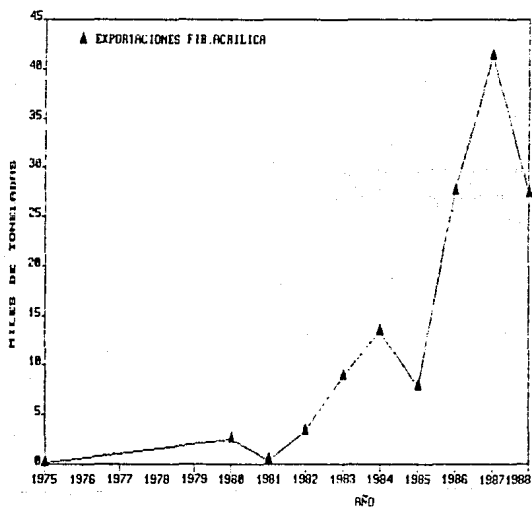
En términos reales (pesos de 1980), el precio de la fibra acrílica creció a un ritmo promedio anual de 4.0%, en el periodo 1980-1988, al pasar de \$16.0/kg a \$49.7/kg.

En la gráfica IV.11 se muestra tal evolución en el precio de la fibra acrílica en el país.

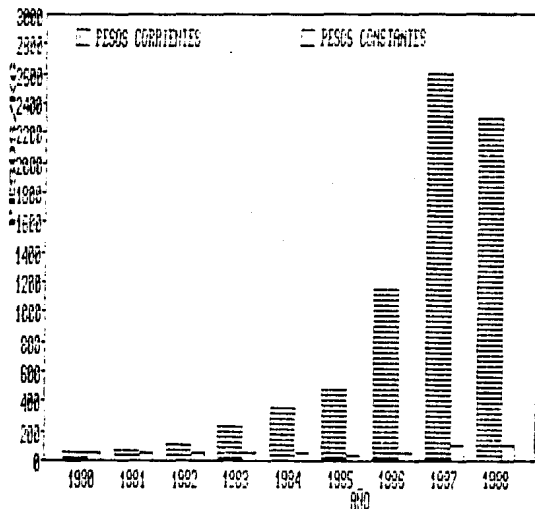
Tabla IV.11
Balanza Comercial de la
Fibra Acrilica

Año	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	ACUMULADO
Saldo	0.8	13.9	28.0	10.7	37.7	46.5	27.6	91.1

Gráfico IV.10
Evolución de las Exportaciones
de Fibra Acrilica



Gráfica IV.11
Evolución del Precio de la
Fibra Acrílica en México



El precio de la fibra acrílica durante 1968 osciló entre los 2200 y 2400 \$/sq. lo cual representó una disminución promedio de aproximadamente 10% con respecto a 1967, esto en términos de pesos constantes.

Por lo que respecta a la comparación de los precios domésticos de fibra acrílica con los de otros países (en la gráfica IV.12 específicamente con Estados Unidos), estos han ido casi a la par, ya que aun cuando ha habido diferencias, estas han sido mínimas, salvo en el año de 1961, en el que el precio nacional fue de aproximadamente 34.5% mayor que el norteamericano.

En forma global 1968 representó un año en el que se intentó la capacidad instalada, como la producción tuvieron niveles muy similares a los alcanzados en 1967, en tanto que el consumo aparente disminuyó ligeramente, disminución que fue absorbida por la demanda exterior.

Así pues, las exportaciones pasaron de 4,000 tons en 1967 a 5,000 tons en 1968, lo cual representó un aumento del 25% respecto a 1967, y un ingreso neto al país de alrededor de los 60 millones de dólares. Esta información se muestra en la tabla IV.11.

Para ilustrar la situación particular que guardan el mercado de la fibra acrílica durante 1968 en el país, se muestra la gráfica IV.13.

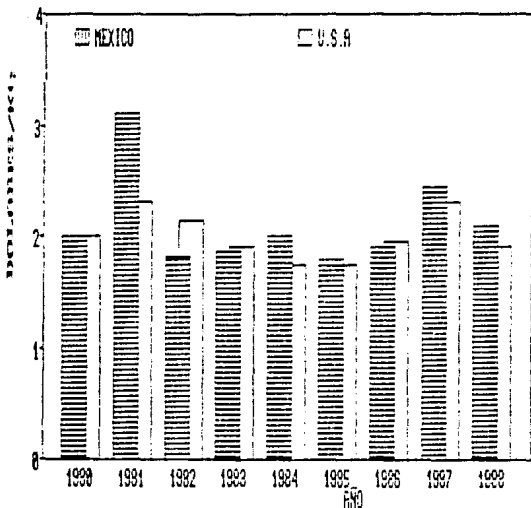
La capacidad instalada para producir la fibra acrílica se estableció en las 150,000 toneladas en 1966, mismas alcanzadas en 1967.

Esta capacidad fue soportada por cuatro empresas: Celulosa y Derivados SA; Fibras Sintéticas SA; Fibras Nacionales de Acrílico y Celánese Mexicana SA.

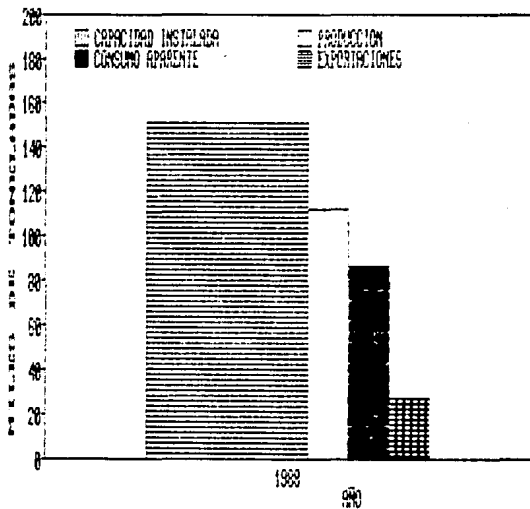
Es importante aclarar que esta última empresa tiene una planta que se localiza en Tzacapu, Mich., pero actualmente está fuera de operación.

En la gráfica IV.14 se puede observar que en la distribución de la capacidad instalada en 1967, dos empresas participan con cerca del 80% del total de la misma para las fibras acrílicas en el país, ellas son CRUSA y FIFISA.

Gráfico 19.12
 Evolución del Precio Promedio Nacional
 de Fibra Acrílica con el de Otros Países



Gráfica IV.13
 Mercado Nacional de la Fibra
 Acrílica durante 1988



Gráfica IV.14
Distribución de la Capacidad Instalada
de la Fibra Acrílica en 1968

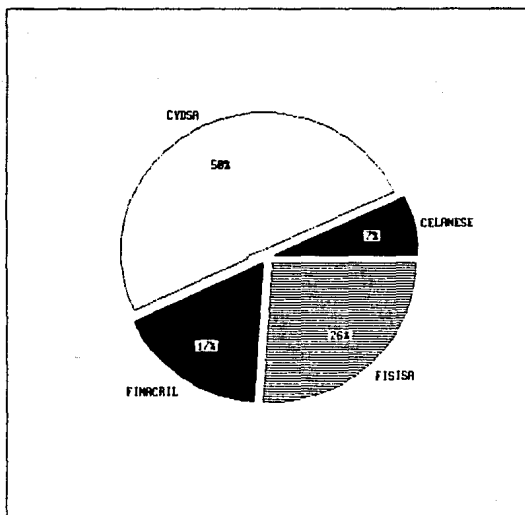


Tabla IV.12
Balanza Comercial de la Fibra
Acrilica durante 1988

Concepto	VOLUMEN (TONELADAS)	VALOR (MILLONES DE DOLARES)
IMPORTACIONES	1,077	0.13
EXPORTACIONES	5,701	60.20
SALDO	30,897	60.07

Durante 1988 se logro un crecimiento de 7.0% en la produccion de fibra acrilica al pasar de 104 mil toneladas en 1987 a 112 mil toneladas, y por lo que respecta al aprovechamiento de la planta productiva, esta fue de 74%.

Por otro lado, el consumo interno experimento un decremento de 2.3% con respecto al del ano anterior, lo que aunado al decremento experimentado en la produccion, se logro un aumento en las exportaciones.

Continuando con la tendencia historica, las importaciones de fibra acrilica durante 1988, resultaron ser minimas, aproximadamente del 1% del consumo aparente. En este ano se alcanzo el mas alto nivel de importaciones en todo el el periodo analizado, con 1,077 tons.

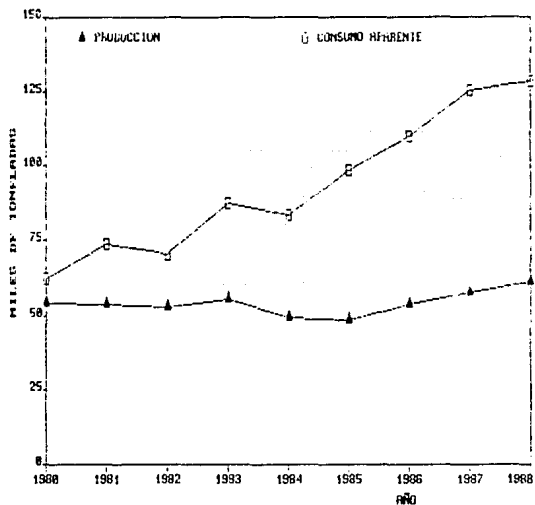
IV.2.4 Materias Primas.

Acrilonitrilo.-

El acrilonitrilo es un petroquimico basico elaborado en el pais unicamente por PEMEX, y cuya produccion se destina principalmente para obtener el poliacrilonitrilo, y en menor escala para producir resinas ABS, hule nitrilo y acrilatos.

La produccion nacional de este producto resulta insuficiente para cubrir la demanda interna, tal y como se muestra en la grafica IV.15.

Gráfica 19.15
Evolución del Mercado Nacional del Acetileno



Esta tendencia de la venta acrecentando aun más en los últimos años, y en gran medida se debe a la falta de capacidad instalada.

Para abastecer la demanda interna y atacar este problema ha sido necesario realizar importaciones considerables y crecientes. Por ejemplo para 1967 el volumen importado ascendió a 25,597 toneladas, lo cual represento el 46% en volumen del consumo aparente, y una fuga de divisas para el país cercana a los 40 millones de dolares.

Durante 1968 se importaron 27 mil toneladas con gasto bastante considerable de divisas cercano a los 50 millones de dolares.

Debe mencionarse que existen proyectos para ampliar la capacidad actual hasta en 150 mil toneladas al año, todos ellos de FEREX, y los estados actuales de los mismos son: 50 mil toneladas en construcción en Sn. Martín Texmelucan, Puebla; 50 mil toneladas en construcción en Morelos, Veracruz; y 50 mil toneladas en planeación en una localización aun no definida.

El primero espera arrancar operaciones a mediados de 1971, en tanto que para el segundo no se tiene aun fecha de arrancar posible.

IV.2.5 Perspectivas.

La aplicación de un análisis multi variable a los datos históricos del consumo interno de fibras artificiales sobre las mismas bases que se establecieron para determinar las proyecciones del consumo de las fibras nylon, y tomando en cuenta los mismos modelos de ecuaciones propuestos para esa fibra se hizo el establecimiento de las siguientes ecuaciones:

$$y = -98.4451265 + 0.0127464 x_1 + 1.3661441 x_2 \quad (13)$$

ecuación resultante para el primer modelo, y

$$y_t = 17.157452 + 0.0131115 x_t - 0.044415 x_{t-1} + 0.0024405 x_{t-2} \quad (4)$$

ecuación que se obtuvo considerando la interacción entre la población y el PIB tot en el segundo modelo.

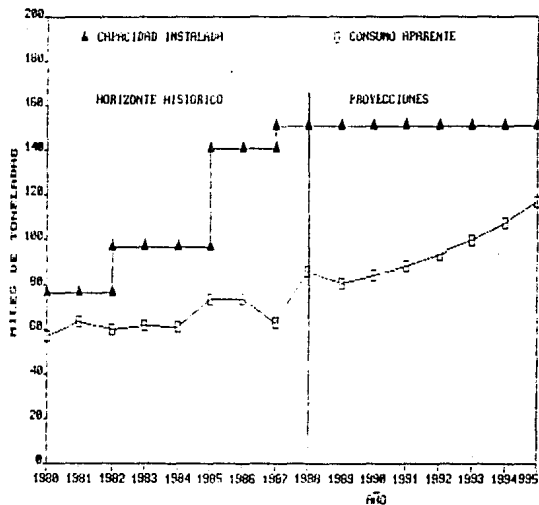
Finalmente se realizó un análisis de variancia para determinar cual de las dos ecuaciones resultaba más adecuada por ajustarse mejor a los datos, y para realizar con ella las proyecciones de la demanda de fibras acrílicas en los próximos años. Se determinó que la ecuación (4) representaba mejor los datos y con ella se elaboró las proyecciones de la demanda futura.

Los resultados de tales evaluaciones se muestran en la grafica IV.15, a partir de 1969, hasta 1995, incluyendo también en ella los datos históricos a manera de comparación con los datos calculados.

A partir de estos datos se observa que la demanda interna hasta 1995 quedará cubierta, ya que capacidad instalada hasta 1988 es suficiente para abastecer el mercado interno, pero habrá que optimizar el aprovechamiento de la misma a niveles de 75%.

La tendencia ascendente de las exportaciones será en los próximos tres o cuatro años, lo que determine el establecimiento de nuevos proyectos para ampliar la capacidad instalada, de lo contrario el mercado interno podría perderse con otros países.

Gráfica IV.16
 Perspectivas de la Fibra Acrilica



IV.3 FIBRA POLIPROPILENICA.

IV.3.1 Generalidades y Principales Propiedades.

La fibra polipropileno tambien conocida como olefinica, se obtiene mediante la extrusion de polimeros olefinicos, principalmente el polipropileno de alto grado de cristalinidad o polipropileno isotactico.

Aparte del polipropileno una pequena cantidad de polietileno es tambien convertida dentro de la fibra blanda para producir un monofilamento o filamento continuo usado en la fabricacion de redes de pesca, cordeleria y ropa en general.

El polimero de polipropileno isotactico es un polimero en donde las unidades del monomero son asimetricas y ordenadas de tal manera que cuando pasan a lo largo de una cadena simple de la unidad monomericas del polimero al lugar siguiente, la configuracion de la unidad se repite. Isotactico es un adjetivo cuyo significado es el de ubicar en el mismo orden.

La fibra polipropileno nacio con grandes esperanzas de convertirse rapidamente en un competidor directo de las poliamidas, los poliesteres, que ya estaban bien establecidas en el mercado, y de las acrilicas que iniciaban su participacion en grandes volumenes.

Se pensaba que existian muchos puntos a su favor. El primero era el menor costo, el segundo era el alto grado de sofisticacion que podia emplearse en la hilatura y el procesamiento de las fibras. Finalmente se pensaba que el consumidor estaba listo para aceptar, y quizas hasta exigir, algo nuevo y diferente.

Las limitaciones que comenzaron a aparecer de la fibra polipropileno, tales como sus pesimas caracteristicas de tenido, su baja estabilidad termica, asi como el inicio de la reduccion de los costos de las fibras ya existentes y su aumento de versatilidad (debido a la

optimización de los procesos de producción y a su consumación dentro de su demanda en el mercado), desvanecieron las esperanzas de un éxito rápido.

A pesar de estas desventajas, la fibra polipropileno tiene aplicaciones importantes y sus propiedades han promovido nuevas técnicas de fabricación y usos especializados. Dichas propiedades se sintetizan en la tabla IV.13.

La fibra polipropileno, también conocida como olefinica, se obtiene mediante la extrusión de polímeros olefinicos, principalmente polipropileno de alto grado de cristalinidad.

El método empleado para hilar el polímero es el de hilado fundido, salvo en rarísimos casos sobretodo en países desarrollados, en donde se usa el método de disolución del polímero en un solvente apropiado.

El monómero de polipropileno se funde en un reactor bajo atmósfera de hidrógeno ya que de lo contrario la cristalización del mismo en la etapa de extrusión puede afectarse y modificarse las propiedades de la fibra.

La temperatura de operación alcanza hasta los 150 °C y posteriormente a la salida del reactor el polímero se envía, a través de una bomba dosificadora, hacia el extrusor.

El polímero fundido es entonces extruido a través de un dispositivo con orificios múltiples, seguido por el estiramiento o prolongación de los filamentos que salen de los mismos. Las nebras son después entriadas por medio de un flujo perpendicular de aire, o en el caso de los monofilamentos (filamentos continuos), por medio de un baño de agua posterior a su salida del dispositivo hiladero.

Los filamentos solidificados son entonces enredados en un tubo en forma de carrete. El hilado fundido es usualmente seguido por tratamientos mecánicos posteriores para darle a las fibras las pro-

propiedades y textura requeridas según su aplicación final, a saber: entre otros, estirado, hilado, texturizado, doblado y devanado en carretes. En la figura IV.3 se representa en forma general el método de hilado por fusión del polímero, para la manufactura de fibras polipropilénicas.

Tabla IV.13
Principales Propiedades de la Fibra Polipropileno

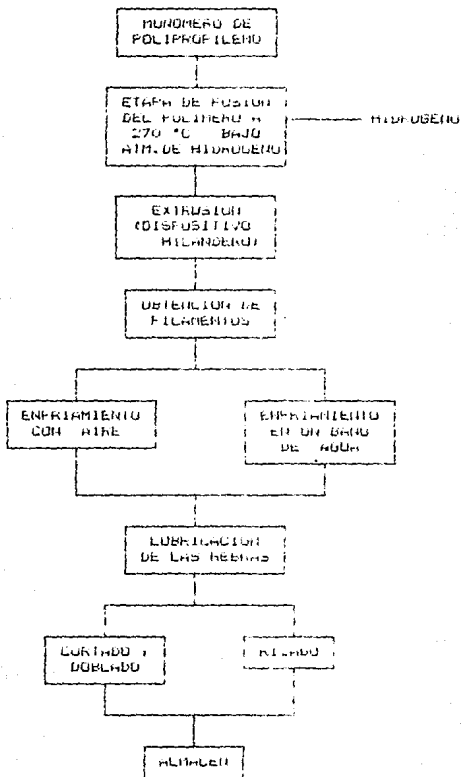
Propiedad	Valor
Peso molecular	120,000 - 420,000
Punto de fusión, °C	165 - 175
Gravedad específica	0.9
Fuerza de tensión, psi	5,000
Modulo de tensión, psi	190,000
Temperatura de distorsión, °C	
a 204 psi de esfuerzo	40.0
a 60 psi de esfuerzo	102.0
Esfuerzo de impacto, ft-lb/in	
1/2 in. recortada	1.5
Tenacidad, gf/den	1.5 - 1.7
Elongación a rotura, %	15 - 80
Sensitividad térmica, °C	
Punto de reblandecimiento	145 - 150
Conductividad térmica, en aire	0.0
Absorción de humedad, %	
(a 70 °C y 65%)	0

Fuente: Kirk-Othmer, Enciclopedia of Chemical Technology

IV.3.2 Usos

Las poliolefinas son, debido a sus propiedades químico biológicas, totalmente resistentes al ataque bacteriano, son inertes y no son afectadas por el agua. Se pueden producir monofilamentos que poseen resistencia alta, poco alargamiento bajo carga y una buena estabilidad dimensional a las temperaturas atmosféricas normales.

Figura IV.3
 Método de Hilado por Fusión
 para la Manufactura de Fibras Polipropilénicas



Debido a éstas y a otras propiedades físicoquímicas, los monofilamentos de poliolefinas tienen aplicaciones en la manufactura de cuerdos y sogas y para redes de pesca, aunque el uso quizá más importante de las fibras polipropilénicas está en las telas tejidas para servir de soporte a las alambres, una aplicación totalmente funcional en la que lo importante es el desempeño y no la apariencia. Esta aplicación era originalmente ocupada por el yute.

Otros usos comunes con la tela tejida a base de poliolefinas, es la fabricación de bolsas y costales para almacenar y/o transportar cereales y frutas en general y en la tapicería como forro de muebles.

IV.3.3 Mercado

La fibra polipropilénica no se produce íntegramente en nuestro país, aunque sí existen varias empresas que la elaboran a partir del polímero de polipropileno importado. De entre estas empresas la más importante es Industrias Polifil, S.A; perteneciente al grupo Filena.

Los primeros datos de producción que se tienen son de 1974 y corresponden a dos tipos diferentes de presentaciones: filamento y fibra corta, la gráfica IV.17 muestra la evolución de la producción y la capacidad de esta fibra en el periodo 1975-1986.

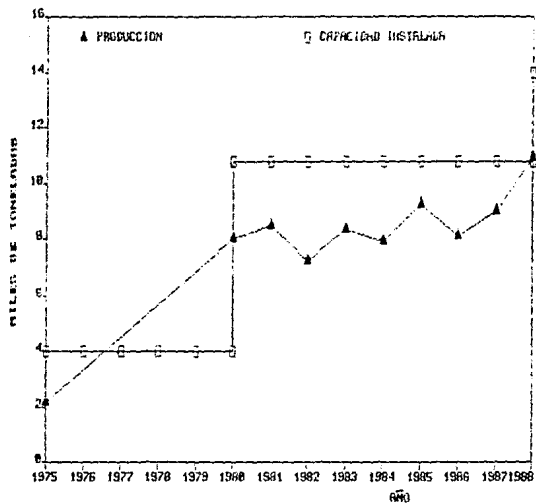
Como puede observarse en dicha gráfica y en la tabla IV.14, la fibra polipropileno normalmente había tenido niveles muy bajos tanto de producción como de capacidad instalada.

En 1975 se tenía apenas una producción de 2,100 toneladas con una capacidad instalada de 4,000 toneladas. Sin embargo ambas han ido creciendo y aunque sus niveles no alcanzan los logrados por las fibras nylon o por las acrílicas, en 1988 se incrementaron hasta establecerse en 14,000 toneladas de capacidad instalada y 10,904 toneladas de producción.

Tabla IV.14
Evolucion del Mercado de la Fibra Polipropileno
(Toneladas)

Año	Capacidad Instalada	Produccion	Exportacion	Importacion	Consumo Aparente
75	4,000	2,163	830	203	1,536
80	10,800	8,010	2,255	1,217	6,972
81	10,800	6,450	3,091	51	5,450
82	10,800	7,249	2,999	34	4,284
83	10,800	8,337	4,170	27	4,194
84	10,800	7,900	3,774	61	4,187
85	10,800	9,227	4,509	2,082	6,800
86	10,800	8,093	4,609	4,112	7,596
87	10,800	9,000	5,216	553	4,337
88	14,000	10,904	4,550	500	6,848

Gráfica IV.17
 Producción y Capacidad Instalada Nacional
 Fibra Polipropileno



En forma similar a la mayoría de las fibras sintéticas, la fibra polipropileno también ha tenido un bajo aprovechamiento de la capacidad instalada, en promedio de 74% a lo largo del periodo histórico analizado, aunque esto se debe principalmente a que la demanda interna había sido muy baja. hasta apenas en 1988 se alcanzó el más alto porcentaje de aprovechamiento de la planta productiva con un cerca de un 78%.

La producción nacional de fibra polipropileno ha sido suficiente para cubrir la demanda local de este producto tal y como se observa en la gráfica IV.18 mas que nada por los niveles tan bajos de demanda interna.

Debido precisamente a que la demanda interna ha sido baja, esto también se ha venido reflejando en las exportaciones, ya que aunque en volúmenes pequeños, estas siempre se han mantenido, e incluso tienen cierta tendencia hacia la alza, tal y como se observa en la gráfica IV.19.

En la tabla IV.14 muestra que la demanda interna de esta fibra ha sido cubierta por la producción local, sin embargo a pesar de esto se ha tenido que importar el producto, debido en gran medida a la demanda externa, mas que por la interna.

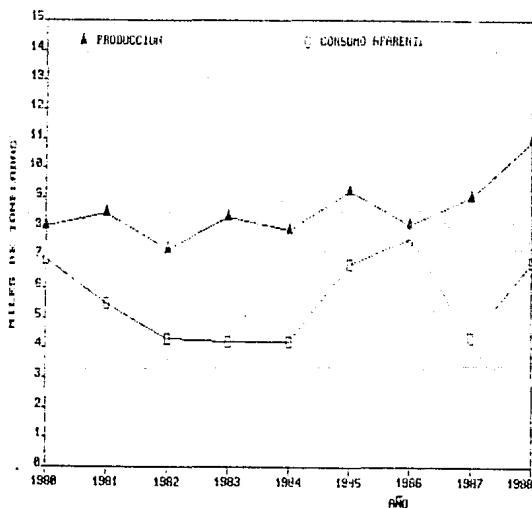
A pesar de esto los niveles de importación siempre han sido bajos, en promedio del 12% de la demanda interna, salvo en 1988 en que se importaron 4,009 toneladas debido al exceso de consumo interno, pues es precisamente 1988 el año en que se tuvo la mayor demanda interna del periodo analizado.

La situación anterior se debe al hecho de que tanto la producción como el consumo se han mantenido en un nivel casi constante, aunque la producción ha tenido siempre niveles superiores. Esto a permitido contar con una balanza comercial positiva (ver tabla IV.15) para las fibras polipropileno desde 1980.

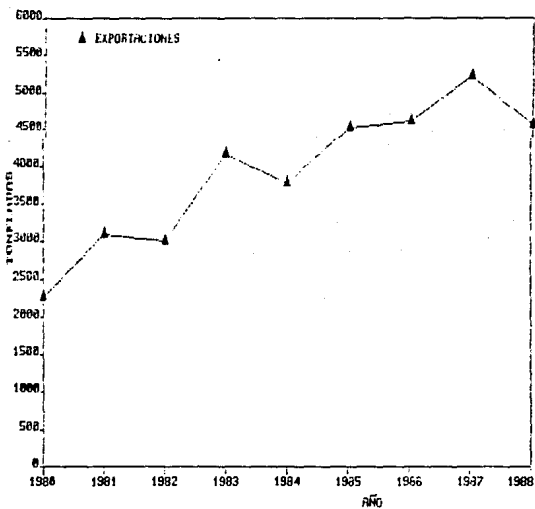
Tabla IV.15
Saldo de la Balanza Comercial de la Fibra Polipropileno

Año	Volumen (Toneladas)	Valor (Millones Dóls)
1980	584	3.9
1981	2,040	5.6
1982	2,965	3.8
1983	4,143	6.4
1984	3,711	5.6
1985	2,427	7.5
1986	471	4.0
1987	4,000	8.2
1988	4,717	8.6

Gráfica IV.18
Evolución de la Oferta y Demanda Nacional
de la Fibra Polipropileno



Gráfica IV.19
Evolución de las Exportaciones
Fibra Polipropilénica



Precios.-

El precio nacional de fibra polipropilénica (e precios de 1980). Disminuyó en 25% en el periodo de 1980 a 1988, al pasar de 101.3 pesos/lq a 98.4 pesos/lq. En valores corrientes, este tuvo un incremento de 1640% al pasar de \$131.3 a \$2154.5 por kilo, aun así los precios en el mercado interno son más altos que los que rigen en el mercado internacional, salvo en los años de 1983 y 1984, en que estuvieron en promedio 20% más bajos.

La gráfica IV.20 muestra la evolución de los precios nacionales, y la gráfica IV.21 la comparación de estos, con respecto a los precios internacionales.

En síntesis el año de 1988 se caracterizó por un incremento tanto en capacidad instalada como en la producción, un decremento en las importaciones, así como también como un incremento del consumo aparente con respecto a 1987.

La capacidad instalada tuvo un incremento del 23% con respecto a 1987 mal pasar de 10,800 a 14,000 toneladas, en tanto que la producción experimentó un crecimiento del 17% al pasar de 9,000 a 10,904 toneladas.

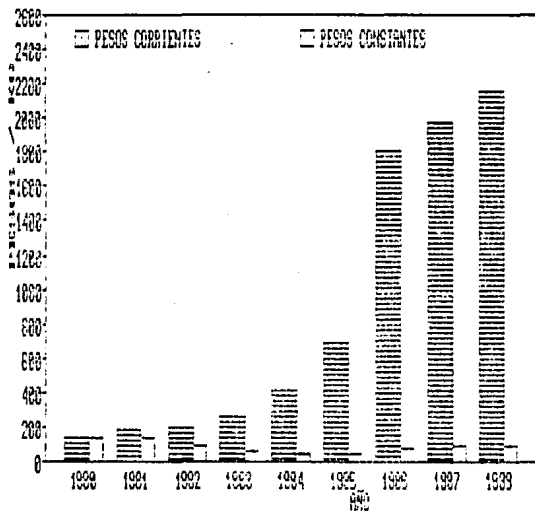
Debido a que el consumo interno se incremento, el nivel de importaciones también sufrió un decremento, y como la producción fue suficiente para abastecer la demanda interna, las exportaciones disminuyeron ligeramente.

En la gráfica IV.22 se muestra la situación de esta fibra en 1988.

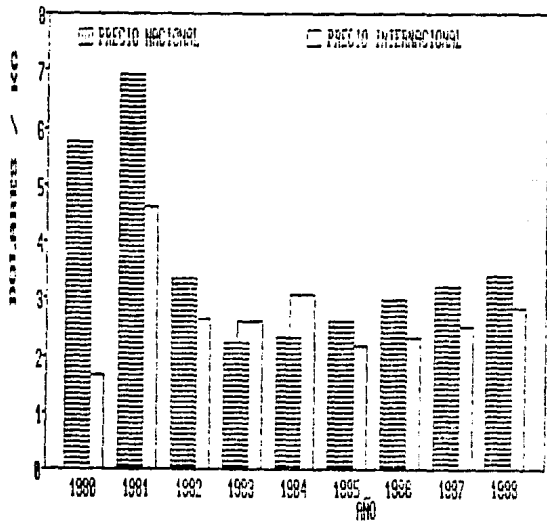
IV.3.4 Materias Primas.

La fibra polipropileno se produce en nuestro país a partir de un polímero de polipropileno importado, ya que como ya se había mencionado este producto no se produce en el país.

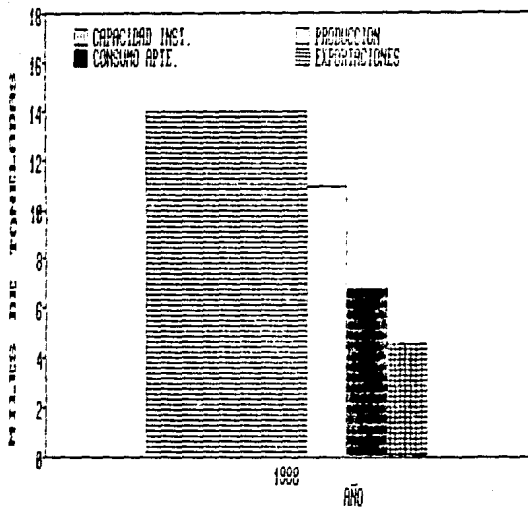
Gráfica IV.21
Evolución del Precio de la
Fibra Polipropilénica en el país



Gráfica IV.22
 Comparación del Precio Nacional de la
 Fibra Polipropilénica con el Internacional



Gráfica IV.23
 Mercado Nacional de la Fibra
 Polipropilénica durante 1986



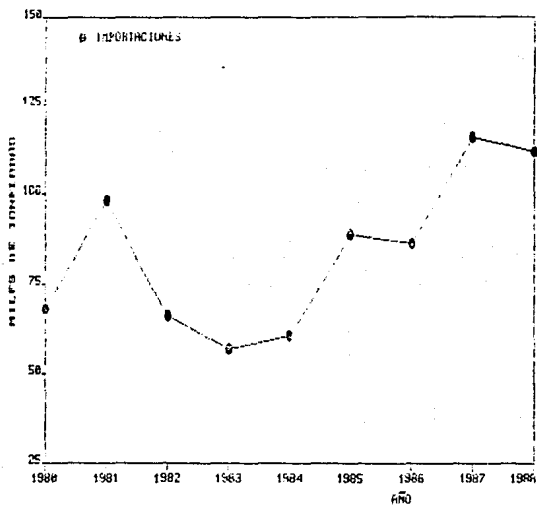
Femsa tiene un proyecto para producir 100 mil toneladas por año de polímero de polipropileno, está en Morelos, Veracruz, el cual está en etapa de construcción y se espera que arranque a principios de 1991.

A la iniciativa privada se le otorgó un permiso para producir 50 mil toneladas por año, pero en este caso aún se desconoce la posible fecha de arranque. Aunque en ambos proyectos se tiene planeado producir polipropileno grado resina, se podría también obtener el polímero para la fibra.

Para ilustrar el comportamiento que han tenido las importaciones del polímero de polipropileno para producir la fibra, se muestra la gráfica IV.24. Es importante señalar que debido a que esta materia prima no se produce en el país, el consumo aparente es igual a las importaciones.

Durante 1988 el volumen importado ascendió a 115,984 toneladas, lo cual representó una fuga de divisas cercana a los 120 millones de dólares.

Gráfica IV.24
Importaciones de Polímero de Polipropileno



IV.3.5 Perspectivas.

Al establecer un escenario apropiado para el mercado de las fibras polipropilénicas se partió de la base de la realización de un análisis multivariable similar al descrito para obtener las proyecciones de la fibra nylon, de tal forma que los modelos de ecuaciones resultantes fueron los siguientes:

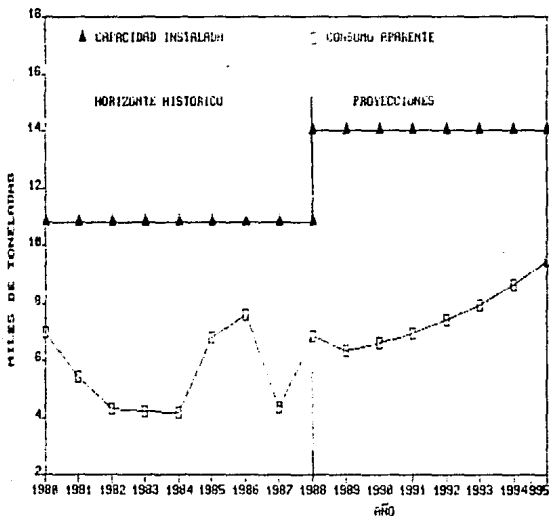
$$y = -10.711991 + 0.002272 x_1 + 0.0714728 x_2 \quad (5)$$

$$y = -8.2619973 + 0.0019261 x_1 + 0.0203815 x_2 + 0.0000082 x_1 x_2 \quad (6)$$

Al final la aplicación del análisis de variancia para escoger la ecuación que mejor proyectara los datos determinó que la ecuación (6) resultaba más satisfactoria y con ella se realizaron los cálculos de las proyecciones que se muestran en la gráfica IV.25.

En esta gráfica también se muestran los datos históricos para así comparar la tendencia general de las proyecciones con los datos proyectados. En ella se puede observar que para 1995 la demanda interna quedará cubierta por la capacidad instalada actual. Para ese año se requerirán de 9,475 toneladas para satisfacer la el consumo aparente de esta fibra. El aspecto más importante aquí, será el de optimizar la capacidad instalada a niveles de 70%, para ese año.

Gráfica IV.25
 Perspectivas de la Fibra Polipropilénica



IV.4. FIBRAS ELASTOMERICAS.

IV.4.1. Generalidades .

Las técnicas de producción experimental de fibras elastoméricas basadas en polímeros de uretano, inicialmente se reportaron cerca de 1940. Fue sin embargo hasta 1950 cuando las fibras elastoméricas iniciaron su producción a nivel planta piloto, esto gracias a los trabajos de la U.S. Rubber Co. y la E.I. duPont Nemours Co. Inc.

Poco tiempo después se introdujeron al mercado bajo una escala semi-comercial. Estas fibras fueron conocidas bajo la designación genérica de "spandex". Este término es comúnmente usado ahora a nivel comercial para referirse a las fibras basadas en polímeros elastoméricos de uretano.

Las fibras elastoméricas se caracterizan por ser esencialmente un polímero lineal compuesto de segmentos blandos y duros. La parte blanda, flexible y de bajo punto de fusión, suele ser un poliéter alifático o un poliéster con grupos oxidrilos terminales, con un grado de polimerización parcial, de entre 10 y 15%. La porción dura se obtiene con un diisocianato aromático en cantidades tales que reaccione con los grupos terminales del poliéter o poliéster, para formar grupos uretano.

El producto que es un compuesto intermedio al que se le llama pre-polímero, es un líquido espeso formado esencialmente por moléculas con grupos isocianato activos en ambos extremos.

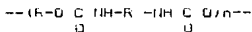
El polímero elastomérico se prepara "extendiéndolo" al hacerlo reaccionar con glicoles de cadena corta o diaminas, con lo que se completa la formación de los grupos duros, entre las cadenas blandas y flexibles.

La conversión de estos polímeros en fibras de valor práctico, puede

llevarse a cabo en procesos de hilado seco, hilado humedo, o por fusión, dependiendo del tipo de polímero. Se pueden incorporar aditivos para aumentar la resistencia a la oxidación y a la acción ultravioleta ya sea en los baños de hilatura o en el polímero fundido.

Las principales propiedades de las fibras spandex pueden variar en un rango relativamente amplio dependiendo básicamente de las características de las materias primas empleadas en su fabricación. En la tabla IV.16 se sintetizan las principales propiedades de las fibras spandex o elastoméricas. Los valores de las mismas caen en un rango determinado, y este es función como ya se dijo, de las materias primas de que se parta para la elaboración de la fibra.

Por definición, el spandex está constituido de polímeros de uretano. Además, también por definición, cualquier polímero que contiene conexiones de uretano en la estructura repetida



puede ser clasificado como un polímero de uretano. El número de polímeros en esta clasificación es obviamente muy grande.

Muchos polímeros de uretano en uso común para la manufactura de spandex son elaborados por la reacción de un poliéster o un glicol poliésterico de aproximadamente 2000 lb/lbmol de peso molecular con un diisocianato, en una relación molar de 1:2.

El proceso es seguido por la reacción del prepolímero de isocianato resultante con una diamina, para producir un polímero de uretano de alto peso molecular.

El promedio de unidades repetidas de la molécula del polímero contiene una cadena de poliéster o poliéster de 2000 de peso molecular, dos eslabones de uretano, dos residuos del diisocianato y un eslabón de urea.

Tabla IV.1b
Principales Propiedades de las
Fibras Spandex o Elastoméricas.

Propiedad	Valor
Tamaño disponible, tex , den (b)	2.2 -- 260 20 -- 3200
Tenacidad, N/tex (a)	0.05 -- 0.07
Elongación, %	500 -- 600
Módulo (a 500% de elongación) , N/tex	0.013 -- 0.022
Resistencia a la luz U.V. ozono, nitrógeno y óxidos	Buena (a exposiciones de luz U.V. lentamente se torna amarilla)
Resistencia al cloro activo	Buena (se torna amarillo a exposi- cion continua)
Resistencia a aceites y grasas (corporales, cosméticos, etc)	Buena
Habilidad para colorearse	Facilmente se colorea en una amplia variedad de colores
Resistencia a la abrasion	Muy buena

(a) el tamaño del spandex se expresa en denier, el cual es el peso de 9000 m. de longitud del filamento. En el sistema internacional el tex es el peso en g/1000 m. de longitud

(b) Para convertir de N/tex a g/den multiplicar por 11.33

Fuente: Kirk-Othmer, Enciclopedia of Chemical Technology

Las principales propiedades pueden entonces ser afectadas por el glicol polieterico, el poliester particular, el diisocianato y la diamina usados, y estas pueden ser tambien marcadamente modificadas por cambios en el peso molecular del glicol y por cambios en la relacion molecular glicol-diisocianato usada.

Si bien las fibras spandex pueden ser producidas con una amplia variedad de arreglos de propiedades mecánicas, hay un rango relativamente estrecho para todas las fibras elastomericas comerciales debido al uso final que se les da, a las limitaciones de materias primas disponibles y a las limitaciones de equipo.

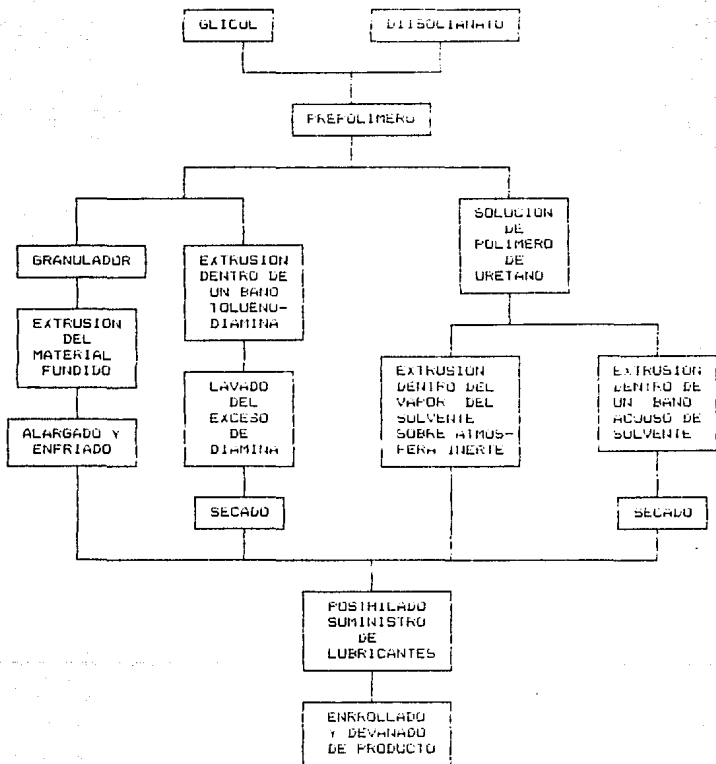
Las fibras elastomericas están, entonces constituidas por un polimero lineal compuesto de segmentos blandos y duros. Los segmentos blandos son derivados de poliesteres o polieteres de cadena larga, mientras que los segmentos duros son derivados de diisocianatos aromaticos.

Pues bien, el spandex es producido comercialmente por cuatro diferentes procesos -extrusion por fusion, hilado por reaccion, hilado seco por solución, e hilado humedo por solución-, aunque hay otras aproximaciones tales como el hilado via emulsion, y el cortado o doblado en sábanas, estas no están ahora en uso comercial.

Tal y como se observa en la figura IV.4, todos los procesos envuelven aplicaciones prácticas pero de química basicamente similar.

Un paquete de copolimero es formado por la reaccion de un glicol poliesterico con un peso molecular de 1000-3000, un glicol polieterico, una mezcla de glicol polieterico-poliester, una policaprolactona terminal y cualquier mezcla de los anteriores con un diisocianato en una relacion molar 1:2 a partir de un prepolimero, el cual posteriormente reacciona con un diol o una diamina de bajo peso molecular en relacion aproximadamente estequiometrica.

Figura 19.4
 Metodos de Produccion de la
 Fibra Spandex o Elastomerica



Si la reacción de la diamina o el diol con el prepolímero se lleva a cabo en un solvente, el paquete de solución de copolímero de uretano resultante puede filamentarse o hacerse hilos por vía seca o húmeda. Alternativamente, el prepolímero puede hilarse por reacción mediante la extrusión dentro de un baño acuoso o no acuoso de diamina para formar la fibra y comenzar la polimerización simultáneamente, o bien, se puede permitir que el prepolímero reaccione en volumen con un diol y, el bloque de copolímero resultante es extruido en forma de fibras. En lo que respecta a los productores nacionales, en el país sólo existe uno, y es Nylon de México, el cual utiliza tecnología americana. Específicamente, su licenciador es E. I duPont de Nemours & Co. Inc. empresa que a finales de 1950 introdujo la fibra al mercado de los U.S.A.

IV.4.2 Usos .

Las fibras elastoméricas a pesar de tener un precio relativamente alto y de que su disponibilidad en el mercado es reciente, han podido capturar una porción sustancial del mercado de otras fibras elásticas. Esto se ha debido fundamentalmente a sus características particulares, entre las cuales destaca el "poder de sustentación", esta característica permite que los artículos de vestir, como la ropa íntima para damas, sean considerablemente más ligeras y durables.

Además de esta característica, existen otras como la de poder ser tejidas, teñidas y tener buena resistencia química a los detergentes y secreciones del cuerpo humano.

Los usos principales de las fibras elastoméricas se sitúan en seis áreas fundamentales:

- a) Fabricación de tela elástica, destinada a la confección de prendas íntimas tales como brassieres, fajas y en general ropa íntima de damas.
- b) Resortes para pantimedias, tejidos en la cintura o parte superior de las mismas.
- c) Medias elásticas de soporte.
- d) Cintas y tiras elásticas (pantaletas, corsetería, cruces).
- e) Calcetines y puños para calcetines.
- f) tejidos planos en combinación con otras fibras, para darle elasticidad a la tela (pantalones, sacos, faldas, etc).

IV.4.3 Mercado

La producción de fibras elastoméricas, también conocidas como fibras spandex, se inicia en 1976 a través de la empresa Derivados Sintéticos, S.A.

Durante el periodo 1980-1988 experimentaron un dinámico crecimiento aumentando su capacidad instalada en poco más de 235% y la producción en cerca del 225%. Fuese al gran incremento registrado, en 1988 solo contribuyeron con el 0.14% y el 0.20% de la capacidad instalada y la producción global de fibras químicas respectivamente. En la tabla IV.17 se muestran los datos históricos a cerca de estos conceptos para las fibras elastoméricas.

La importancia de este tipo de fibras en el mercado nacional de las fibras químicas es sin embargo muy trascendente, no por los niveles de producción, capacidad instalada o consumo que tienen, sino más que nada porque su utilidad, en combinación con el resto de las fibras, como auxiliar en muy diversos tipos de accesorios elásticos, y sobre todo en las partes ajustables de todo tipo de ropa.

Tabla IV.17
Evolución del Mercado de la Fibra Elastomérica
(toneladas)

Año	Capacidad Instalada	Producción	Exportación	Importación	Consumo Aparente
80	325	286	---	145	431
81	389	340	---	69	429
82	520	372	---	65	437
83	520	390	---	11	402
84	520	400	---	76	476
85	750	632	---	40	672
86	750	602	---	30	632
87	750	615	---	146	761
88	770	636	---	15	651

En grafica IV.2a se muestra el desarrollo de la fibra elastomerica en el periodo mencionado. En ella se observa que los niveles tanto de capacidad instalada, como de produccion, aunque van incrementandose a grandes pasos, aun siguen siendo bajos en comparacion con las demas fibras.

Respecto al abasto del mercado nacional, la oferta de fibra elastomerica en el periodo analizado ha ido en ascenso, ya que de cubrir en 1980 el 66.4% de la demanda nacional, se incremento hasta cerca del 98.0% en 1988, sin embargo en todo el periodo historico nunca la produccion ha cubierto en forma adecuada la demanda interna. Este comportamiento se ilustra de mejor forma en la grafica IV.2b.

Las importaciones de fibra elastomerica en el periodo descrito, tal y como se aprecia en la grafica IV.2c se comportaron con una tendencia decreciente, excepto en 1987 en que se importaron 146 toneladas, ya que de representar el 37% del consumo aparente en 1980, descendieron en 1988 a 2.3%. Por otro lado, aun no se han hecho exportaciones de esta fibra.

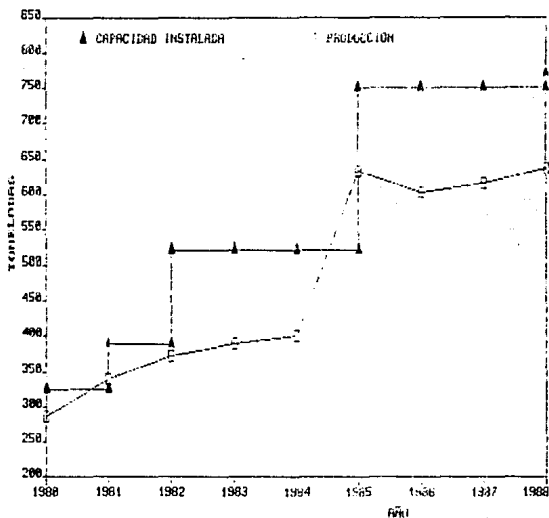
Debido a la nula exportacion y a pesar de la tendencia a la baja en las importaciones de esta fibra, el saldo de la balanza comercial es por tanto deficitario. En el periodo 1980-1988 ascendio a un total acumulado de 12.7 millones de dolares, pero a pesar de esto, en la tabla IV.18 se muestra la tendencia clara a la disminucion de este deficit.

Tabla IV.18
BALANZA COMERCIAL DE LAS
FIBRAS ELASTOMERICAS (MILLONES DE DOLARES)

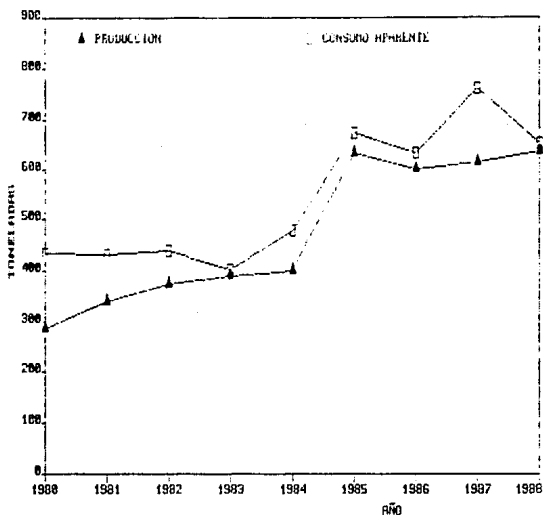
Año	80	81	82	83	84	85	86	87	88	Acumulado
Valor	(2.0)	(1.1)	(0.8)	(0.1)	(5.2)	(0.8)	(0.3)	(1.6)	(0.3)	(12.8)

Nota: Las cifras en parentesis indican valores negativos del saldo.

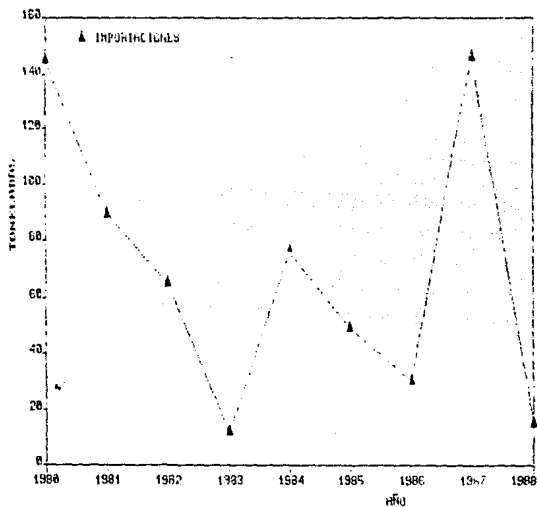
Gráfica IV.26
 Desarrollo de la Capacidad Instalada y Producción
 de la Fibra Elastomérica en México



Gráfica IV.27
 Evolución de la Oferta-Demanda
 de la Fibra Elastomerica en México



Gráfica IV.26
Evolución de las importaciones de la
Fibra Elástica en México



Precios.-

Las fibras elastomericas se caracterizan por tener un alto costo de produccion y por consiguiente precios altos en comparacion con el resto de las fibras analizadas.

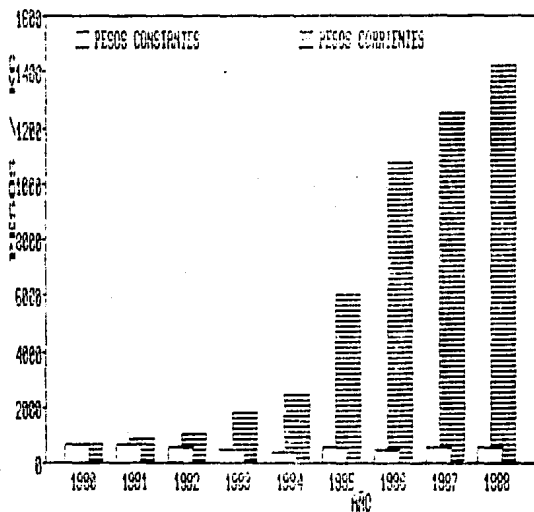
En 1988, el precio promedio fue de \$14,1.4 por kg. superior al de 1987 en 200%. Si se analiza este mismo aspecto a pesos constantes de 1987 en realidad hubo un decremento en este rubro de 15%, aunque puede considerarse, tal y como se muestra en la grafica IV.24, que en pesos constantes de 1987 el precio ha tendido a la baja, a pesar de que las variaciones no han sido muy relevantes.

En la grafica IV.30 se ilustra como el precio nacional ha sido tradicionalmente superior al internacional, excepto en el año de 1984 en el que el precio internacional fue aproximadamente 25% mayor al nacional.

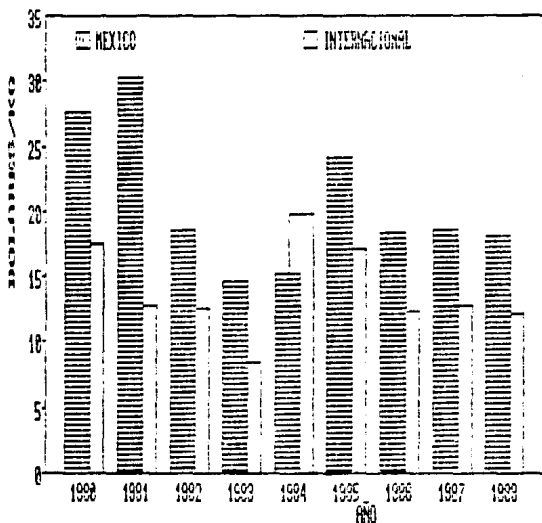
Durante 1988, la capacidad para producir fibra elastomerica aumento en un 2.6% con respecto a 1987, al pasar de 750 a 770 toneladas. Por otro lado, la produccion tuvo un ligero incremento al pasar de 602 a 615 toneladas en 1988, lo cual represento un aumento del 2.0%.

Por lo que respecta al comercio exterior, hubo un gran decremento en el volumen de importaciones, sobretudo con respecto a 1987, ya que de 146 toneladas se paso a tan solo a 15, con lo que se llega uno de los niveles mas bajos de todo el periodo historico, esto debido principalmente al volumen de produccion obtenido, el cual fue el mas alto de todos los anteriormente logrados. En lo referente a las exportaciones, de acuerdo a la tendencia historica, no se realizaron en 1987. Por su parte, la demanda interna experimento un decremento del 15% con respecto a 1987, al pasar de 761 a 651 toneladas en 1987. Este decremento estuvo sustentado en el aumento considerable de los precios internos y a la crisis economica que resiente la mayor parte de la poblacion.

Gráfica IV.29
Evolución del Precio de la Fibra Elastomerica en el país



Gráfica IV.30
 Comparación del Precio Nacional de
 Fibra Elastomerica con el Internacional



En la gráfica IV.31 se sintetizan todos estos aspectos a manera de comparación de estas variables del mercado de la fibra elastomerica. Con respecto a la balanza comercial, para 1988 esta arroja un déficit de 0.2 millones de dolares, que comparados con los 1.6 millones de dolares gastados en 1987, representaron un decremento del 67% y por tanto un ahorro de 1.4 millones de dolares al país.

IV.4.4 Materias Primas.

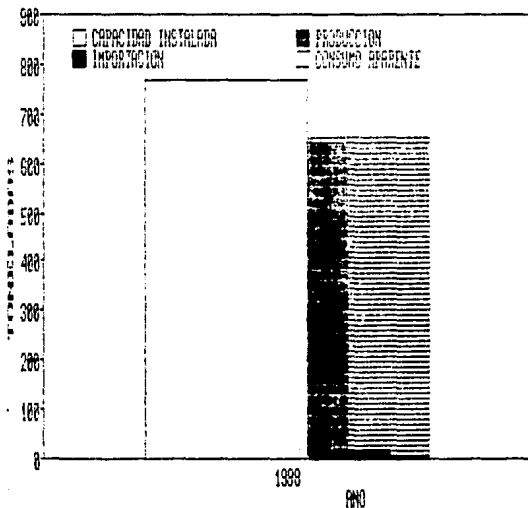
Las principales materias primas son los isocianatos de metilendifenilo y sus homologos así como los glicoles polietericos.

Los primeros no se fabrican actualmente en México, debido a su bajo consumo interno, alto costo de instalaciones de fabricación y rígidas especificaciones de pureza.

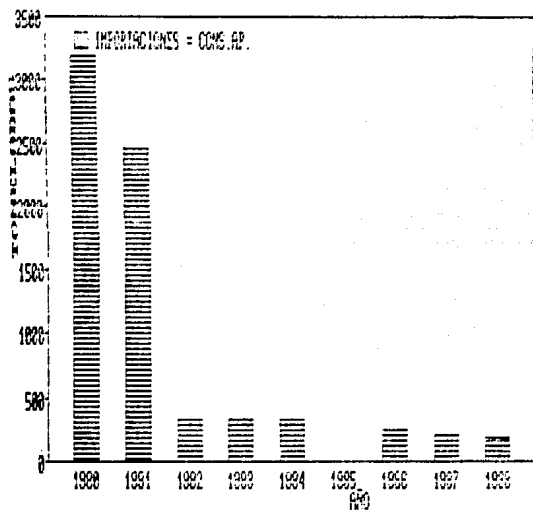
Se considera que es muy poco probable que haya producción local en un futuro próximo. La gráfica IV.32 muestra la evolución en el consumo de este producto en el periodo 1969-1988.

Por su parte los glicoles polietericos son fabricados por tres empresas, a saber, Polioles, S.A; Polieteres Bayer, S.A e Industrias Derivadas del Etileno, S.A. La oferta nacional de este producto no abastece en forma adecuada la demanda, sin embargo en los últimos años la producción ha cubierto satisfactoriamente la demanda interna. La gráfica IV.33 ilustra el desarrollo del mercado de este petroquímico.

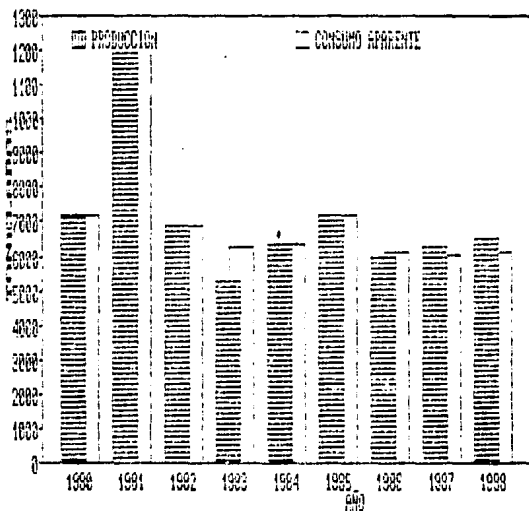
Gráfica IV.31
Mercado Nacional de la Fibra Elastomérica
Durante 1988



Gráfica 11.3.
Evolución del Consumo Aparente
de los Isocianatos de Metilendiniteno



Gráfica IV.33
Evolución del Mercado Nacional
de los Glicoles Polietericos



IV.4.5 Perspectivas.

Tal y como se hizo con las fibras nylon, la aplicación del análisis multivariable a los datos de las fibras elastoméricas resulta en el establecimiento de los siguientes modelos de ecuaciones:

$$y = -1261.1213 + 0.0329675 X_1 + 21.815541 X_2 \quad (7)$$

$$y = 1113.2844 - 0.5536109 X_1 - 12.07672 X_2 + 0.0082249 X_1 X_2 \quad (8)$$

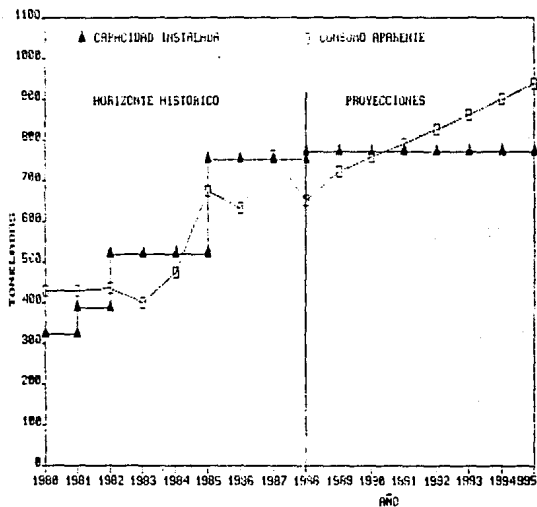
Posteriormente un análisis de varianza demostró que el primer modelo es más adecuado para proyectar los datos del consumo aparente de fibras elastoméricas en los años próximos, y con éste, se hicieron las proyecciones.

En la gráfica IV.34 se muestran los resultados de dicho análisis junto con los datos históricos de la fibra para de esta forma compararlos con los datos calculados.

En dicha gráfica se observa que para 1995 habrá un demanda de 939 toneladas, las cuales no serán cubiertas por la capacidad instalada actual de 770 toneladas, por lo que es urgente el desarrollo de nuevos proyectos de la planta productiva. Se requeriría de por lo menos implementar uno por 170 toneladas/año para así satisfacer los requerimientos hasta 1995.

Sin embargo en lo referente a posibles ampliaciones de la capacidad instalada, en la literatura no se reportan, y serán quizá los volúmenes de exportaciones los que favorezcan el terreno para la posible ampliación de la planta productiva.

Grafica IV.34
 Perspectivas de la Demanda de
 Fibra Elastomerica



IV.5 FIBRA DE ACETATO DE CELULOSA.

IV.5.1 Generalidades

Segun la definicion de la Federal Trade Center de los U.S.A. la fibra acetato de celulosa es aquella formada con celulosa con un grado de acetilación de cuando menos 15%.

En la práctica comercial si este grado de acetilación es cercano a 80% la fibra se denomina como diacetato de celulosa , y cuando es de 92% o superior, se le conoce como triacetato de celulosa.

La fibra de acetato es la segunda fibra sintetica desarrollada despues del rayon, y en su elaboracion ademas de la celulosa misma se emplea el anhídrido y el acido acetico, por lo que se incluye dentro de las fibras de origen petroquímico.

Esta fibra presenta blancura natural, facilidad para el tejido, en forma de tela es suave y proporciona cierto "comfort" y cierta resistencia al arrugado. Sin embargo, debido a su relativa debilidad y baja resistencia a la abrasion, tanto a nivel mundial como en nuestro país, su empleo en la industria textil ha ido disminuyendo paulatinamente y su lugar esta siendo ocupado por la fibra poliester y por la fibra nylon principalmente, aun cuando los precios de estas ultimas es superior.

La fibra de acetato de celulosa es de las llamadas fibras termoplásticas ya que sus propiedades mecanicas dependen de la temperatura. En la tabla IV.19 se muestran los valores numericos de sus propiedades mas importantes.

En el método comunmente utilizado para obtener el acetato de celulosa, la madera es acetilada con anhídrido acetico en una solucion de acido acetico, empleando acido sulfurico como catalizador.

Después que la reacción es llevada a cabo, el polímero resultante se hidroliza con agua, acetato de magnesio. Cuando el nivel de acetilación buscado es alcanzado, el ácido sulfúrico remanente es neutralizado con solución acuosa de acetato de magnesio adicional, para posteriormente ser precipitado en forma de coque al agregar ácido acético diluido.

El acetato secundario obtenido se lava y se seca y luego es hilado disolviéndolo en una mezcla de acetona y agua. Esta solución se alimenta a un dispositivo con orificios múltiples en donde se obtiene el filamento mediante secado.

Posteriormente la fibra es lubricada para el final aplicarle los últimos tratamientos en el equipo textil, y darle la textura y calidades requeridas. En la figura IV.5 se muestra el método de hilado húmedo para la obtención de la fibra de acetato de celulosa.

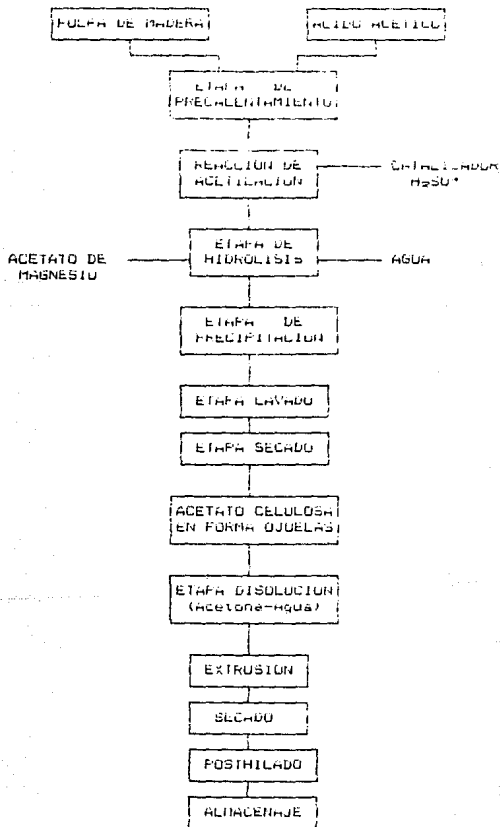
Si se desea obtener el acetato en forma de triacetato, la etapa de hidrolización no se realiza y la solución anterior a la hilatura se tiene que hacer con una mezcla de cloruro de metileno y metanol.

Celanese Mexicana es el único productor de esta fibra en el país y la tecnología que emplea en su proceso es de origen estadounidense. El licenciador de dicha tecnología es Celanese Corporation, el cual en su proceso se basa en el uso de ácido acético glacial como solvente. A nivel internacional esta misma tecnología es utilizada por diversos países, ya que por esta vía se garantizan los mejores rendimientos, según lo ha demostrado la experiencia.

IV.5.2 Usos

La fibra de acetato de Celulosa se destina básicamente para dos mercados: Industria textil y cigarrera. En el primer caso sus propiedades características de apariencia agradable, gran facilidad para el tejido

Figura 14.5
 Metodo de Hilado Humedo
 para la Manufactura de la Fibra acetato de Celulosa



y tersura, han hecho que la principal aplicación textil sea la fabricación de ropa, principalmente para mujer, ropa interior, de noche, batas, etc. En general el consumo de la fibra acetato de celulosa en este mercado se ha mantenido, y en los últimos años ha tendido a la baja.

Tabla IV.17
Propiedades de la Fibra de Acetato de Celulosa

PROPIEDADES	VALOR
Tenacidad a rotura, N/tes	0.10 -- 0.12
Elongación a rotura, %	25 -- 45
Modulo inicial, N/tes	.1.7
Densidad relativa	1.30 -- 1.32
Temperatura de fusión, °C	260 -- 300

Fuente: Kirk-Othmer, Enciclopedia of Chemical Technology

IV.5.3 Mercado.

La producción de fibra de acetato de celulosa, es de las más antiguas en el país, se inició de hecho en 1947, cuando Celanese Mexicana instaló en Ocotlán, Jalisco una planta con el propósito de iniciar la fabricación de esta fibra.

Durante el periodo de 1975-1988, la capacidad instalada global aumento solo 1500 toneladas, lo cual arroja un crecimiento de 0.6% anual el más bajo de todas la fibras químicas fabricadas en el país, en términos de porcentaje anual de crecimiento.

Por lo que respecta a la producción, el crecimiento en el mismo periodo fue negativo (0.025% en promedio anual) ya que de 14,215 toneladas en 1975, descendió a 14,272 toneladas en 1988. En la gráfica IV.35 y tabla IV.20 se muestra la evolución de la estructura productiva de esta fibra desde 1975.

Por lo que se refiere al abasto del mercado nacional, la oferta de la fibra acetato permitió, a lo largo del periodo analizado, cubrir en forma adecuada la demanda nacional, esto se demuestra en la gráfica IV.36.

Aun cuando se han realizado importaciones de fibra de acetato de celulosa, estas han sido de tipo marginal, ya que durante el periodo analizado el total acumulado ascendió a solo 1,100 toneladas, y el promedio anual esta abajo del 1% del consumo aparente.

Por lo que respecta a las exportaciones, como se muestra en la gráfica IV.37 estas han tendido hacia la alza, sobretodo porque en los últimos años la producción ha alcanzado sus mas altos niveles de todo el periodo, y además porque el consumo aparente empieza a decaer.

Como reflejo de lo anterior, el saldo de la balanza comercial de la fibra acetato de celulosa en el periodo analizado resulto ser siempre superavitario lo que ha permitido que el país tener ingresos de divisas.

En 1988 el superavit ascendió a 6.8 millones de dolares y el acumulado para 1980-1988 fue de 44.9 millones de dolares.

En la tabla IV.21 se ilustra la evolución de la balanza comercial de esta fibra, en el periodo historico analizado.

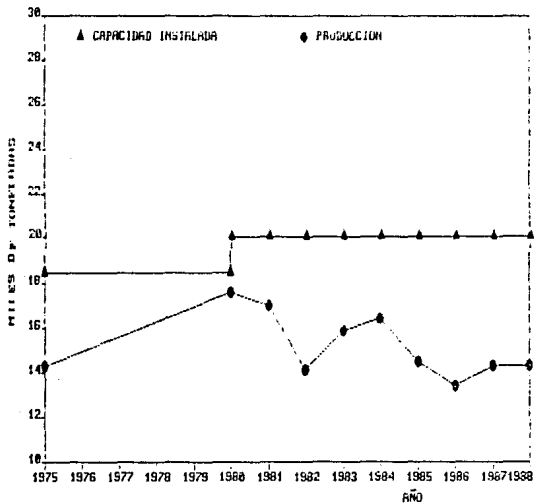
Tabla IV.20
Desarrollo Histórico del Mercado
de la Fibra Acetato de Celulosa
(Miles de toneladas)

Año	Capacidad Instalada	Producción	Exportación	Importación	Consumo Aparente
80	20.000	17.611	2.692	----	13.205
81	20.000	16.988	2.698	----	14.890
82	20.000	14.053	2.244	----	11.809
83	20.000	15.913	1.765	----	14.148
84	20.000	16.407	3.906	----	12.501
85	20.000	14.534	1.947	----	12.587
86	20.000	13.449	3.924	----	9.525
87	20.000	14.284	4.675	0.059	9.668
88	20.000	14.272	5.901	1.077	9.448

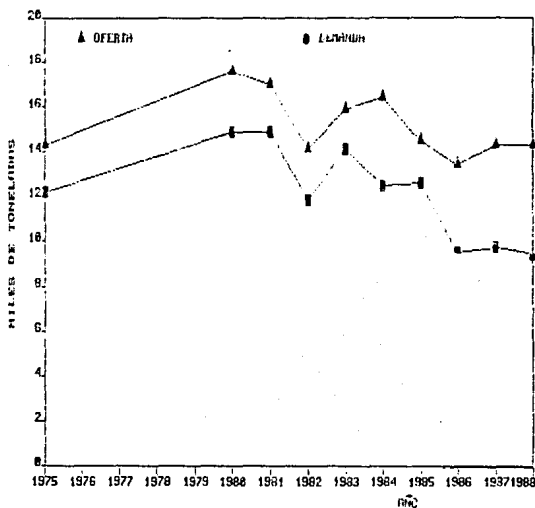
Tabla IV.21
Balanza Comercial de la Fibra Acetato de Celulosa

Año	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Acumulado
Valor	4.4	4.1	4.1	3.7	5.8	3.9	5.8	6.2	6.8	44.9

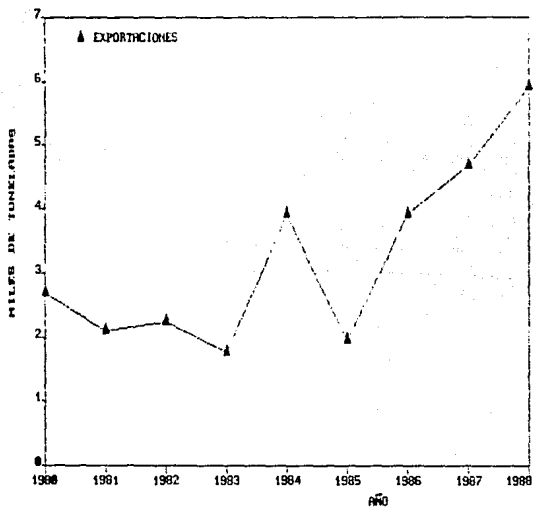
Grafica IV.33
 Produccion y Capacidad Instalada de la
 Fibra Acetato de Celulosa en el pais



Gráfica IV.30
Evolución de la Oferta y Demanda de la
Fibra de Acetato de Celulosa



Gráfica IV.37
Evolución de las Exportaciones de la
Fibra de Acetato de Celulosa



Precios.-

Los precios promedio de la fibra acetato de celulosa pasaron de \$2.07/kg en 1980 a \$1466/kg en 1988, al observar la situación a precios de 1980, el precio para el último año es de \$85/kg, lo que significa un incremento real de 37%. Esta información se muestra en la gráfica IV.38.

La comparación de los precios nacionales de la fibra de acetato de celulosa con los de otros países, específicamente el caso de los U.S.A. no muestra una tendencia definida, tal y como se observa en la gráfica IV.39, ya que en algunos casos son mayores, como en los años de 1980, 1981, 1984, 1986, 1987, y 1988 y en otros casos resultan ser menores como en 1982, 1983, y 1985.

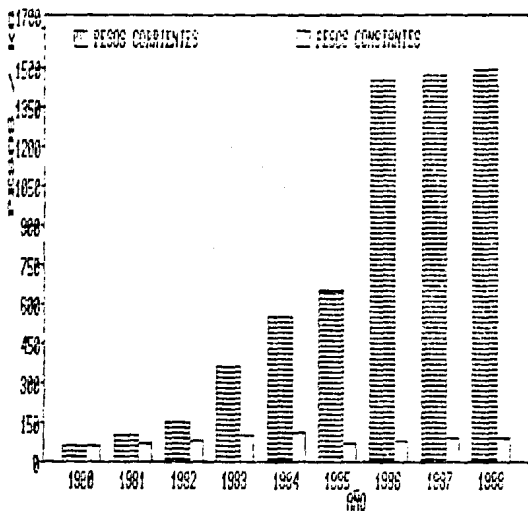
El comportamiento global de las fibras de acetato de celulosa en 1988, con respecto al año anterior, fue de decremento en lo referente a la producción y al consumo aparente. Las exportaciones, y las importaciones se incrementaron en tanto que la capacidad instalada permaneció igual.

La producción disminuyó en un 0.8% al pasar de 14,284 toneladas en 1987 a 14,272 toneladas en 1988 y el consumo aparente decreció en un 2.3% al pasar de 9,668 a 9,448 toneladas. Este fenómeno se tradujo en un aumento de las exportaciones de un 26.2% al pasar de 4,675 a 5,901 toneladas en 1988.

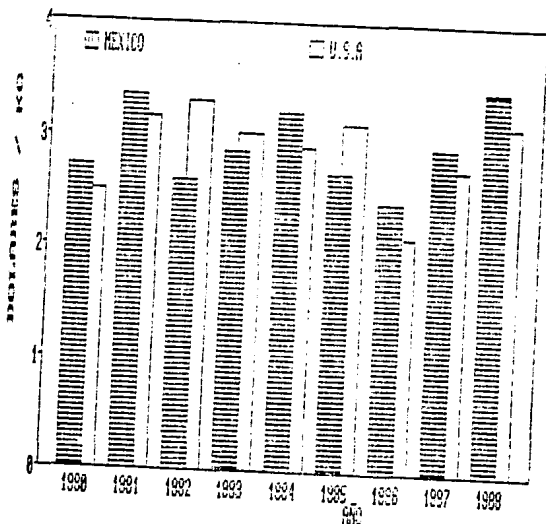
En lo referente a la capacidad productiva se estableció en las mismas 20,000 toneladas, y no se reporta en la literatura posibles proyectos de ampliación. En el país solo existe un productor: Celanese Mexicana S.A. y este tampoco reporta nuevos proyectos.

Por otro lado el aprovechamiento de la planta productiva fue de 71.3% para 1988.

Gráfica 17.38
 Evolución del Precio Promedio de la
 Fibra de Acetato de Celulosa en México



Gráfica 19.39
 Comparación del Precio Promedio Nacional de la
 Fibra de Acetato de Celulosa con el de Otros Países



Las importaciones en 1988 se incrementaron significativamente debido mas que nada al bajo nivel de aprovechamiento de la planta productiva y a la demanda externa en ese año. En 1987 se importaron tan solo 59 toneladas y para 1988 1,077 toneladas lo cual significo un egreso de divisas cercano a los 3 millones de dolares.

En la grafica IV.40 se muestran a manera de bloques para compararlos entre si, los aspectos de capacidad, produccion y consumo aparente en el mercado de las fibras acetato en 1988.

IV.5.4 Materias Primas.

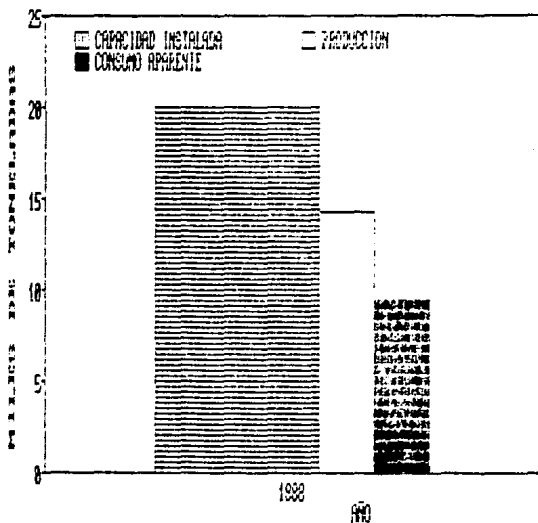
En el proceso de manufactura de la fibra de acetato de celulosa se emplea el ácido acético, anhídrido acético, celulosa y ácido sulfúrico como materias primas e indirectamente acetaldenido, el cual es utilizado para producir el ácido y el anhídrido acético. A continuación se presenta la evolución y la situación actual de las materias primas directas para obtener la fibra acetato y que son de origen petroquímico en México.

Acido y Anhídrido Acético.-

En el país, la producción de ácido y anhídrido acético se realiza a través de Celanese Mexicana SA. e Industrias Montelisa de CV; ambas empresas están integradas totalmente a la fibra en estudio, y sus niveles de producción satisfacen adecuadamente los requerimientos internos.

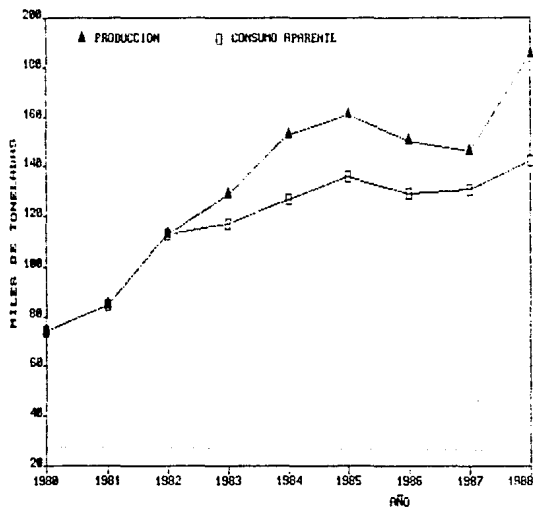
El perfil de distribución de estos productos es como sigue: el 98% del anhídrido acético se destina para producir acetato de celulosa y acetato de vinilo; mientras que el 84% del ácido acético se destina a su vez para fabricar tanto anhídrido acético como acetato de celulosa y acetato de vinilo y solo el 13% se destina a la fabricación de ácido tereftálico.

Gráfica IV.40
 Mercado Nacional de las Fibras de
 Acetato de Celulosa durante 1988

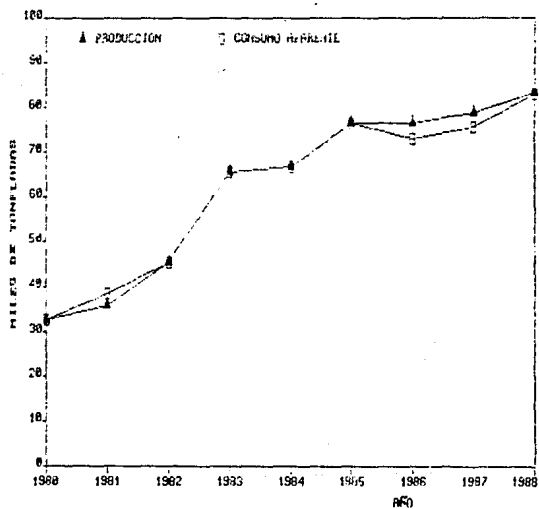


En las gráficas IV.41 y IV.42 se muestran los comportamientos de ambos mercados para estas materias primas desde 1980. De dichas gráficas se concluye que la producción de estas materias primas apenas ha sido suficiente para cubrir la demanda nacional, ya que en muchos casos la demanda ha tenido el mismo nivel que la producción. La literatura no reporta posibles proyectos de ampliación para ninguna de estas dos materias primas.

Gráfica IV.41
Evolución del Mercado Nacional del Acido Acético



Gráfica IV.42
Evolución del Mercado Nacional del Anhídrido Acético



IV.5.5 Perspectivas.

En forma similar a como se hizo con las fibras anteriores, las expectativas de crecimiento de esta fibra tambien se establecieron sobre la base de la realizacion de un analisis similar al realizado a la fibra nylon. Asi pues las ecuaciones obtenidas para las fibras acetato resultaron ser:

$$y = 14.980452 + 0.0092155 X_1 - 0.0185852 X_2 \quad (9)$$

para el primer modelo

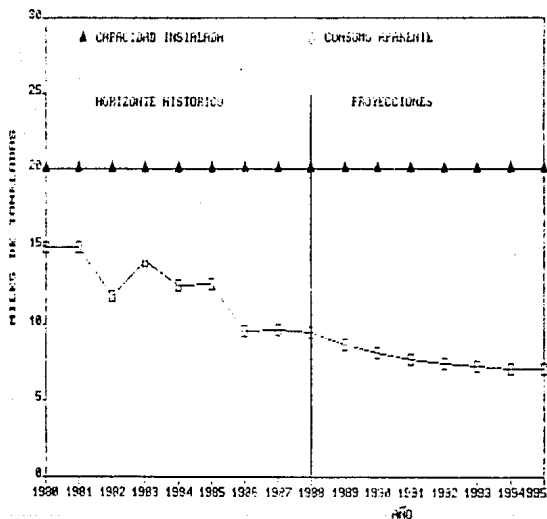
y para el modelo que considera la interaccion entre el PIBtot (X_1) y el incremento poblacional (X_2)

$$y = -23.768978 + 0.0152992 X_1 + 0.0154737 X_2 - 0.0001344 X_1 X_2 \quad (10)$$

Posteriormente el analisis de de varianza demostro que la segunda ecuacion se ajusta mejor a los datos historicos y es mas precisa para predecir los consumos aparentes en los proximos años, asi que con ella se hicieron las proyecciones que se muestran en la grafica IV.43. En dicha grafica se observa que para 1995 habra un consumo aparente de 7.02 miles de toneladas, las cuales quedaran cubiertas perfectamente por la capacidad instalada actual de 20 mil toneladas.

Debido a que el mercado de esta fibra tiende a la baja y debido tambien a que esta siendo sustituida por otras fibras no se reportan posibles proyectos de ampliacion de la planta productiva.

Grafica IV.43
 Perspectivas de la Fibra de Acetato de Celulosa



CAPITULO V
CASO DE ESTUDIO: LA FIBRA POLIESTER

CAPITULO V

CASO DE ESTUDIO: LA FIBRA POLIESTER

V.1 Generalidades.

Una fibra poliéster se basa en un polímero compuesto por al menos 65% de un éster proveniente de un alcohol dihidro y del ácido tereftálico (IPA) o el dimetil tereftalato (DMT).

De entre los poliésteres que pueden obtenerse a partir de estos compuestos o algunos similares, el polietileno tereftalato (PET) es el de mayor importancia a nivel mundial y es con el que se identifica la fibra poliéster como fibra blanda.

El PET se obtiene mediante la condensación de IPA o DMT con etilenglicol, y además de su aplicación como fibra blanda, existen otros tipos de PET en forma de plástico, estos tipos son el PET grado envase y el PET grado plástico de ingeniería.

El primero se emplea en la fabricación de envases de bebidas y alimentos en general, aprovechando sus propiedades de barrera y su transparencia; mientras que en el segundo caso, el PET grado plástico de ingeniería presenta propiedades que le permiten alcanzar un alto desempeño en aplicaciones normalmente reservadas a los metales y otros usos en la industria eléctrico-electrónica, automotriz, etc.

Por lo que a la fibra se refiere, su alta resistencia, elevado punto de fusión y su baja absorción de agua, aunadas a sus características de resistencia a la luz solar y a varias sustancias químicas, les permiten competir favorablemente con las fibras naturales y sintéticas.

Para que el PET tenga propiedades útiles como fibra textil se requieren pesos moleculares en promedio de 15,000, valores más bajos ocasionan

baja consistencia de la hebra y pequeñas deformaciones en la superficie de la fibra; valores mas altos dan como resultado fibras de mas alta resistencia para usas industriales.

Las principales propiedades de las fibras poliester estan intimamente ligadas a la estructura cristalina obtenida durante el proceso de fabricacion, tanto en la etapa de reaccion, durante la formacion del polimero, como en las etapas de posttratamiento.

La unidad estructural o la celda unitaria del PET ha sido deducida por tecnicas de difraccion de rayos "x", y se considera triclinica con una unidad de repeticion.

La densidad teorica del material puro cristalino se puede determinar matematicamente a partir de las dimensiones de la celda unitaria. Si la densidad no cristalina puede ser deducida, por ejemplo, sorrocando con una corriente de aire adecuada al polimero amorfo fundido, durante la etapa de formacion de las hebras, pero de una forma muy rapida, seria posible calcular un porcentaje de cristalinidad el cual es un parametro muy importante en la determinacion de las propiedades de la fibra.

El porcentaje de cristalinidad y la orientacion molecular se relacionan con la fuerza de tension y el encogimiento de las hebras (modulo inicial), aunque los metodos para cuantificarlos son problematicos.

Dependiendo del metodo de manufactura empleado se puede presentar un rango amplio en las propiedades de la fibra poliester. Generalmente cuando en el proceso de estiramiento de las hebras se incrementa la longitud de las mismas mas alla de lo usual, esto produce alta cristalinidad debido a una orientacion molecular mas grande.

Cuando esto sucede, normalmente al mismo tiempo la extensividad y la elongacion final disminuyen. Un incremento en el peso molecular mas

adelante incrementa la fuerza de tensión, el módulo y la extensividad. Debido a los factores antes mencionados, generalmente resulta difícil establecer un rango preciso de las propiedades de la fibra poliéster, sin embargo en la tabla V.1 se muestran las principales propiedades físicas que presentan en estas fibras.

En lo que se refiere a sus principales propiedades químicas, los poliésteres muestran buena resistencia a muchos ácidos minerales, pero se disuelven con descomposición parcial en ácido sulfúrico concentrado.

Estando en agua a 70 °C por varias semanas, las fibras poliéster convencionales no pierden su fuerza, sin embargo después de una semana a 100 °C su fuerza se reduce cerca de un 20%.

Sustancias básicas atacan a la fibra en dos formas: álcalis fuertes, por ejemplo sosa caústica, afectan la superficie de la fibra y reducen su consistencia. El amoníaco y otras bases orgánicas, por ejemplo la metilamina, penetran la estructura molecular inicialmente a las regiones no cristalinas y causan la degradación de los eslabones del éster y en general afectan todas las propiedades físicas.

Los poliésteres presentan también buena resistencia a los agentes blanqueadores convencionales de textiles, y muestran buena resistencia a los solventes usados en limpieza y a los agentes surfactantes.

Las fibras PET muestran buena resistencia a la luz solar y sólo son superadas a este respecto por las fibras acrílicas. Así mismo las fibras PET generalmente tienen alta resistencia al mono, al envejecimiento y a la abrasión.

En el proceso de manufactura de las fibras poliéster el ácido tereftálico (TPA) o el dimetiltereftalato reaccionan con etilenglicol para formar un monómero de diéster el cual polimeriza para dar el homopolímero de PET.

Tabla 1.1
Principales Propiedades de las Fibras Poliéster

Propiedad	F I L A M E N T O		MECHA Y FIBRA LONA	
	Tenacidad Regular	Tenacidad Alta	Tenacidad Regular	Tenacidad Alta
Tenacidad a rotura, N/tex	0.25-0.50	0.50-0.80	0.2-0.5	0.5-0.63
Elongación a rotura, %	19-40	10-34	25-65	18-40
Recuperación elástica (a 5%), %	88-93	90	75-85	78-85
Modulo Inicial, N/tex	6.6-8.8	10.2-10.6	3.2-3.5	4.0-4.9
Densidad Relativa	1.38	1.39	1.38	1.38
Absorción de Humedad, %	0.40	0.40	0.40	0.40
Temperatura de Fusión, °C	258-263	258-263	258-263	258-263

Fuente: Kirk-Othmer, Enciclopedy of Chemical Technology

El polímero fundido se extruye dando lugar a una serie de filamentos los cuales solidifican al ser entreados a contracorriente con aire. Después de la polimerización las materias primas que no reaccionan se purifican y recirculan al sistema de polimerización.

Posteriormente tal y como se muestra en la figura V.1 el filamento obtenido en este punto es sometido a una serie de tratamientos, denominados de posthilado, encaminados a darle a la fibra las propiedades mecánicas y de apariencia requeridas en sus aplicaciones textiles e industriales.

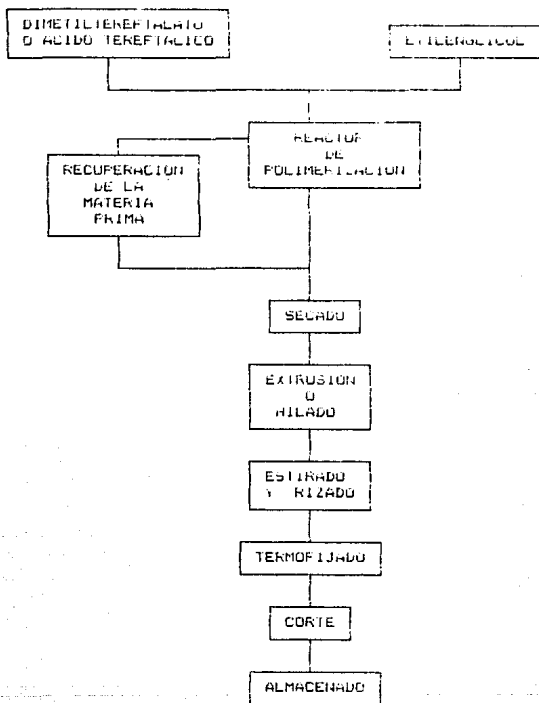
Las tecnologías utilizadas en nuestro país en la obtención de la fibra poliéster son de procedencia extranjera, principalmente de los Estados Unidos y las principales empresas licenciadoras se enlistan en la tabla V.2.

Tabla V.2
Origen de las Tecnologías de la Fibra Poliéster

EMPRESA	LICENCIADOR	PAIS DE ORIGEN
FISISA	Toray Industries	Japón
KIMEX	Goodyear Tire Rubber Co.	U.S.A
INFETMEX	Chemtex Inc.	U.S.A
FIQUISA	Enka International Bv.	Holanda
NILMEX	E.I. Dupont de Nemours	U.S.A
CELANESE	Celanese Corp.	U.S.A

Las tecnologías antes mencionadas han sido debidamente asimiladas en nuestro país y en varios casos optimizadas al incorporar mejoras alcanzadas con la experiencia adquirida en estos procesos. Estas tecnologías además, por la gran cantidad de países que las utilizan el se encuentran entre las más importantes a nivel mundial.

Figura V.1
Metodo de Hilado por Fusion del Polimero
para la Producción de las Fibras Poliéster



V.2 Usos

Las fibras poliéster compiten en varias aplicaciones con las fibras de origen natural, como son el algodón y la lana, aunque en sus aplicaciones textiles, la mayor de las veces se encuentra mezclado con ellas.

En el país se fabrican tres tipos diferentes: filamento continuo, mecha y fibra corta, siendo su principal aplicación la industria del vestido, en donde su versatilidad para los tejidos y acabados, su facilidad para mezclarse con otras fibras naturales o sintéticas y su resistencia al arrugamiento, son propiedades de vital importancia.

Los usos más importantes dentro de esta industria son la fabricación de ropa para hombre, camisas pantalones, trajes de vestir, etc. En ropa para dama se utiliza en vestidos blusas y lencería entre otros.

Otros usos de menor importancia son la fabricación de alfombras, cortinas en la elaboración de tiendas de campaña y de sus accesorios como son, de bolsas para dormir, y lazos para su instalación. Se utiliza también en la fabricación de cuerdas para trabajos en algunos navios y veleros.

V.4 Mercado.

La producción de la fibra poliéster se inició en 1965, cuando Celanese Mexicana, S.A. instaló la primera planta en Toluca, Edo. de México.

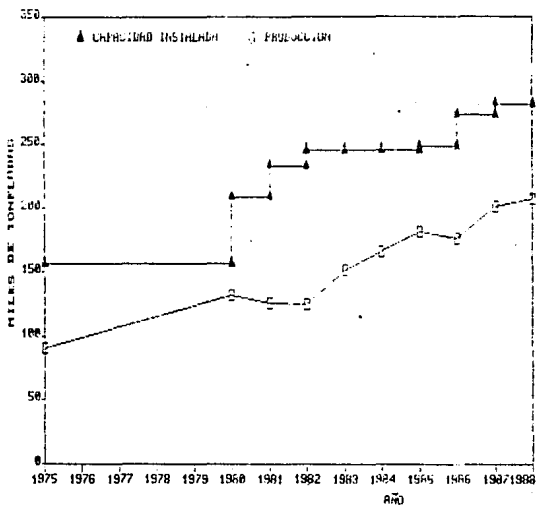
Durante el período 1975-1988 esta fibra experimentó uno de los crecimientos más dinámicos en general de todas las fibras químicas aumentando su capacidad instalada en 80% y su producción en casi un 130%.

En la gráfica V.1 se muestra el desarrollo histórico de la fibra poliéster en estos conceptos, y en la tabla V.3 se ilustran los datos de los principales parámetros del mercado de esta fibra.

Tabla 9.3
Desarrollo Histórico del Mercado
de las Fibras Poliéster

Año	Capacidad Instalada	Producción	Exportación	Importación	Consumo Aparente
75	156.900	90.085	----	1.667	91.772
80	208.388	132.077	----	3.217	135.284
81	232.715	126.144	3.924	2.119	124.299
82	244.715	124.303	7.309	1.199	118.193
83	244.715	150.878	26.730	1.175	129.325
84	244.715	165.554	39.662	0.867	126.759
85	248.095	180.095	35.716	---	144.379
86	273.095	174.687	37.677	---	137.010
87	281.090	199.672	62.087	2.000	139.585
88	281.090	205.920	51.591	1.000	155.329

Gráfica V.1
Evolucion del mercado de la Fibra Poliéster



Por lo que al abasto del mercado nacional se refiere, la oferta de la fibra poliéster permitió, a lo largo del periodo analizado cubrir adecuadamente la demanda nacional, la cual mantuvo un nivel casi constante de 1980 a 1987, hasta que en 1988 alcanzó su más alto volumen. La evolución del mercado de la fibra poliéster se muestra en la grafica V.2.

Aun cuando se han realizado importaciones de esta fibra, solo han sido complementarias, ya que en todo el periodo analizado el porcentaje de las mismas sobre la demanda total nunca ha pasado del 2.5% en volumen. Por otro lado, tal y como se aprecia en la grafica V.3 las exportaciones de fibra poliéster han crecido de una forma muy importante a partir de 1981, pasando de 3.7 miles de toneladas en ese año a cerca de 52 mil toneladas en 1988, alcanzando en 1987 su más alto volumen de todo el periodo histórico con 62 mil toneladas.

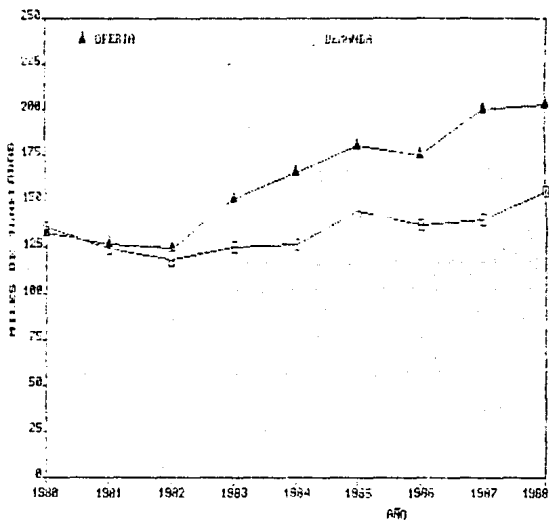
Lo anterior da por resultado que la balanza comercial sea bastante positiva, lo que ha permitido al país tener un ingreso importante de divisas. Para los últimos años alcanzaron cifras superiores a los 45 millones de dólares y un total acumulado hasta 1988 de 332 millones de dólares.

Los valores correspondientes a los saldos de esta balanza se muestran en la tabla V.4 a partir de 1981 año en que se iniciaron las exportaciones de la fibra poliéster.

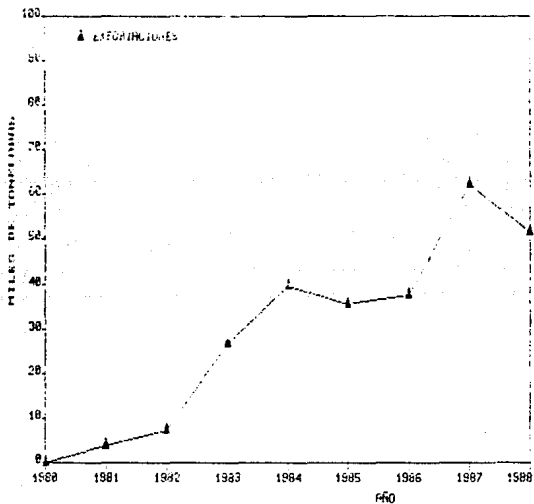
Tabla V.4
Balanza Comercial de la Fibra Poliéster
(Millones de Dólares)

Año	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	Acumulado
Valor	11.4	13.5	33.2	49.2	45.5	49.0	72.1	56.3	332.2

Gráfica V.2
Evolución de la Oferta-Demanda de la Fibra Poliéster



Gráfica V.3
Exportaciones de Fibras Poliéster



Los precios de la fibra poliéster han crecido en forma paulatina, pasando de \$61.00/kg en 1980 a \$1,756.00/kg en 1988, no obstante si se analiza la situación a precios constantes de 1980, tal y como se muestra en la gráfica V.4, la tendencia real al descontar la inflación es hacia la alza, ya que el precio para 1988 sería equivalente a \$92.5/kg, lo cual significa un aumento real de un 51.6%.

La comparación de los precios domésticos de la fibra poliéster con precios de los U.S.A y Japon, tal y como se muestra en la gráfica V.5, en ambos casos siempre resultan ser superiores, y si bien la tendencia había sido a la baja hasta 1986, en los últimos dos años se han incrementado considerablemente, y ahora la tendencia es hacia la alta. En forma global la situación de esta fibra durante 1988, muestra un aumento modesto en la producción y el consumo con respecto a 1987, con el consiguiente decremento en el nivel de exportaciones, en tanto que la capacidad instalada permaneció igual.

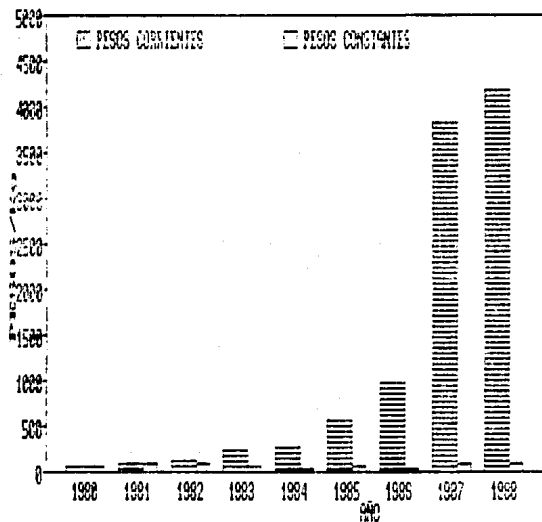
Esta última se estableció en las 231,090 toneladas logradas en 1987, solo que para 1988 alcanzó un porcentaje de aprovechamiento del 73.2% el más alto de todo el periodo histórico.

En la gráfica V.7 se ilustra la situación del mercado de la fibra poliéster durante 1986.

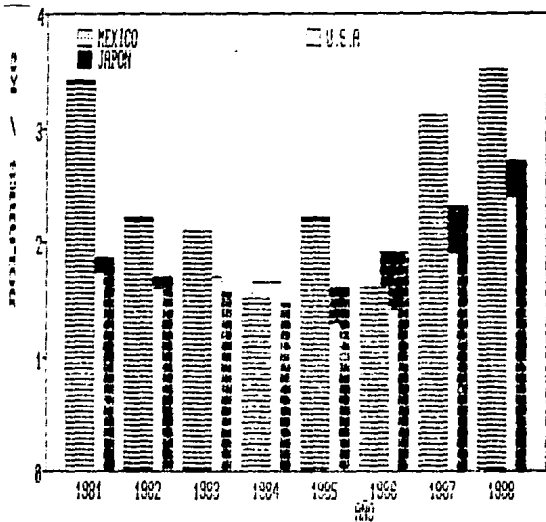
La capacidad instalada fue soportada por seis empresas: Celanese Mexicana, S.A; Fibras Sintéticas, S.A; Kimek, S.A; Inpetmex; Fibras Químicas, S.A; y Nylon de Mexico, S.A. (Estas dos últimas unidas bajo el nombre de AKRA).

Tal y como se observa en la gráfica V.7 una sola empresa (LELMEX) cuenta con cerca de la mitad de la capacidad instalada y junto con las empresas del grupo alta (AKRA) tienen cerca del 80% del total de la planta productiva.

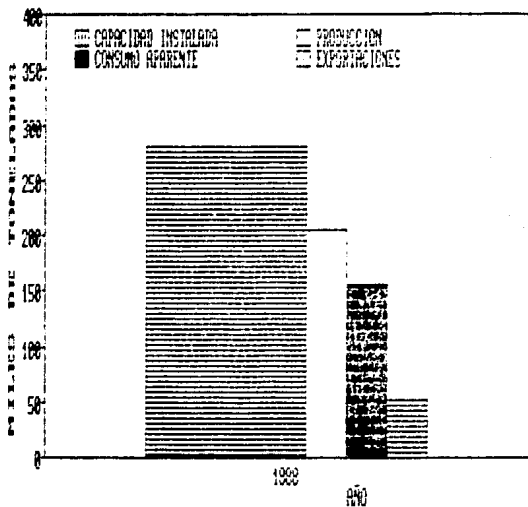
Grafica V.4
Evolucion del Precio Promedio
de la Fibra Poliéster en el País



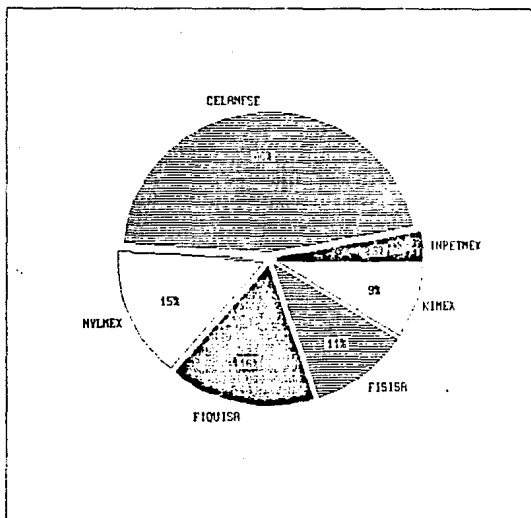
Grafica V.5
 Comparacion del Precio Promedio Nacional
 de la Fibra Foliester con el de otros Países



Gráfica V.6
 Mercado Nacional de la Fibra
 Poliéster durante 1988



Gráfica V.7
Distribución de la Capacidad Instalada
de la Fibra Poliéster en 1985



Durante 1988 se logro un incremento de 3.3% en la producción con respecto a 1987 al pasar de 197,672 a 205,705 toneladas y se consiguió el más alto porcentaje de aprovechamiento de la planta productiva con cerca de un 75% de eficiencia.

Por lo que al consumo aparente de 1988 se refiere, este experimento un apreciable incremento de 11.3% con respecto al año anterior y contribuyó al decremento en el nivel de exportaciones debido principalmente a la demanda interna.

El nivel de exportaciones en 1988 disminuyó en un 18.7% al pasar de 62,087 a 51,591 toneladas con respecto a 1987, en tanto continuando con la tendencia histórica, las importaciones resultaron ser mínimas, ya que no representaron más del 1% del consumo aparente en este año.

V.4 Materias Primas.

Para la elaboración de la fibra Poliéster se emplean etilenglicol y ácido tereftálico o dimetiltereftalato como materias primas directas y paraxileno indirectamente (utilizado para producir TPA y DMI). A continuación se presenta la evolución y situación actual de las materias primas directas.

Ácido Tereftálico y Dimetiltereftalato.-

Estos son dos de los productos petroquímicos con mayor nivel de exportaciones, siendo sus principales aplicaciones en el país la producción de la fibra y la película de poliéster.

En ambos productos y a través de todo el período histórico la demanda ha sido suficiente para abastecer el mercado nacional. Esto se demuestra en las gráficas V.7 y V.8.

Gráfica V.8
Evolución del Mercado Nacional del Acido Teréftalico

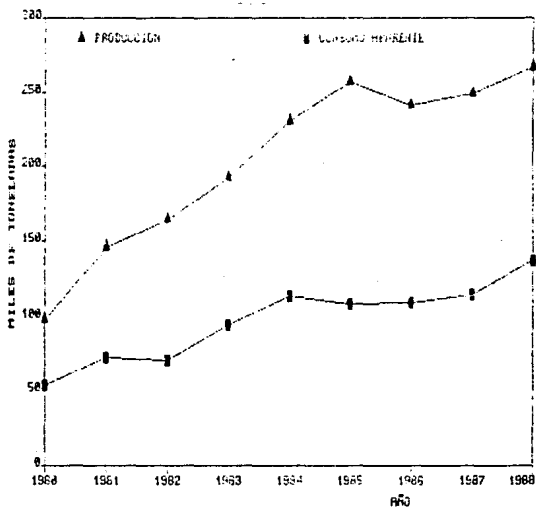
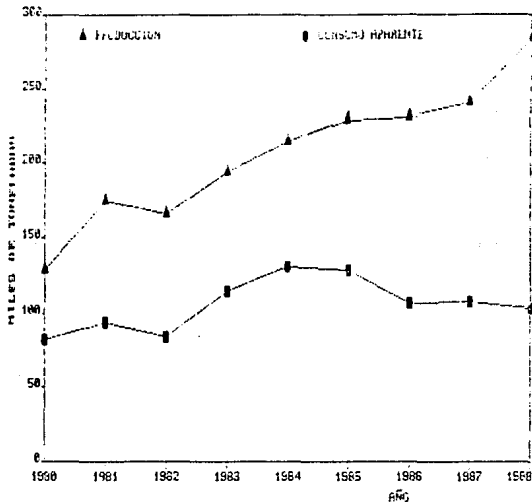


Gráfico V.9
Evolución del Mercado Nacional del Dimetil Terftalato



Por si esto fuera poco durante 1987 surgió además un proyecto para ampliar la capacidad instalada del dimetil tereftalato en 310,000 toneladas, y el estatus actual de dicho proyecto es el de construcción, y se espera inicie operaciones en 1991. El principal productor nacional es Retrocel S.A.

En lo referente al ácido tereftérico también existe otro proyecto para ampliar la planta productiva en 200,000 toneladas, teniendo su estatus actual en construcción y se espera su arranque para 1990. Los principales productores de esta materia prima son Retrocel, S.A. y Terettalatos Mexicanos, S.A.

Etilenglicol.-

El etilenglicol es otra de las materias primas directas utilizadas en la obtención de la fibra poliéster, además de esta aplicación, que es con mucho la más importante, se emplea en la elaboración de anticongelantes.

Hasta antes de 1981 el consumo nacional de etilenglicoles (mono, di, y trietilenglicol) se cubría con la producción local, a partir de este año se exportaron los excedentes y aunque en 1988 hubo un decremento en su nivel se lograron exportar cerca de las 6,000 toneladas.

Se sabe que por cada kg de glicoles etilénicos producidos, el 86.3% le corresponde al etilenglicol (monoetilenglicol) que se utiliza en la producción de fibra poliéster, el 14.2% le corresponde al dietilenglicol y solo un 0% le corresponde al trietilenglicol.

En la gráfica V.9 se muestra la evolución que ha tenido el mercado nacional de los etilenglicoles en el periodo histórico analizado. En ella se muestra en forma global la situación de los tres glicoles polietericos.

En la gráfica V.9a se desglosan las cantidades correspondientes al

mono, di y trietilenglicol para tener un panorama del volumen de producción de los mismos en el mercado global, y resaltando la mayor importancia del monoetilenglicol en dicho mercado.

Al observar la gráfica V.9 detenidamente se concluye que en los últimos años la demanda local de los etilenglicoles ya no es suficiente para abastecer el mercado, por lo que recientemente, apenas a mediados de 1988, Pemex arranco una planta de 105,000 toneladas por año para producirlos, con lo que la capacidad instalada llegó a 358,000 toneladas, y con ello se unió a las principales empresas productoras que son Glicoles Mexicanos, S.A. de C.V., Industrias Derivadas del Etileno S.A. de C.V. y Polioles, S.A. de C.V.

V.5 Perspectivas.

Al igual que las fibras analizadas en el capítulo anterior, las expectativas de crecimiento de esta fibra se establecieron en función de los datos históricos de su consumo aparente, los datos del incremento poblacional, y los del PIBtot. Así mismo se tomo en cuenta las estimaciones que hicieron del incremento poblacional y del PIBtot dependencias gubernamentales.

Posteriormente del analisis multivariable de estos parametros, el cual se baso en los mismos modelos de ecuaciones descritos para cada fibra en el capítulo anterior, y del resultado de la aplicacion del metodo de Doolite simplificado de inversion de matrices para la evaluacion de las constantes de cada modelo, se logro obtener las ecuaciones siguientes:

$y = -45.956627 + 0.0069384 X_1 + 1.9234879 X_2$, para el modelo más simple, en tanto que para el segundo modelo que considera una interaccion entre el PIBtot (X_1) y el incremento poblacional (X_2):

$$y = 108.59912 - 0.0268129 X_1 - 0.5491938 X_2 + 0.0005355 X_1 X_2$$

Gráfica 7.9
Evolución del Mercado Nacional de los Etilenglicoles

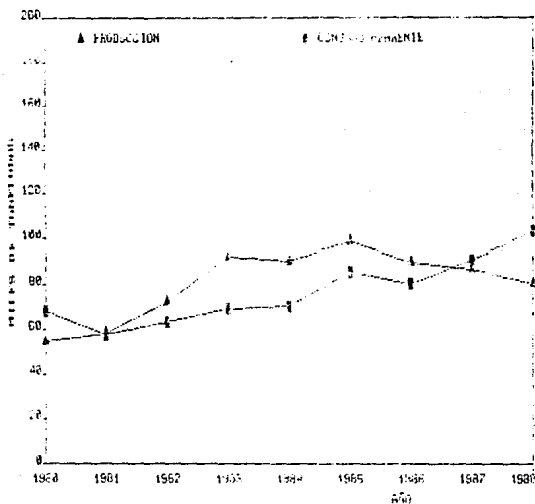
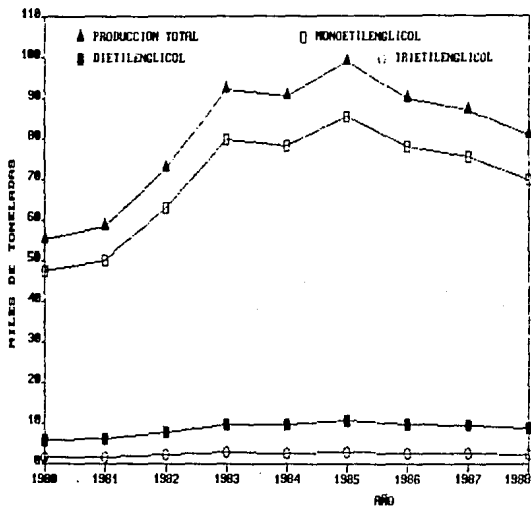


Gráfico N.º 9e
 Proporción de Glicoles Polietélicos Producidos en el País



Al final un análisis de varianza demostró que la segunda ecuación se ajusta mejor a los datos históricos y por tanto es más precisa para estimar las proyecciones de la demanda futura de fibras poliéster, así que con ella se hicieron las proyecciones que se muestran en la gráfica 9.10.

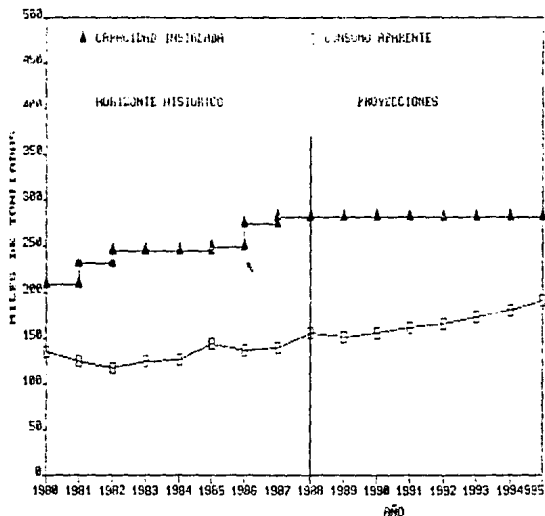
Al observar los datos de dicha gráfica se demuestra que para 1995 habrá una demanda interna de 171,070 toneladas, las cuales quedarán cubiertas con la capacidad instalada actual de 261,050 toneladas, sin embargo se requerirá de optimizar la planta productiva a niveles de 70% mínimo para satisfacer tales requerimientos.

Dado que la capacidad instalada hasta 1988 es suficiente para abastecer la demanda de esta fibra para 1995, se consideró no necesario realizar un análisis más a fondo de los costos que implicarían el establecimiento de una nueva planta para cubrir las necesidades del producto.

Debido también a que según las proyecciones realizadas, para 1995 no habrá demanda insatisfecha alguna, no se consideró necesario realizar un análisis del proceso ni y dentro de éste, un balance de masa y energía, un dimensionamiento del equipo ni un análisis de los servicios auxiliares necesarios, ya que no se tendría una base de cálculo que fundamentara su desarrollo.

Ahora bien, en lo que respecta a posibles ampliaciones de la capacidad instalada, en la literatura no se reportan proyectos por parte de ninguna empresa productora, ni alguna otra no ligada al sector fibras.

Gráfica V.10
Proyecciones de la demanda de Fibras Poliéster



V.6 Costos de Planta para las Fibras Poliéster.

A continuación se desglosan los datos de los costos de materias primas y servicios, así como los costos fijos y de producción para la producción de fibras poliéster para cada uno de los procesos existentes, es decir, tanto para el primer proceso a partir de dimetiltetralato (DMT) y etilenglicol (EG), como para el segundo proceso a partir de ácido teraftálico (TFA) y etilenglicol.

En la tabla V.5 se ilustran en forma conjunta los datos de los costos de materias primas y servicios para ambos procesos de producción de fibras poliéster para poder compararlos entre sí, y posteriormente se analiza por separado la inversión fija y los costos de producción de cada uno de los procesos.

En la tabla V.6 se presenta el desglose de los costos de producción de los dos procesos en forma conjunta, con el propósito de tener la facilidad de comparar los datos de cada proceso. Al final de la misma y en forma adicional se incluyen los datos del valor del producto en los Estados Unidos de América a precios de 1986.

Al final de cada análisis particular se presenta un modelo de ajuste de los datos en cuestión, para establecer la posibilidad de interpolaciones o extrapolaciones al mismo para de este modo determinar los costos que se requerirían para el establecimiento de alguna planta con una cierta capacidad de producción de la fibra.

Tabla 0.5
COSTOS de Materias Primas y Servicios
de Procesos de Producción de Fibras Poliéster

PROCESO 1.- Producción de fibras poliéster a partir de DMF y EG
 Costo de Materias Primas y Servicios, U.S c/kg (año de 1986)

	<u>Costo Unitario</u>	<u>Consumo/ton de producto</u>	<u>c/kg</u>
MATERIAS PRIMAS			
Dimetil Tereftalato	54.20 c/kg	1.0010 tons	54.20
Etilenglicol	44.10 c/kg	0.3594 tons	15.85
Acetato de Zinc	2.20 \$/kg	0.0064 tons	0.05
Tróxido de Antimonio	3.42 \$/kg	0.0003 tons	0.11
Dióxido de Titanio	1.85 \$/kg	0.0042 tons	0.37
Costo Total de Materias Primas			70.10
Subproductos (Metanol)	11.30 c/kg	0.3375 tons	3.81
Costo total de Subproductos			3.81
SERVICIOS			
Agua de Enfriamiento	1.59 c/m ³	55.0 m ³	0.08
Vapor	7.45 \$/ton	1.4 ton	1.07
Electricidad	4.0 c/kwh	165.0 kwh	0.66
Gas Natural	0.91 c/ton-cal	994.0 ton-cal	0.91
Gas Inerte	1.57 c/m ³	24.0 m ³	0.04
Costo Total de Servicios			2.70

PROCESO 2.- Producción de fibras poliéster a partir de TPA y EG
 Costo de Materias Primas y Servicios, U.S c/kg (año de 1986)

	<u>Costo Unitario</u>	<u>Consumo/ton de producto</u>	<u>c/kg</u>
MATERIAS PRIMAS			
Acido Tereftálico	58.20 c/kg	0.8563 tons	49.85
Etilenglicol	44.10 c/kg	0.3594 tons	15.85
Tróxido de Antimonio	3.42 \$/kg	0.0003 tons	0.11
Dióxido de Titanio	1.85 \$/kg	0.0042 tons	0.37
Costo Total de Materias Primas			66.58
SERVICIOS			
Agua de Enfriamiento	1.59 c/m ³	54.0 m ³	0.07
Vapor	7.45 \$/ton	1.1 ton	0.85
Electricidad	4.0 c/kwh	165.0 kwh	0.65
Gas Natural	0.91 c/ton-cal	1,556.0 ton-cal	1.42
Gas Inerte	1.57 c/m ³	24.0 m ³	0.04
Costo Total de Servicios			3.05

Notas:

- a) c/kg = centavos de dolar por kg de producto
- b) \$/kg = dolares por kg de producto
- c) c/kwh = centavos de dolar por kilowatt-hora
- d) c/T-cal = centavos de dolar por ton de calorías.

Tabla V.6
Inversión Fija y Costos de Producción en función
de la capacidad de Plantas para Producir Fibras Poliéster (1986)

INVERSION FIJA (U.S.A. millones de dolares)	CAPACIDAD DE PLANTA (Miles de toneladas/año)					
	25		50		100	
	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 1	Proceso 2	Proceso 1	Proceso 2
En liantes de batería	20.6	21.7	33.4	33.4	54.0	45.1
Fuera de liantes	<u>14.0</u>	<u>13.0</u>	<u>20.2</u>	<u>20.2</u>	<u>40.1</u>	<u>40.7</u>
Capital Fijo Total	35.4	34.5	53.9	53.7	94.7	85.8
COSTOS DE PRODUCCION (U.S.A. c/kg de producto)						
Costos Variables						
Materias Primas	71.10	66.58	71.10	66.58	71.10	66.58
Servicios	2.76	3.05	2.76	3.05	2.76	3.05
Subproductos	<u>-3.81</u>	<u>---</u>	<u>-3.81</u>	<u>---</u>	<u>-3.81</u>	<u>---</u>
Costos Variables Totales	70.05	69.63	70.05	69.63	70.05	69.63
Materiales p/mantenimiento	2.07	2.07	1.68	1.52	1.37	1.12
Agentes químicos y materiales	0.53	0.53	0.26	0.26	0.18	0.13
Mano de Obra (7 pers/turno)	5.36	5.36	2.67	2.67	1.72	1.34
Mano de Obra p/mantenimiento	2.07	2.07	1.68	1.52	1.37	1.12
Laboratorio Control Calidad	<u>1.08</u>	<u>1.08</u>	<u>0.53</u>	<u>0.53</u>	<u>0.25</u>	<u>0.26</u>
Costos Directos Totales	61.16	60.74	70.87	70.15	75.04	73.60
Gastos Generales	4.79	4.79	3.70	3.79	2.73	2.18
Impuestos y Seguro	2.82	2.76	2.36	2.10	1.98	1.72
Depreciación	14.15	13.80	11.77	10.78	9.90	8.58
Gastos Glna. de Ventas	<u>16.03</u>	<u>15.37</u>	<u>14.22</u>	<u>12.22</u>	<u>12.16</u>	<u>11.95</u>
COSTOS TOTALES DE PRODUCCION (En función del aprovechamiento de la capacidad de la planta)						
a 100% de aprovechamiento	120.75	115.45	109.14	106.18	102.87	98.03
a 75% de aprovechamiento	136.33	136.51	122.57	118.79	114.22	107.94
a 50% de aprovechamiento	175.00	170.56	149.37	143.97	136.65	127.70
VALOR DEL PRODUCTO (U.S.A. c/kg de producto a precios de 1966)						
a 100% de aprovechamiento	150.36	150.98	136.57	133.14	127.80	119.48
a 75% de aprovechamiento	185.51	182.50	161.84	154.72	147.46	136.53
a 50% de aprovechamiento	243.81	239.57	208.27	197.91	186.71	170.61

*incluye 25% por imprevistos

Así pues en la tabla V.6 se reordenan los datos de los costos fijos que implica el establecimiento de una planta de poliéster a partir de dimetiltereftalato y etilenglicol, y posteriormente se hace un tratamiento de los mismos para encontrar la ecuación que describa de mejor forma el comportamiento de los mismos.

En dicha tabla los datos del eje X corresponden a la capacidad de la planta y los del eje Y corresponden a los datos de la inversión fija.

Tabla V.6
Inversión Fija para planta de fibras poliéster
a partir de dimetiltereftalato (DMT) y etilenglicol (EG)

(X) CAPACIDAD (miles ton/año)	(Y) INVERSIÓN FIJA (millones de dolares) en límites de balanza		
	en límites de balanza	fuera de límites	total
25	20.8	14.0	35.4
50	33.4	25.5	58.9
100	54.6	45.1	99.7

Un análisis de los costos fijos demuestra que los datos arriba descritos se pueden ajustar mediante una regresión lineal a una función que puede ser del tipo lineal, exponencial, logarítmica o potencial. El mejor ajuste de los datos es el que tiene el coeficiente de correlación más aproximado a la unidad, y en todos los casos se encontró que para la inversión fija el mejor ajuste es del tipo potencial, por lo que la ecuación que describe los datos es del tipo

$$Y = a \cdot x^b$$

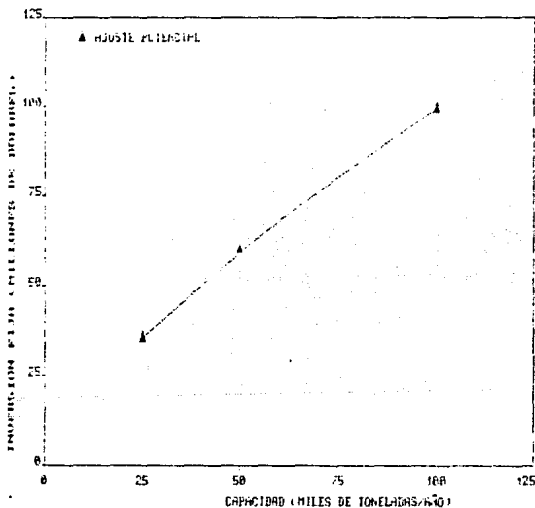
Así pues de la aplicación del método de regresión lineal a los datos de la inversión fija total de la tabla V.6 se obtuvo la siguiente ecuación de tipo potencial

$$Y = 0.1855409 X^{0.469221}$$

o políester

En forma gráfica el comportamiento de la inversión fija en función de la capacidad de la planta se representa en la gráfica VII.1.

Gráfica VII.1
Comportamiento Inversión Fija
para plantas de fibras poliéster a partir de DMI y EG



En lo referente al analisis de los costos de produccion de distintas plantas para producir fibras poliester a partir de DMI y EG, los datos reordenados de los costos de produccion a distintos niveles de aprovechamiento de la planta en funcion de la capacidad de la misma se muestran en la tabla VII.2.

Tabla VII.2
Costos de Produccion de plantas de poliester a partir de DMI y EG

(X) CAPACIDAD (miles ton/año)	(Y) COSTOS a 100% de aprovechamiento	DE PRODUCCION a 75% de aprovechamiento	(Dolares/lq) a 50% de aprovechamiento
25	1.2095	1.2600	1.7200
50	1.2914	1.2250	1.4537
100	1.0280	1.1422	1.3665

La aplicacion del método de regresión lineal a los datos de los costos de produccion a distintos niveles de aprovechamiento de la planta, arriba mostrados conduce a las siguientes ecuaciones, que coincidentemente son tambien del tipo potencial, puesto que fueron las que tuvieron el coeficiente de correlacion mas cercano a la unidad.

A 100% de aprovechamiento de la planta:

$$Y = 1.7487301 X^{-0.1167942}$$

1 poliester

A 75% de aprovechamiento de la planta:

$$Y = 2.1368653 X^{-0.1381494}$$

2 poliester

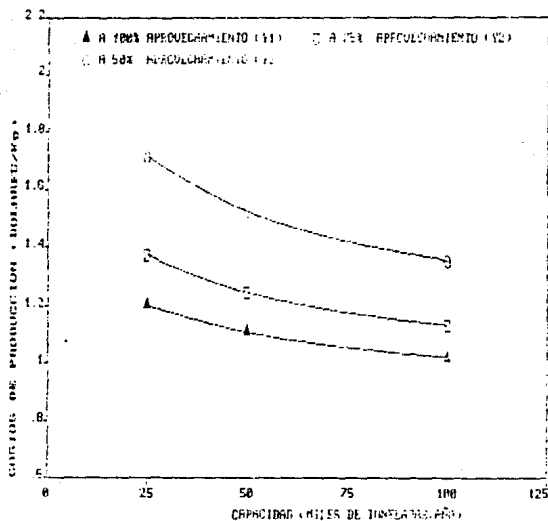
A 50% de aprovechamiento de la planta

$$r = -0.1690283$$
$$= 2.9520752 \text{ A}$$

3 poliester

En forma grafica, el comportamiento de dichas ecuaciones se representa en la grafica V.12.

Gráfica V.12
Costos de Producción de piezas de fibras poliester a partir de DM y Eo



En la tabla V.8 se presentan en forma reordenada los datos de la inversión fija requerida para distintas capacidades de plantas de fibras poliéster a partir de IFA, Ecu. esto con el fin de facilitar la aplicación del método de regresión lineal, obtener la ecuación del tipo potencial que describe el comportamiento de la inversión fija.

Tabla V.8
Inversión Fija para plantas de fibras poliéster
a partir de ácido tereftálico (TA) y etilendiol (EG)

(X) CAPACIDAD (miles ton/año)	(Y) INVERSIÓN FIJA (millones de dólares)		
	en límites de batería	fuera de límites	Total
25	20.7	13.8	34.5
50	30.4	23.9	54.3
100	45.1	40.7	85.8

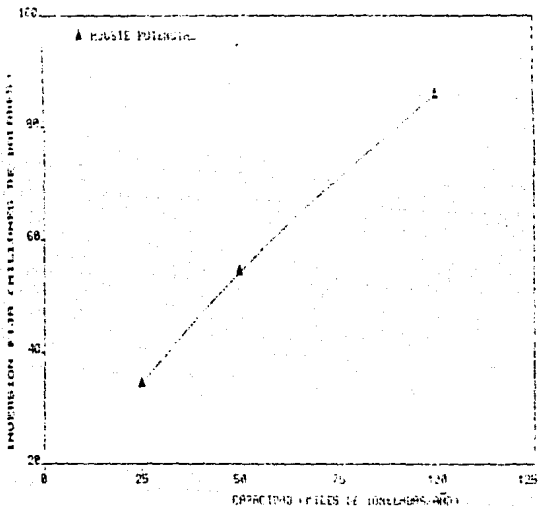
Mediante la regresión lineal de los datos y eligiendo la ecuación con el coeficiente de correlación más cercano a la unidad, se llegó al establecimiento de la siguiente ecuación del tipo potencial, esto para describir el comportamiento de la inversión fija de plantas de fibras poliéster a distintas capacidades

$$Y = 4.147164 x^{0.6571906}$$

0 poliéster

La representación gráfica de este comportamiento se describe en la gráfica V.13

Gráfica 11.13
Comportamiento de la inversión fira para plantas
de fibras poliéster a partir de IPA y EO



En lo referente al comportamiento de los costos de producción para el establecimiento de una planta para este mismo proceso, en la tabla V.7 se muestran los datos ordenados de dichos costos, con el fin de facilitar su visualización para realizar la regresión múltiple.

Tabla V.7
Costos de Producción de plantas de fibras
poliéster a partir de IFA y EG

(X) CAPACIDAD (miles ton/año)	(Y) COSTOS DE PRODUCCIÓN		DOLÁRES/TG	
	a 100% de aprovechamiento	a 75% de aprovechamiento	a 50% de aprovechamiento	a 25% de aprovechamiento
25	1.1948	1.3651	1.7056	
50	1.0612	1.1877	1.4397	
100	0.9863	1.0794	1.2770	

La aplicación de la regresión lineal a los datos arriba descritos conduce a que las ecuaciones más aproximadas al comportamiento de los mismos sean del tipo potencial, debido a su coeficiente de correlación más cercano a la unidad. Así pues para este proceso y a distintos niveles de aprovechamiento de la planta las ecuaciones que mejor se ajustan al comportamiento de los costos en función de la capacidad de la planta son las siguientes:

A 100% de aprovechamiento de la planta

$$Y = 1.8796258 X^{-0.1427369}$$

1 poliéster

A 75% de aprovechamiento de la planta

$$Y = 2.3379128 X^{-0.1693886}$$

2 poliéster

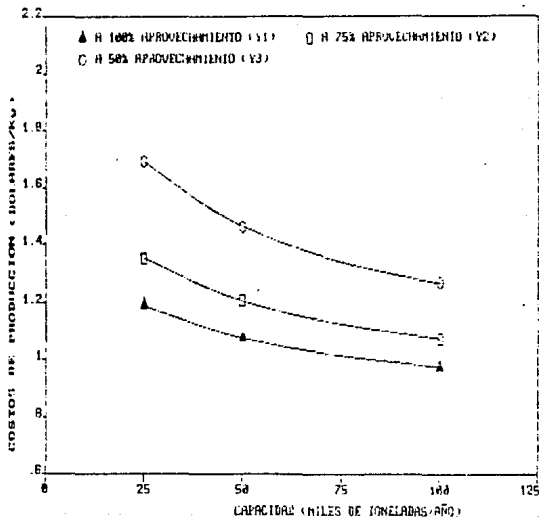
A 50% de aprovechamiento de la planta

$$= 3.3122599 \times 0.2087504$$

3 poliester

En lo referente a la descripción gráfica del comportamiento de estas ecuaciones, en la gráfica V.14 se muestra dicha conducta

Gráfica V.14
Costos de Producción de plantas de fibras poliester a partir de IPK y Eu



V.7 Analisis de los costos para plantas de fibra poliester.

Si se analiza la inversión neta que implica el establecimiento de una planta de fibra poliester, resultaría mas economico implementar un proyecto para su manufactura a partir de acido tereftalico (IPA) y etilenoico (EG), ya que como se observa en los datos de costos reportados para ambos procesos, el costo total de materias primas es menor para el proceso 2 (en que se parte de IPA y EG) que para el proceso 1 (en que la reaccion es entre DMF y EG), aunque el costo de los servicios es en forma total mas alto para el proceso 2 que para el 1.

La diferencia estriba esencialmente en que se emplea menor cantidad de IPA por kilogramo de producto en el proceso 2, que DMF por kilogramo de producto en el proceso 1. Este dato se observa en la columna de consumo/ty que se presenta en el desglose de los costos de ambos procesos. Los datos son de 0.8503 ton de IPA/ty de producto en el proceso 2, y de 1.001 ton de DMF/ty de producto respectivamente.

Es tambien destacable el hecho de que a pesar de tener un valor mas alto en el mercado el IPA (58.2 centavos de dolar/ty a precios de 1980) que el DMF (54.2 centavos de dolar/ty) el proceso de produccion de fibras poliester a partir de IPA y EG (proceso 2) resulta ser mas barato que el proceso a partir de DMF y EG (proceso 1).

El proceso 1 tambien podria implicar sinembargo cierta atraccion si se pretendiera vender Metanol, ya que como subproducto de la reaccion entre el DMF y el EG no es reutilizable en el proceso mismo, lo que conllevaria a recuperar una buena parte de los gastos de la inversion. En lo referente a los Costos de Produccion tambien resulta ser el proceso 2 (a partir de IPA y EG) mas economico que el proceso 1 (a partir de DMF y EG) a cualquiera de los niveles de aprovechamiento de la planta que se desee analizar, sobretodo a las capacidades mas altas

de la planta productiva, ya que a niveles bajos de capacidad (por ejemplo 25 toneladas/año) las diferencias no son muy significativas. A niveles de 100 toneladas/año de capacidad los costos de mantenimiento de materiales y de mano de obra juegan el papel principal para que los costos de producción en el proceso 2 resulten ser más atractivos que los del proceso 1, para el posible establecimiento de alguna planta.

CAPITULO VI
ANALISIS DE COSTOS DE OTRAS FIBRAS QUIMICAS

CAPITULO VI

ANALISIS DE COSTOS DE PLANTA DE OTRAS FIBRAS QUIMICAS.

VI.1 Costos de plantas para producir Fibras Nylon

En esta seccion se presentaran los datos de los costos de materias primas y servicios, asi como los datos de los costos fijos y de produccion que implica el establecimiento de una planta de Nylon a partir de caprolactama.

El analisis se limitara a desglosar cada uno de los aspectos arriba mencionados y a la obtencion de las ecuaciones que mejor describan su comportamiento, ya que a diferencia de las fibras poliester, para la produccion de fibras nylon solo se cuenta con un proceso para su fabricacion.

En la tabla VI.1 se muestra el desglose de los costos de las materias primas y los servicios auxiliares requeridos para producir las fibras nylon, en tanto que en la tabla VI.2 se presentan los datos de la inversion fija y los costos de produccion desglosados para el mismo proceso.

Tabla VI.1 Costos de Materias Primas y Servicios para el Proceso de Fabricacion de Fibras Nylon a partir de Caprolactama

	<u>Costo Unitario</u>	<u>Consumo/ton de producto</u>	<u>c/kg</u>
<u>MATERIAS PRIMAS</u>			
Caprolactama	1.87 \$/kg	0.9450 tons	177.65
Acido Acetico	36.40 c/kg	0.0020 tons	0.07
Aditivos	3.09 \$/kg	0.0100 tons	3.09
Recuperación de nylon	1.44 \$/kg	0.0650 tons	9.33
Recuperación de quimicos	77.30 c/kg	0.0100 tons	<u>0.77</u>
Costo Total de Materias Primas			190.91
<u>SERVICIOS</u>			
Agua de Enfriamiento	1.59 c/m ³	110.00 m ³	0.17
Vapor	7.45 \$/ton	0.85 ton	0.63
Electricidad	4.0 c/kwh	106.00 kwh	0.42
Gas Natural	0.91 c/ton-cal	611.00 ton-cal	<u>0.56</u>
Costo Total de Servicios			1.78

Tabla VI.2 Inversión Fija, Costos de Producción de plantas para producir fibras Nylon

INVERSION FIJA (U.S.A. millones de dolares)	CAPACIDAD DE PLANTA (Miles de toneladas/año)		
	15	25	50
En lientes de batería	7.4	10.7	17.5
Fuera de lientes	<u>2.8</u>	<u>4.0</u>	<u>6.2</u>
Capital Fijo Total	10.2	14.7	24.0
COSTOS DE PRODUCCIÓN (U.S.A. c/kg de producto)			
<u>Costos Variables</u>			
Materias Primas	190.91	190.91	190.91
Servicios	1.78	1.78	1.78
Costos Variables Totales	<u>192.69</u>	<u>192.69</u>	<u>192.69</u>
Materiales p/mantenimiento	1.48	1.28	1.06
Materiales y agentes químicos	0.64	0.37	0.20
Mano de Obra (7 pers/turmo)	6.37	3.81	1.92
Mano de Obra p/mantenimiento	1.46	1.26	1.06
Laboratorio Control Calidad	<u>1.23</u>	<u>0.77</u>	<u>0.57</u>
Costos Directos Totales	203.94	200.20	157.30
Gastos Generales	7.30	4.70	2.67
Impuestos y Seguro	1.37	1.17	0.97
Depreciación	6.81	5.86	4.81
Gastos Ofn. de Ventas	<u>41.71</u>	<u>39.99</u>	<u>36.43</u>
COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN (En función del aprovechamiento de la capacidad de la planta)			
a 100% de aprovechamiento	261.13	251.92	244.20
a 75% de aprovechamiento	264.16	271.96	261.59
a 50% de aprovechamiento	330.26	311.87	296.40
VALOR DEL PRODUCTO (U.S.A. c/kg de producto a precios de 1986)			
a 100% de aprovechamiento	278.15	266.66	256.19
a 75% de aprovechamiento	306.84	291.47	277.56
a 50% de aprovechamiento	364.29	341.23	320.37

*Incluye 25% por imprevistos

Una vez desglosados todos los costos de planta para producir fibras nylon a partir de caprolactama en funcion de la capacidad requerida, se reordenaron los mismos para poder facilitar su tratamiento al realizar la regresion lineal para encontrar la ecuacion que mejor describiera su comportamiento.

De esta forma en la tabla VI.3 se muestran los datos de la inversion fija para este proceso de produccion de fibras nylon.

Tabla VI.3
Inversion Fija para plantas de fibra nylon
a partir de caprolactama

(A) CAPACIDAD (miles toneladas)	(B) INVERSION FIJA (millones de dolares)		
	en limites de bateria	fuera de limites	Total
15	7.4	2.8	10.2
25	10.7	4.0	14.7
50	17.8	6.2	24.0

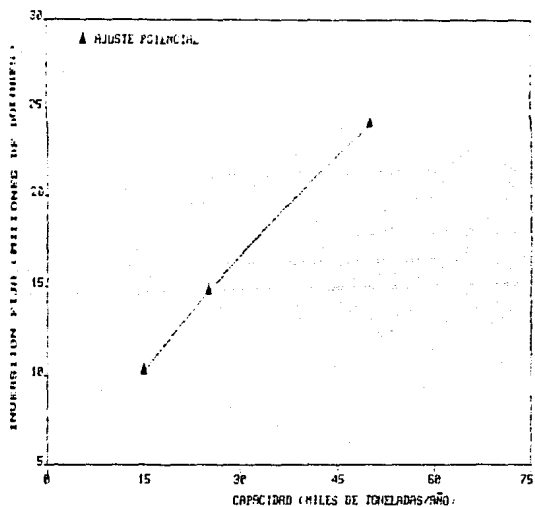
Al realizar la regresion lineal se encontro que la mejor ecuacion para ajustar los datos de la inversion fija para plantas de fibras nylon en funcion de la capacidad, es del tipo potencial, ya que esta fue la que presento el más alto coeficiente de correlacion. Así pues la ecuación encontrada fue la siguiente:

$$Y = 1.4906833 X^{0.7105012}$$

Y nylon

En lo referente a la representacion grafica del comportamiento de dicha ecuacion es la siguiente

Gráfica VI.1
Comportamiento de la Inversión Fija
para planta de fibras nylon a partir de caprolectano



En la tabla VI.4 se reordenaron los datos de los costos de producción previamente desglosados, de las distintas plantas para producir fibras nylon a partir de caprolactama, esto con el fin de facilitar su análisis de regresión lineal

Tabla VI.4
Costos de Producción para plantas
de fibras nylon

(X) CAPACIDAD (miles ton/año)	(Y) COSTOS DE PRODUCCION (dolares/kg) a 100% de aprovechamiento	DE PRODUCCION (dolares/kg) a 75% de aprovechamiento	a 50% de aprovechamiento
15	2.6113	2.8416	3.3026
25	2.5172	2.7199	3.1187
50	2.4429	2.6157	2.9540

Al realizar la regresión lineal de los costos de producción a distintos niveles de aprovechamiento de la planta se llegó a las siguientes ecuaciones del tipo potencial (las cuales mostraron el coeficiente de correlación más cercano a la unidad)

A 100% de aprovechamiento de la planta

$$Y_1 = 3.0225211 X_1^{-0.0550533}$$

1 nylon

A 75% de aprovechamiento de la planta

$$Y_2 = 3.403843 X_2^{-0.0579903}$$

2 nylon

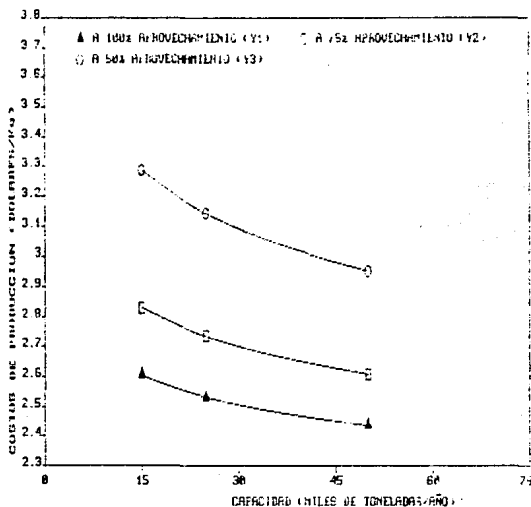
A 50% de aprovechamiento de la planta

$$Y_3 = 4.1833096 X_3^{-0.0688959}$$

3 nylon

La representación gráfica del comportamiento de estas tres ecuaciones para describir los costos de producción en función de la capacidad de la planta, a los distintos niveles de aprovechamiento de la misma es como sigue

Gráfica VI.2
Costos de Producción de plantas de fibras nylon a partir de caprolactame



VI.2 Costos de Planta de Fibras Polipropileno.

En esta parte del trabajo se presentaran los datos de los costos de materias primas y servicios, así como los datos de los costos fijos y de producción que implica el establecimiento de una planta de Polipropileno a partir del monomero de polipropileno.

En la tabla VI.3 se presentan los datos de los costos de materias primas y servicios para la fabricación de fibras polipropileno, ten tanto que en la tabla VI.4 se muestran los datos de la inversión fija y los costos de producción en función de la capacidad de la planta. En esta última se incluyen también los datos del valor del producto a precios de 1986 en los U.S.A.

El análisis se limitara a desglosar cada uno de los aspectos arriba mencionados y a la obtención de las ecuaciones que mejor describan su comportamiento, y que serán aquellas que tengan el mayor coeficiente de correlación. En todos los casos se encontró que también fueron del tipo potencial, al igual que las encontradas para los datos de costos de las fibras anteriormente estudiadas.

Tabla VI.5 Costos de Materias Primas y Servicios de plantas para producir fibras polipropileno

	<u>Costo Unitario</u>	<u>Consumo/ton de producto</u>	<u>c/tq</u>
<u>MATERIAS PRIMAS</u>			
Monomero de propileno	30.90 c/tq	1.0400 tons	32.10
Hidrogeno	6.02 c/tq	0.0002 tons	0.11
Catalizador y aditivos			<u>4.85</u>
Costo Total de Materias Primas			37.06
<u>SERVICIOS</u>			
Agua de Enfriamiento	1.59 c/m ³	78.00 m ³	0.12
Vapor	7.45 \$/ton	0.47 ton	0.35
Electricidad	4.0 c/kwh	575.60 kwh	2.30
Gas Natural	0.91 c/ton-cal	41.67 ton-cal	0.04
Gas Inerte	1.57 c/m ³	62.0 m ³	<u>0.11</u>
Costo Total de Servicios			2.92

Tabla VI.6 Inversión Fija y Costos de Producción de Plantas para producir Fibras Polipropileno en función de la capacidad (1966)

INVERSIÓN FIJA (U.S.A. millones de dolares*)	CAPACIDAD DE PLANTA (Miles de toneladas/año)		
	60	120	240
En límites de batería	20.2	32.2	53.4
Fuera de límites	19.1	16.8	29.5
Capital Fijo Total	39.3	49.0	82.9
COSTOS DE PRODUCCIÓN (U.S.A. c/kg de producto)			
<u>Costos Variables</u>			
Materias Primas	37.06	37.06	37.06
Servicios	2.92	2.92	2.92
Costos Variables Totales	<u>39.98</u>	<u>39.98</u>	<u>39.98</u>
Materiales p/mantenimiento	0.68	0.55	0.44
Materiales y agentes químicos	0.26	0.13	0.09
Mano de Obra (7 pers/turno)	2.56	1.28	0.68
Mano de Obra p/mantenimiento	0.68	0.53	0.44
Laboratorio Control Calidad	<u>0.51</u>	<u>0.26</u>	<u>0.16</u>
Costos Directos Totales	44.67	42.71	42.01
Gastos Generales	2.98	1.65	1.19
Impuestos y Seguro	1.01	0.62	0.71
Depreciación	5.05	4.08	3.48
Gastos Ofn. de Ventas	<u>7.26</u>	<u>6.59</u>	<u>6.24</u>
COSTOS TOTALES DE PRODUCCIÓN (En función del aprovechamiento de la capacidad de la planta)			
a 100% de aprovechamiento	61.07	55.85	53.63
a 75% de aprovechamiento	68.51	61.55	58.58
a 50% de aprovechamiento	83.36	72.91	66.46
VALOR DEL PRODUCTO (U.S.A c/kg de producto a precios de 1966)			
a 100% de aprovechamiento	73.68	66.04	62.36
a 75% de aprovechamiento	85.33	75.13	70.21
a 50% de aprovechamiento	108.58	93.26	85.91

*incluye 25% por imprevistos

De los datos desglorados de los costos de la inversion fija para plantas de fibras polipropileno se resume en la tabla VI.7 los valores de esta a las distintas capacidades para efectos de facilitar el analisis de regresion lineal de los mismos.

Tabla VI.7
Inversion fija de plantas para
producir fibra polipropileno

(i) CAPACIDAD (miles toneladas)	(ii) INVERSION FIJA (millones de dolares) en límites de batería	fuera de límites	Total
60	20.2	10.1	30.3
120	32.0	16.8	48.8
240	53.4	30.5	83.9

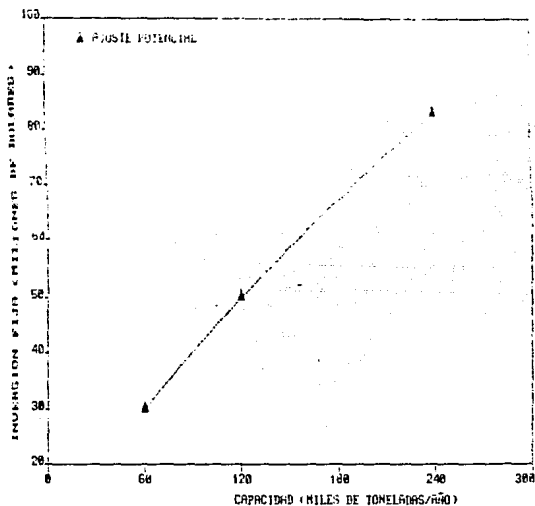
Así pues una vez realizada la regresion lineal se llegó a que el modelo de ecuacion que mejor ajusta los datos es del tipo potencial, y la ecuacion resultante fue:

$$Y = 0.7346765 X^{1.4802975}$$

Y
U polipropileno

La representacion grafica del comportamiento de la inversion fija en funcion de la capacidad para plantas de fibras polipropileno se muestra en la grafica VI.3

Gráfica VI.3
Comportamiento de la Inversión Fija de planta
para producir fibras polipropileno



En lo que respecta a los datos de los costos de producción de para producir fibra polipropileno, a distintas capacidades y con distintos niveles de aprovechamiento de planta estos se resumen en la tabla VI.8.

Tabla VI.8
Costos de Producción de plantas
para producir fibra polipropileno

(A) CAPACIDAD (miles toneladas)	(B) COSTOS DE PRODUCCION a 100% de aprovechamiento	(C) DE PRODUCCION a 75% de aprovechamiento	(D) (Dolares/lb) a 50% de aprovechamiento
60	0.6107	0.6851	0.8336
120	0.5585	0.6155	0.7291
240	0.5363	0.5858	0.6846

La aplicación de la regresión lineal a los datos de costos de producción a los distintos niveles de aprovechamiento de planta, considerando las distintas capacidades, conduce al establecimiento de las siguientes ecuaciones:

A 100% de aprovechamiento de la planta

$$Y = 0.8970582 X - 0.0937116$$

1 polipropileno

A 75% de aprovechamiento de la planta

$$Y = 1.0775246 X - 0.1129531$$

2 polipropileno

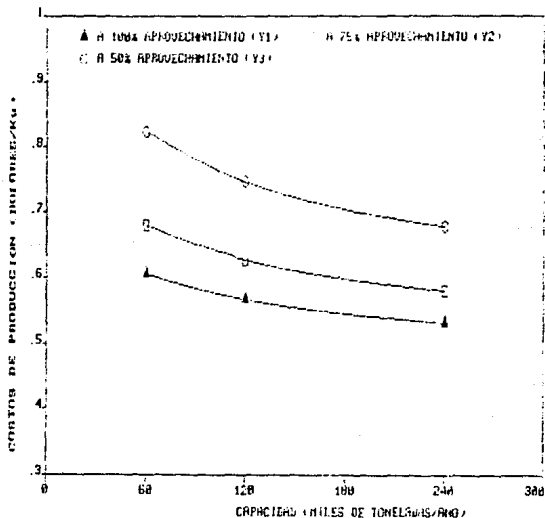
A 50 % de aprovechamiento de la planta

$$Y = 1.4736763 X - 0.142047$$

3 polipropileno

La representación gráfica del comportamiento de estas ecuaciones en contradas para describir los costos de producción a distintos niveles de aprovechamiento de planta para producir fibras polipropileno se muestra en la gráfica VI.4.

Gráfica VI.4
Costos de Producción de plantas para producir fibras polipropileno



CAPITULO VII
CONCLUSIONES

CAPITULO VII.

CONCLUSIONES.

Al inicio del trabajo se realizó una investigación tendiente a establecer las características básicas de las fibras, empezando por la definición de fibra como tal, el origen de las mismas describiendo una breve resena histórica. la clasificación de las fibras blandas en naturales y químicas sobre la base del origen de sus principales materias primas, se estableció y enfatizó sobre los usos de las fibras químicas en su principales campos de aplicación.

Posteriormente se describió la importancia que tienen las fibras químicas dentro del sector petroquímico nacional, ya que en forma general todas las fibras químicas analizadas tienen su origen en este sector, es decir, que todas las fibras con mayor importancia en el mercado nacional requieren de por lo menos una materia prima de origen petroquímico.

Además según la tendencia histórica, las fibras químicas cada vez tienen una mayor participación en la industria petroquímica debido a que a partir del año de 1970 estas han tendido a desplazar a las naturales.

En lo referente al análisis del mercado mundial y nacional la situación es similar. La tendencia general en los últimos años la utilidad de las fibras químicas se ha detenido, es decir la evolución tan creciente mostrada por el mercado de las mismas en la década de los sesentas, setentas y principios de los ochentas se ha detenido, y en los últimos años las cifras indican tendencias a ritmos moderados de crecimiento. Este estancamiento puede deberse al grave problema, de todos conocido, que constituye la grave crisis económica por la que

se pase a nivel mundial, y en la que sobretodo Latinoamérica y por supuesto Mexico tiene una participacion considerable, aunque se piensa que en parte tambien se debe a que lo novedoso de éstas fibras parece haberse consumado y tan solo cabria esperar que la producción de la fibra se acondicione o adecue a la dinamica de la población.

La situacion del mercado nacional de las fibras químicas es similar, ya que las cifras indican que las tendencias de crecimiento tambien son a ritmos moderados, por lo que se espera que en los proximos años continúe así.

De acuerdo a las proyecciones de la demanda de los diferentes tipos de fibras se encontro que en todos los casos, la demanda que se estima hasta 1995 quedará satisfecha con la capacidad instalada actual.

Durante el desarrollo del trabajo y de acuerdo a su impacto en el mercado nacional se esperaba que la principal fibra química nacional como lo es la fibra poliéster, tendría una demanda insatisfecha para 1995, debido a que los niveles consumo y de exportaciones se venían incrementando considerablemente, sin embargo, al realizar el análisis multivariable se encontró que no sería así y que con tan sólo con optimizar el aprovechamiento de la planta productiva a niveles de 70 a 75% el mercado para 1995 quedará cubierto.

sobre la base de este razonamiento se decidió solamente describir el análisis de costos de los dos procesos existentes para producir la fibras poliéster en el país, sin llegar al establecimiento del diagrama de flujo de proceso y al balance y energía del mismo, puesto que no se tendría ninguna base de cálculo que lo fundamentara.

Se encontró que resultaría más económico implementar un proyecto de

producción de fibras poliéster que se basara en el proceso a partir de ácido tereftálico (ITA) y etilenglicol (EG), si es que tan solo se consideraran como criterios de decisión los costos de materias primas y servicios, la inversión fija y los costos de producción, aunque las diferencias con respecto a los costos para producir las fibras poliéster mediante el otro proceso existente a partir de dimetiltereftalato (DMT) y etilenglicol (EG) no son muy significativas, e incluso en el caso de este segundo proceso el hecho de producirse metanol como subproducto de la reacción entre el DMT y el EG podría representar ingresos importantes, los cuales podrían en un momento dado ser un criterio más valioso para decidirse sobre este proceso, sobretodo pensando en el gran mercado que tiene el metanol como tal.

Como punto final se concluye que el presente trabajo se constituye como una base para establecer en un momento dado, una alternativa para tener criterios o justificaciones para decidir a cerca del establecimiento de posibles proyectos de ampliación de la planta productiva, no tan sólo de alguna fibra química como tal, sino para cualquier producto al cual se le quiera proyectar su demanada, sobretodo al mediano plazo, y se pretenda cubrir alguna demada insatisfecha. Se espera que presente pueda tener utilidad como un modelo para un estudio o análisis similar.

CAPITULO VIII
BIBLIOGRAFIA

CAPITULO VIII.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Textile Organon,
A Publication of The Textile Economics Bureau, Inc.
1970-1988
- 2.- SRI International
PEP Yearbook, 1988
- 3.- SRI International
Chemical Economics Handbook, CEH. 1988
- 4.- Kirk-Othmer
Encyclopedia of Chemical Technology, 3a. Ed.
Vols. 1, 2, 5, 10, 16, 1b, 22.
- 5.- John J. McFetta
Encyclopedia of Chemical Processing and Design, 1a Ed.
Marcel Dekker Inc.
Vols. 1, 16, 21.
- 6.- The New Face of The World Petrochemical Sector
Implications for Developing Countries
World Bank, 1988
- 7.- James A. Kent
Biblioteca Krieger de Quimica Industrial, Vol. 2
Editorial CECSA.
- 8.- Boon Gerard Karel
The Standard Handbook of Textiles
Vols. 1, 2, 3.
- 9.- Soto Rodriguez H., et al
La Formulacion y la Evaluacion Tecnico-Economica
de Proyectos Industriales. 3a. Ed.
IPN, 1981

- 10.- Robert H. Perry/Cecyl H. Chilton
Manual del Ingeniero Químico, 5a Ed.
Editorial McGraw Hill, 1986
- 11.- Mercado García Alonso
Estructura y Dinamismo Del Mercado de la Tecnología Industrial
en México
Editorial McGraw Hill, 1980
- 12.- Cuaderno de Postgrado No.2 3a. Ed.
La Industria de los Procesos Químicos
UNAM, 1985
- 13.- Cuaderno de Postgrado No.18 2a. Ed.
Perfiles Químico Tecnológicos
UNAM, 1984
- 14.- Asociación Nacional de la Industria Química
Anuario Estadístico de la Industria Química Mexicana
ANIQ, Ediciones 1988, 1989
- 15.- Asociación Nacional de la Industria Química
Memorias del XIX Foro.
Inversión y Desarrollo en la Industria Química Mexicana
ANIQ, 1987
- 16.- Banco de México, Cuentas Nacionales 1975-89.
Oficina de Investigaciones Económicas.
Boletines 1975-1989
- 17.- Secretaría de Programación y Presupuesto
Cuentas Públicas, 1975-1988
- 18.- Instituto Nacional de Geografía e Informática
Proyecciones de la Población de México y de las Entidades
Federativas 1980-2010
INEGI-CONAPO, 1988

- 19.- Secretaría de Hacienda y Crédito Público
Dirección General de Aduanas, 1965-1968
- 20.- Memorias Estadísticas de la Cámara Nacional
de la Industria Textil 1980-1984.
- 21.- Enciclopedia Británica, Inc. 15a. Ed
William Benton Publisher, 1975
- 22.- Alfonso Mercado García
Estructura y Dinamismo del Mercado de la Tecnología
Industrial en México
El Colegio de México, 1980
- 23.- Roberto Fereá Rivera
Las Fibras Químicas dentro de la Industria Textil en México
Tesis UNAM, 1979.
- 24.- United Nations Conference on Trade and Development
Fibres & Textiles - Dimensions of Corporate Marketing Structure
Geneve, 1981
- 25.- Rafael Fajer García
La Reconversion Industrial en America Latina
La Industria Textil en México
Fondo de Cultura Económica, 1983.
- 26.- Instituto Nacional de Geografía e Informática
La Industria Textil y del Vestido en México 1976- 1985
INEGI, 1986.
- 27.- Dennis E. Johnson., Harnessing the Power of Multiple Regression
Chem. Eng., Nov., 176-188, (1989)
- 28.- Robert E. Miller., Polynomial Regression
Chem. Eng., Feb 3., 77-80, (1986)

29.- Robert E. Miller., Multiple Regression
Chem. Eng., Apr 11., 85-88 (1986)

30.- Nicholas F. Chermisindf.,
Statistical Regression Routines on Spreadsheets
Chem. Eng., Ago 17., 153-157 (1987)

APENDICE.

APENDICE A: REGRESION MULTIPLE.

REGRESION MULTIPLE.

En el inicio de esta seccion se generalizara la metodologıa para el modelo de regresion lineal simple. Si se considera entonces, un conjunto de variables aleatorias y_1, y_2, \dots, y_n , tales que su valor esperado pueda expresarse como una funcion lineal conocida, de parametros desconocidos $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$; es decir:

$$E(y_i) = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip}, \quad i=1, 2, \dots, n, \quad n/p+1 \quad (A.1)$$

donde las cantidades $x_{11}, x_{12}, \dots, x_{ip}$ se conocen de antemano. Si cada y_i , donde $i=1, 2, \dots, n$, es la suma de su valor esperado, dado por (A.1) más un termino aleatorio de error e_i :

$$y_i = E(y_i) + e_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_p x_{ip} + e_i \quad i=1, 2, \dots, n, \quad n/p+1 \quad (A.2)$$

donde:

$$E(e_i) = 0, \quad E(e_i^2) = \sigma^2, \quad E(e_i e_j) = 0 \text{ si } i \neq j; \quad i, j=1, 2, \dots, n$$

entonces la ecuacion (A.2) es un caso particular del llamado, modelo general de las hipotesis lineales.

Para estimar los parametros en el modelo de regresion multiple, es usual aplicar minimos cuadrados a una transformacion sencilla del propio modelo de regresion. Asi, si se supone que la ecuacion (A.2) es el modelo de regresion multiple y si el lado derecho de dicha ecuacion se suma y se resta la cantidad $\beta_1 \bar{x}_1 + \beta_2 \bar{x}_2 + \dots + \beta_p \bar{x}_p$, donde

$$\bar{x}_j = \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} \right) / n, \quad \text{con } j=1, 2, \dots, p, \text{ despues de ordenar en forma}$$

conveniente los terminos se obtiene:

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 \bar{x}_1 + \beta_2 \bar{x}_2 + \dots + \beta_p \bar{x}_p + \beta_1 (x_{i1} - \bar{x}_1) + \beta_2 (x_{i2} - \bar{x}_2) + \dots + \beta_p (x_{ip} - \bar{x}_p) + e_i$$

luego, si se introducen las sustituciones

$$\beta_0 + \beta_1 x_{1i} + \beta_2 x_{2i} + \dots + \beta_p x_{pi} = \mu, \quad y$$

$$x_{1i} - \bar{x}_1 = u_{1i}; \quad x_{2i} - \bar{x}_2 = u_{2i}; \quad \dots; \quad x_{pi} - \bar{x}_p = u_{pi}, \quad \text{resulta}$$

$$y_i = \mu + \beta_1 u_{1i} + \beta_2 u_{2i} + \dots + \beta_p u_{pi} + \epsilon_i, \quad i=1,2,\dots,n \quad (A.3)$$

Si se observa con detenimiento el modelo transformado se nota que tiene los mismos parámetros del modelo original, excepto que, en lugar de β_0 , aparece μ ; el artificio, sin embargo, es importante desde el punto de vista metodológico, porque, como se verá en seguida conduce a un sistema más simplificado de ecuaciones normales.

De hecho la ecuación normal para μ no contiene información sobre los parámetros β_j . Ahora bien para estimar los β_j , es necesario resolver un sistema de p ecuaciones lineales en los p β_j ; estimados los β_j , con $j=1,2,\dots,p$, β_0 se estimaría por:

$$\beta_0 = \mu - \beta_1 \bar{x}_1 - \beta_2 \bar{x}_2 - \dots - \beta_p \bar{x}_p$$

Si no se emplea el artificio descrito, la aplicación directa de mínimos cuadrados al modelo de regresión múltiple (A.2) conduciría a un sistema de $p+1$ ecuaciones lineales con $p+1$ incógnitas.

Resolver un sistema de tal magnitud, comprende una cantidad adicional, bastante considerable, de cálculos aritméticos, comparada con la requerida para resolver un sistema de p ecuaciones con p incógnitas.

Escrito el modelo de la forma (A.3) se aplica, entonces, el principio de mínimos cuadrados. Sea:

$$Q(\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_p) = \sum_{i=1}^n (\epsilon_i)^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - \beta_0 - \beta_1 x_{1i} - \beta_2 x_{2i} - \dots - \beta_p x_{pi})^2 \quad (A.4)$$

De acuerdo con el principio de mínimos cuadrados, los estimadores minimocuadráticos están dados por los valores de los parámetros:

$\mu, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$, que hacen mínima la suma de los cuadrados de los errores. Una condición necesaria, aunque no suficiente, para que esto ocurra es que las derivadas parciales de Q con respecto a $\mu, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$, sean iguales a cero, es decir que:

$$\frac{\partial Q}{\partial \mu} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \mu - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2} - \dots - \beta_p x_{ip}) (-1) = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_1} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \mu - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2} - \dots - \beta_p x_{ip}) (-x_{i1}) = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_2} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \mu - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2} - \dots - \beta_p x_{ip}) (-x_{i2}) = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial \beta_p} = 2 \sum_{i=1}^n (y_i - \mu - \beta_1 x_{i1} - \beta_2 x_{i2} - \dots - \beta_p x_{ip}) (-x_{ip}) = 0$$

expresiones que conducen al sistema de ecuaciones normales:

$$\mu: n\mu = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\beta_1: \beta_1 \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} + \dots + \beta_p \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{ip} = \sum_{i=1}^n x_{i1} y_i$$

$$\beta_2: \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} + \beta_2 \sum_{i=1}^n (x_{i2})^2 + \dots + \beta_p \sum_{i=1}^n x_{i2} x_{ip} = \sum_{i=1}^n x_{i2} y_i$$

$$\beta_p: \beta_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{ip} + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_{i2} x_{ip} + \dots + \beta_p \sum_{i=1}^n (x_{ip})^2 = \sum_{i=1}^n x_{ip} y_i \quad (A.5)$$

después de observar que: $\sum_{i=1}^n x_{i1} = \sum_{i=1}^n x_{i2} = \dots = \sum_{i=1}^n x_{ip} = 0$

La ecuación normal para μ , produce de inmediato la solución:

$$\mu' = \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) / n = \bar{y}_i$$

en tanto que las restantes p relaciones constituyen un sistema de p ecuaciones simultáneas en $\beta'_1, \beta'_2, \dots, \beta'_p$, que se requiere resolver.

Si se escribe $\sum_{i=1}^n x_{ij} x_{ik} = S_{jk}$; $y_i = h_j$; $\sum_{i=1}^n x_{ij} y_i = h_j$, con $j=1, 2, \dots, p$ y

$k=1, 2, \dots, p$, las últimas p relaciones de (A.5) pueden escribirse en notación matricial:

$$\begin{matrix} S_{11} & S_{12} & \dots & S_{1p} & \beta'_1 & h_1 \\ S_{21} & S_{22} & \dots & S_{2p} & \beta'_2 & h_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ S_{p1} & S_{p2} & \dots & S_{pp} & \beta'_p & h_p \end{matrix} =$$

Las cantidades S_{jk} y h_j , a partir de las observaciones originales, se calculan fácilmente usando las formulas:

$$S_{jk} = \sum_{i=1}^n x_{ij} x_{ik} = \sum_{i=1}^n X_{ij} X_{ik} - \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^n x_{ik} \right) / n \quad (A.7)$$

y

$$h_j = \sum_{i=1}^n x_{ij} y_i = \sum_{i=1}^n x_{ij} y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{ij} \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) / n \quad (A.8)$$

$$j=1, 2, \dots, p, \quad k=1, 2, \dots, p$$

Para encontrar los valores de cada parametro se requiere de la resolución de la matriz inversa de S , es decir S^{-1} , y es este el aspecto más complicado de la técnica de regresión; sin embargo existen varios métodos de inversión de matrices, mas en los cálculos estadísticos, es

frecuente emplear el método de Jacobiite suavizado que es apropiado para la inversión de matrices simétricas como la matriz S en la ecuación (A.6).

Dicho método se describirá más adelante con un ejemplo ilustrativo con cada una de las fibras químicas que se analizan en el presente trabajo.

APENDICE B: MEMORIA DE CALCULO

MEMORIA DE CALCULO

FIBRAS NYLON.- A continuación se describirá el análisis de regresión múltiple, con aplicación del método de Doolittle simplificado para los datos del consumo de fibras nylon en el período histórico de 1975-1988. La información de los consumos aparentes de fibras nylon se asociaron con dos de los parámetros más importantes dentro de la economía del país, como son el Producto Interno Bruto total (PIB tot) y el incremento poblacional y se buscó la ecuación o ecuaciones más apropiadas para describir el comportamiento del consumo, así como sus posibles tendencias o proyecciones al mediano plazo.

Los datos de que se partió se muestran en la tabla (M.1).

Tabla (M.1)
FIBRAS NYLON

n	Año	Consumo aparente (Miles de Tons)	PIB tot (Miles de Millones de pesos de 1980)	Población (Millones de Habs)
1	75	36.5	3,800	59.0
2	80	49.2	4,070	67.7
3	81	50.6	4,062	71.0
4	82	46.7	4,032	70.0
5	83	42.0	4,027	74.0
6	84	46.4	4,170	76.3
7	85	55.0	4,520	77.9
8	86	42.2	4,725	79.6
9	87	42.7	4,793	81.2
10	88	45.7	4,655	82.8
Σ		454.4	40,682	743.4

Empieando la metodología de la regresión múltiple, se estimará el efecto del FIBtot y el incremento poblacional sobre el consumo de fibras químicas, en el caso particular del nylon.

Se empezará por describir el ajuste del modelo en el que se considera una interacción entre el FIBtot (X_1) y la población (X_2); para después ver el modelo más simple que considere solo el efecto de ambos parámetros por separado sobre el consumo aparente:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_1 X_2$$

Transformando el modelo en la forma (A.5), se obtiene:

$$y = \mu + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_1 x_2 + e \quad (A.9)$$

donde:

$$x_1 = X_1 - \bar{X}_1; \quad x_2 = X_2 - \bar{X}_2; \quad x_1 x_2 = X_1 X_2 - \bar{X}_1 \bar{X}_2$$

$$\bar{X}_1 = (\sum X_1) / n; \quad \bar{X}_2 = (\sum X_2) / n; \quad \bar{X}_1 \bar{X}_2 = (\sum X_1 X_2) / n \quad \text{y también}$$

$$\mu = \beta_0 + \beta_1 \bar{X}_1 + \beta_2 \bar{X}_2 + \beta_3 (\bar{X}_1 \bar{X}_2)$$

Al aplicar mínimos cuadrados al modelo (A.9) se obtiene el sistema de ecuaciones normales:

$$\mu: n\mu = \sum_{i=1}^n y_i \quad (A.10)$$

$$\beta_1: \beta_1' \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 + \beta_2' \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \beta_3' \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i \quad (A.11)$$

$$\beta_2: \beta_1' \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \beta_2' \sum_{i=1}^n (x_{2i})^2 + \beta_3' \sum_{i=1}^n x_{1i} (x_{2i})^2 = \sum_{i=1}^n x_{2i} y_i \quad (A.12)$$

$$\beta = \beta \sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \beta \sum_{i=1}^n x_i (x_i) + \beta \sum_{i=1}^n (x_i) \quad (A.13)$$

$$= \sum_{i=1}^n (x_i^2 + x_i + 1) / n$$

Puesto que $n = 10$ el calculo directo produce los resultados siguientes:

$$\sum_{i=1}^n (x_i)^2 = \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 + n \bar{x}^2 = \sum_{i=1}^n (x_i)^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2 / n$$

$$= 3700 + 4570 + \dots + 4855 - (46682) / 10 = 1146.411$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i) = 59 + 69.7 + \dots + 82.8 - (745.4) / 10 = 430.364$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i)^2 (x_i) = 3700 (59) + 4570 (69.7) + \dots + 4855 (82.8) - [3498047.4] / 10 = 2.4657208 (10^8)$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i)^2 x_i = \sum_{i=1}^n x_i x_i - (\sum_{i=1}^n x_i) (\sum_{i=1}^n x_i) / n$$

$$= 3700 (59) + 4570 (69.7) + \dots + 4855 (82.8) - [46682 (3498047.4) / 10] = 1.5708668 (10^8)$$

$$\sum_{i=1}^n x_i (x_i)^2 = 3700 (59) + 4570 (69.7) + \dots + [745.4 (3498047.4) / 10] = 3307614$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} = \sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} - (\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12}) / n$$

$$= 3700(59) + 4570(69.7) + \dots + 4855(82.8) - [(46682)(745.4) / 10] = 18371.12$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{11} y = \sum_{i=1}^n (x_{11} - \bar{x}) y = \sum_{i=1}^n x_{11} y - (\sum_{i=1}^n x_{11}) (\sum_{i=1}^n y) / n$$

$$= 3700(30.5) + 4570(49.2) + \dots + 4855(45.7) - [(46682)(454.4) / 10] = 17911.32$$

$$\sum_{i=1}^n x_{12} y = 59(30.5) + 69.7(49.2) + \dots + 82.8(45.7) - (182.8)(45.7) / 10 = 201.344$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y = (218300)(30.5) + 318529(49.2) + \dots + (401994)(45.7)$$

$$- [(3498047.4)(454.4) / n] = 2054803.7$$

De aquí, para el caso particular de la fibra nylon, el sistema de ecuaciones normales dadas por (A.10), (A.11), (A.12) y (A.13), resulta ser:

$$10 \mu' = 454.4 \quad (A.14)$$

$$146411 \beta_1' + 18371.12 \beta_2' + 1.5708668 \times 10^8 \beta_3' = 17911.32 \quad (A.15)$$

$$18371.12 \beta_1' + 430.364 \beta_2' + 3307614 \beta_3' = 201.344 \quad (A.16)$$

$$1.5708668 \times 10^8 \beta_1' + 3307614 \beta_2' + 2.4657208 \times 10^{10} \beta_3' = 2054803.7 \quad (A.17)$$

La relación (A.14) de inmediato da $\mu' = 45.44$. La solución del sistema de ecuaciones (A.15), (A.16), (A.17) se obtiene calculando la inversa de la matriz de coeficientes:

$$\begin{array}{rcc}
 & 1146411 & 18371.12 & 1.5708668 \times 10^6 \\
 S = & 18371.12 & 430.364 & 3307614 \\
 & 1.5708668 \times 10^6 & 3307614 & 2.4657206 \times 10^6
 \end{array}$$

Para matrices inversas el Metodo de Doolittle abreviado de inversion de matrices, descrito por Anderson y Bancroft (1952), Steel y Torrie (1960), etc. es recomendable, y su aplicacion se describira a continuacion.

Metodo de Doolittle Abreviado de Inversion de Matrices.- Su aplicacion haciendo referencia a la tabla (A.1) requiere de los pasos siguientes:

1.- Se reproduce la parte superior de la matriz S ademas de la columna h de los lados derechos de las ecuaciones normales, siendo simetrica la matriz, la parte inferior es una imagen de la parte superior.

2.- $A = S$; es decir se reproduce la primera hilera de S .

$$B = A / A = A / 1146411 \text{ y entonces } B = 18371.12 / 1146411$$

$$B = 0.0160249$$

3.- $A = S - (A B) (A B)'$ o $A = S - (A B) (A B)$, donde los elementos de la segunda

hilera de S , y $A B = A B$, excepto por los errores de redondeo.

Se aconseja elegir, de estas dos cantidades, aquella para la cual los dos factores, en valor absoluto, son mas proximos. Asi:

$$A = S - A B = 430.364 - (18371.12)(0.0160249) = 294.39533$$

$$B = 1.5708668 \times 10^6 / 1146411 = 137.02475$$

$$A_{23} = S_{23} - A_{12} B_{12} = 3207614 - 18371.12(137.02475) = 790315.87$$

Luego $A_{1h} = S_{1h}$ y por lo tanto $B_{1h} = A_{1h} / A_{11} = A_{1h} / 1146411$

$$A_{2h} = S_{2h} - A_{12} B_{1h} = 201.344 - 18371.12(17911.32 / 1146411) = -85.682705$$

$A_{2j} = A_{2j} / A_{22}$ de esta forma se tiene que

$$B_{22} = A_{22} / A_{22} = 1 ; B_{23} = A_{23} / A_{22} = 790315.87 / 294.39533 = 2684.5394$$

$$B_{2h} = A_{2h} / A_{22} = -85.682705 / 294.39533 = -0.2910464$$

$$4.- A_{3j} = S_{3j} - (A_{13} B_{1j} + A_{23} B_{2j}) = S_{3j} - (A_{13} B_{1j} + A_{23} B_{2j})$$

$$A_{33} = S_{33} - (A_{13} B_{13} + A_{23} B_{23})$$

$$= 2.4657208 \times 10^{10} - [1.5708668 \times 10^8 (137.02475) + 79.0315.87(2684.5394)]$$

$$A_{33} = 1.0108109 \times 10^9$$

$$A_{3h} = S_{3h} - (A_{13} B_{1h} + A_{23} B_{2h})$$

$$= 2054803.7 - [1.5708668 \times 10^8 (0.0156208) + 790315.87(-0.2910464)]$$

$$A_{3h} = -169468.58$$

$$B_{3j} = A_{3j} / A_{33} ; B_{33} = A_{33} / A_{33} = 1 ; B_{3h} = A_{3h} / A_{33} = -0.0001677$$

Los coeficientes de las ecuaciones (A.11), (A.12) y (A.13) serán entonces:

$$\beta'_1 = B_1 - B_2 \beta'_2 - B_3 \beta'_3$$

$$\beta'_1 = 0.0158238 - 0.0180249(0.1591509) - 137.02475 = 0.0380525$$

$$\beta'_2 = B_2 - B_1 \beta'_1 = -0.2910484 - 1684.5394(-0.0001677)$$

$$\beta'_2 = 0.1591509$$

$$\beta'_3 = B_3 = -0.0001677$$

El cálculo de β_0 sería dado al despejarla de la ecuación:

$$\mu'_0 = \beta'_0 + \beta'_1 \bar{x}_1 - \beta'_2 \bar{x}_2 - \beta'_3 (\bar{x}_1 \bar{x}_2)$$

donde: $y = \mu'$

$$\bar{x}_1 = \sum x_1 / n = 46682/10 = 4668.2$$

$$\bar{x}_2 = \sum x_2 / n = 745.4/10 = 74.54$$

$$\bar{x}_1 \bar{x}_2 = \sum x_1 x_2 / n = 3498047.4/10 = 349804.74$$

Al sustituir éstos valores, así como los encontrados para las β'_i en la ecuación para calcular β_0 se obtiene:

$$\beta'_0 = -76.061134$$

Dado que $\mu = \gamma$ la primera ecuación que considera la interacción entre

X_1 y X_2 finalmente será

$$1 \quad 2$$

$$y_{1 \text{ nylon}} = -76.061134 + 0.0360525 X_1 + 0.1591509 X_2 - 0.0001677 X_1 X_2$$

En forma resumida el Método de Doornik simplificado de inversión de matrices se muestra en la siguiente tabla:

Tabla (H.2)
Método de Doornik simplificado
para el primer modelo de las fibras nylon

	X_1	X_2	X_3	h
S _{1j}	1146411	18371.12	1.5708666x10 ⁹	17911.32
S _{2j}		450.364	3307614	201.344
S _{3j}			2.4657208x10 ¹⁰	2045803.7
A _{1j}	1146411	18371.12	1.5708666x10 ⁹	17911.32
B _{1j}	1	0.0160246	137.02475	0.0156238
A _{2j}		294.39533	790315.87	-85.682705
B _{2j}		1	2684.5394	-0.2910464
A _{3j}			1.0108109x10 ¹⁰	-169466.58
B _{3j}			1	-0.0001677

Analisis de Varianza.-

Una vez resuelto el problema de investigacion es importante establecer una prueba de hipotesis para tener un parametro de desviacion de los datos. Asi si se considera la prueba de hipotesis:

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$$

Como en la regresion simple, el criterio de prueba puede derivarse, tanto desde el punto de vista minimocuadratico puro, como desde el punto de vista de la teoria normal. Aqui, la hipotesis alternativa que se puede considerar es: H_1 : al menos una de las β_j es distinta de cero

con $j=1,2,\dots,p$.

De aqui se deduce que se puede emplear la estadistica $F = CM_{Regr}/s^2$ como criterio de decision para la prueba de hipotesis $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ vs $H_1: \beta_j \neq 0$, por lo menos para un valor del indice j , donde $j=1,2,\dots,p$, comparando contra el valor tabulado de la distribucion F , con p y $n-1$ grados de libertad, al nivel de significancia que se elija.

Asi si se denota por F_{α} al valor tabulado de la distribucion F , con p y $n-1$ grados de libertad, al nivel α de significancia, H_0 se rechazara si el valor calculado de F es mayor o igual que F_{α} ; por el contrario, no se rechazara si F es menor que F_{α} .

Para llegar a la estimacion de F se requiere estimar sucesivamente la suma de cuadrados debida a la regresion SC_{Regr} , la suma de cuadrados total SCE_{Tot} , la suma de cuadrados debida a error SCE , el cuadrado medio del error CME , y el cuadrado medio de regresion CM_{Regr} .

Cada uno de estos parametros viene dado por las siguientes formulas:

$$SC_{Regr} = \beta_1 h_1 + \beta_2 h_2 + \beta_3 h_3 \quad (A.18)$$

$$SCE = SCE_{Tot} - SC_{Regr} \quad (A.19)$$

$$SCE_{tot} = \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 \right) - \frac{\left(\sum_{i=1}^n y_i \right)^2}{n} \quad (A.20)$$

$$CME = s^2 = SCE / (n-1-p) \quad (A.21)$$

$$CM_{Regr} = SCE_{Regr} / p \quad (A.22)$$

Finalmente para calcular la estadística F

$$F = CM_{Regr} / s^2 \quad (A.23)$$

Al sustituir los datos obtenidos para la fibra nylon y si se realiza el cálculo directo se obtiene:

$$SCE_{Regr} = 0.015068(17911.32) + 0.0025195(201.344) + 5.5940826810 \cdot (2054803.7) = 279.40355$$

$$SCE_{tot} = 405.784$$

$$SCE = 405.784 - 279.40355 = 126.3805$$

$$CME = 126.3805 / (10-1-3) = 21.0634433$$

$$CM_{Regr} = 279.40355 / 3 = 139.70168$$

Se consideran 3 grados de libertad en este cálculo debido a x_1 , x_2 y a la interacción entre ambos. Finalmente:

$$F = 139.70168 / 21.063433 = 6.6324$$

De tablas con $n=6$ y $p=3$ y a un nivel de significancia $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ los valores respectivos de F_α son 4.76 y 9.78.

Luego entonces a un nivel de significancia de $\alpha = 0.01$ F_{calc} es menor que F_α (tabulada) y por lo tanto la hipótesis $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p$ se acepta como cierta y la ecuación obtenida de y para el nylon es adecuada para predecir el comportamiento general de los datos.

A un nivel de significancia de $\alpha = 0.05$ la hipótesis no resulta válida, puesto que F_α es menor que F_{calc} y la ecuación es ineficiente para predecir el comportamiento de los datos.

En la practica la manera mas simple de realizar la prueba consiste en construir la tabla de analisis de varianzas, cuya estructura general se presenta en la tabla (A.23):

Tabla (A.23)
Regresion Multiple, Analisis de Varianza

Fuentes de Variacion	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	F Calculada
Regresion	p	SCh _{reg}	CM _{reg}	CM _{reg} / s ²
Error	n-1-p	SCE	CM _E = s ²	
Total	n - 1	$\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - (E y)^2 / n$		

En lo referente al modelo mas simple, la ecuacion escrita en forma simplificada tiene la forma:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

un analisis de regresion multiple similar al anterior, incluyendo la resolucioin del sistema de ecuaciones normales por el Metodo de Doolittle simplificado da los resultados que a continuacion se muestran.

El sistema de ecuaciones a resolver, escrito en forma simple es el siguiente:

$$ny = \sum_1 y \quad (A.24)$$

$$\beta_1 \sum_1 (X_1)^2 + \beta_2 \sum_1 X_1 X_2 = \sum_1 X_1 y \quad (A.25)$$

$$\beta_1 \sum_1 X_1 X_2 + \beta_2 \sum_2 (X_2)^2 = \sum_2 X_2 y \quad (A.26)$$

Sustituyendo los resultados de las sumatorias se tiene el sistema normal de ecuaciones:

$$100x_1 = 454.4 \quad \text{y por lo tanto} \quad \mu = y = 45.44$$

$$1146411 x_1 + 18371.12 x_2 = 17911.32$$

$$18371.12 x_1 + 430.364 x_2 = 201.344$$

La matriz resultante de dicho sistema es entonces:

$$S = \begin{bmatrix} 1146411 & 18371.12 \\ 18371.12 & 430.364 \end{bmatrix}$$

El resultado de la aplicación del método de Doolittle simplificado se resume en la tabla (A.4):

Tabla (A.4)
Método de Doolittle Simplificado
para el modelo simple de fibras nylon

	x_1	x_2	b
S_{1j}	1146411	18371.12	17911.32
S_{2j}		430.364	201.344
A_{1j}	1146411	18371.12	17911.32
B_{1j}	1	0.0160248	0.0156238
A_{2j}		135.96864	-85.683086
B_{2j}		1	-0.630168

El cálculo directo de los coeficientes al utilizar la tabla anterior da:

$$\beta_2 = \frac{B}{2h} \quad (A.27)$$

$$= -0.630168$$

$$\beta_1 = \frac{B}{h} - \frac{B}{h} \beta_2 \quad (A.28)$$

$$= 0.0156238 - 0.0169249(-0.630168) = 0.0257222$$

Como $\mu' = \beta_0 + \beta_1 \frac{Y}{1} + \beta_2 \frac{Z}{2}$ (A.29)

y además si se despeja β_0 de la ecuación de arriba, queda:

$$\beta_0 = \bar{y} - \beta_1 \frac{\bar{X}_1}{1} - \beta_2 \frac{\bar{X}_2}{2} \quad (A.30); \text{ donde}$$

$$\frac{\bar{X}_1}{1} = \frac{\sum X_1}{n} = 4668.2/10 = 4668.2$$

$$\frac{\bar{X}_2}{2} = \frac{\sum X_2}{n} = 745.4/10 = 74.54, \text{ por lo tanto}$$

$$\beta_0 = 45.44 - 0.0257222(4668.2) - (-0.630168)(74.54) = -27.663651$$

Con estos datos se llega a la ecuación para el modelo más simple, y ésta queda de la forma:

$$y_{2 \text{ nylon}} = -27.663651 + 0.0257222 X_1 - 0.630168 X_2$$

Por lo que se refiere al resumen del análisis de variancia, éste queda tal y como se muestra en la tabla (A.5)

Tabla (4.5)
 Analisis de Varianza
 modelo simple de Fibras Nylon

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresion	p=2	SCEgr=300.80	CMRegr=150.40	16.24
Error	n-1-p=7	SCE=71.45	CME=10.21	
Total	n-1=9	SCEtot=405.78		

De tablas con $p=2$ y $n=7$ grados de libertad en la regresion se tiene que la F_{α} a niveles de significancia de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$, toma los valores de 4.74 y 9.55 respectivamente, por lo que en ningun caso, y a ningun nivel de significancia la hipotesis $H_0: \beta_0 = \beta_1 = \dots = \beta_p$ resulta ser cierta, ya que

$$16.24 > 4.74, \quad \text{y} \quad 16.24 > 9.55$$

y por lo tanto la ecuacion obtenida para y del nylon no es adecuada para predecir los valores del consumo de fibras nylon.

FIBRAS QUÍMICAS.- Los datos de que se dispuso para el análisis de regresión múltiple para el consumo de fibras químicas en función del PIBtot y la población, se muestra en la tabla (4.6).

Tabla (4.6)
FIBRAS QUÍMICAS

n	Año	Consumo aparente (Miles de tons)	PIBtot (Miles de Millones de pesos de 1980)	Población (Millones de habitantes)	Interacción (X ₁ X ₂)	
					1	2
1	75	29.8	3,700	57.0		218,500
2	80	57.0	4,570	69.7		318,529
3	81	63.5	4,862	71.3		346,666.6
4	82	60.0	4,832	73.0		352,736
5	83	61.5	4,829	74.6		345,325.4
6	84	61.1	4,776	76.3		365,754.8
7	85	73.7	4,920	77.9		383,268
8	86	73.6	4,725	79.6		376,110
9	87	62.7	4,793	81.2		364,141.6
10	88	66.0	4,855	82.6		401,774
Σ		628.9	46,682	745.4		3,498,047.4

Para el modelo con interacción entre X₁ y X₂ los resultados de las sumatorias son muy similares a los encontrados para las fibras nylon, debido a que como se observa, los datos de el PIBtot y la Población, son los mismos para todas las fibras químicas.

Los únicos datos de sumatorias que varían con respecto a las obtenidas para las fibras nylon, son todos aquellos en los que existe, o están interactuando con las y, X₁ y X₂, es decir las siguientes sumatorias:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n y_{ij} = \sum_{j=1}^n \sum_{i=1}^n y_{ij} - \left(\sum_{i=1}^n X_{i1} \right) \left(\sum_{i=1}^n y_{i1} \right) / n1 = 39710.22$$

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) = 622.104$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_i = \sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_i - \frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) = 6344750.4$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 628.9$$

Las sumatorias que no varían y que siguen siendo las mismas son todas aquellas en las que no están involucradas las y_i , las cuales ya se calcularon en el análisis de regresión múltiple para las fibras nylon, y que son:

$$\sum_{i=1}^n x_{11} = 46682$$

$$\sum_{i=1}^n x_{12} = 745.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} = 16371.12$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 = 1146411$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{12})^2 = 430.364$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} (x_{12})^2 = 3307614$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 x_{12} = 1.5708366 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i)^2 = 2.4657208 \times 10^6$$

El sistema de ecuaciones normales a resolver viene dado por las siguientes expresiones:

$$n \mu = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\beta_1 \sum_{i=1}^n (x_i) + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_3 \sum_{i=1}^n (x_i)^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$\beta_1 \sum_{i=1}^n x_i x_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n (x_i)^2 + \beta_3 \sum_{i=1}^n x_i (x_i)^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

$$\beta_1 \sum_{i=1}^n (x_i)^2 x_i + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i (x_i)^2 + \beta_3 \sum_{i=1}^n (x_i)^2 (x_i)^2 = \sum_{i=1}^n (x_i)^2 y_i$$

De donde con la sustitucion directa de los calculos de las sumatorias se llega a que

$$10 \mu = 628.4 \text{ , y por lo tanto } \mu = \bar{y} = 62.84 \text{ ,}$$

ademas de que la matriz resultante junto con el vector h vienen dados por

$$S = \begin{matrix} & & & \beta \\ 1146411 & 18371.12 & 1.5708668 \times 10^6 & 39710.22 \\ \beta & 18371.12 & 430.364 & 3307614 \\ & & & & 222.104 \\ 1.5708668 \times 10^6 & 3307614 & 2.4657208 \times 10^6 & 6344750.4 \end{matrix}$$

La aplicación del método de Boollittle simplificado de inversión de matrices conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.7):

Tabla (A.7)
Método de Boollittle Simplificado
aplicado al primer modelo de las fibras acrílicas

	β_1	β_2	β_3	β
S _{1j}	1146411	16371.12	1.5708668x10 ⁶	39710.22
S _{2j}		430.364	3307614	822.104
S _{3j}			2.4657208x10 ¹⁰	6344750.4
A _{1j}	1146411	16371.12	1.5708668x10 ⁶	39710.22
B _{1j}	1	0.0180249	137.02475	0.0346387
A _{2j}		294.39533	790315.87	185.75175
B _{2j}		1	2684.5394	0.06309602
A _{3j}			1.0108109x10 ⁹	404814.71
B _{3j}			1	0.0004005

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se pueden obtener los coeficientes de la ecuación modelo, como sigue:

$$\beta_j^* = \frac{B_j}{3h} = 0.0004005$$

$$\beta'_{22} = B_{22} - B_{2h} \beta'_{1h} = 0.06309602 - 2664.5394(0.0004005) = -0.4441978$$

$$\beta'_{13} = B_{13} - B_{1h} \beta'_{1h} = 0.0346387 - 0.0160249(-0.4441978) = 137.02475(0.0004005)$$

$$\beta'_{11} = 0.0346387 - 0.0160249(-0.4441978) = 137.02475(0.0004005)$$

$$\beta'_{11} = -0.0131215$$

Como β'_0 viene dada por la expresion siguiente:

$$\beta'_0 = y - \beta'_1 X_1 - \beta'_2 X_2 - \beta'_3 (X_1 X_2)$$

donde X_1 y X_2 ya tambien se calcularon previamente, y por lo tanto

son ya conocidos, se obtiene que para β'_0

$$\beta'_0 = 62.89 - (-0.0131215)(4668.2) - (-0.4441978)(74.54) - 0.0004005(349804.74) = 17.157492$$

Con los coeficientes ya obtenidos se llega la ecuacion del primer modelo para las fibras acrilicas

$$y_{1 \text{ acrilicas}} = 17.157492 - 0.0131215 X_1 - 0.4441978 X_2 + 0.0004005 X_1 X_2$$

Los resultados del análisis de varianza para los datos de esta fibra se resumen en la tabla (A.8)

Tabla (A.8)
Análisis de Varianza del primer modelo
de las fibras acrílicas

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresión	p=3	SCRegr=1654.63	CMRegr=551.01	8.32
Error	n-1-p=6	SCE=464.32	CME=76.332	
Total	n-1=9	SCEtot=2119.16		

Luego se tiene que de tablas con $n=6$ y $p=3$ los valores de la estadística F_{α} a niveles de significancia de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$ son respectivamente de 4.76 y 9.78. Tal y como se observa, el valor de la F_{calc} es de 8.32, el cual es un valor menor que la 9.78 a una α de 0.05.

Con esto se deduce que la primera ecuación obtenida para evaluar los datos del consumo de fibras acrílicas es adecuada, ya que la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_p = 0$ resulta ser cierta al ser F_{calc} menor que la F_{α} , esto con un nivel de significancia de 0.05, puesto que a $\alpha = 0.01$ F_{calc} es mayor que la F_{α} , es decir $8.32 > 4.76$, y la hipótesis de H_0 resulta ser falsa, a niveles de $\alpha = 0.01$.

En lo referente al modelo más simple para predecir los datos del consumo de fibras acrílicas y haciendo referencia a la aplicación de los cálculos directos de las sumatorias en las ecuaciones (A.24), (A.25) y (A.26) descritas anteriormente se llegó al establecimiento de la siguiente matriz S con su respectivo vector h :

1146411 18371.12 39710.22

S =

18371.12 430.364 822.104

La aplicación del método de Doolittle abreviado para la resolución de la matriz inversa conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.7)

Tabla (A.9)
Método de Doolittle abreviado
para el modelo simple de las fibras acrílicas

	x_1	x_2	h
S _{1j}	1146411	18371.12	39710.22
S _{2j}		430.364	822.104
A _{1j}	1146411	18371.12	39710.22
B _{1j}	1	0.0180249	0.0346367
A _{2j}		135.96864	-185.75275
B _{2j}		1	1.3661441

De la aplicación de los resultados de dicha tabla para evaluar las constantes β'_0 , β'_1 y β'_2 con las ecuaciones de la (A.27) a la (A.30)

se llega a que:

$$\beta'_2 = 1.3661441$$

$$\beta'_1 = 0.0127464$$

$$\beta' = -98.445126$$

o

Constantes con las cuales se obtiene directamente la segunda ecuacion para el modelo simple de las fibras acrilicas

$$y_{\text{acrilicas}} = -98.445126 + 0.0127464 X_1 + 1.3661441 X_2$$

Los resultados del analisis de varianza de estas fibras se muestran en la tabla (A.10)

Tabla (A.10)
Analisis de varianza
para el modelo simple fibras acrilicas

Fuentes de Variacion	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresion	p=2	SCRegr=1629.27	CMRegr=814.64	20.37
Error	n-1-p=7	SCE=279.89	CME=39.984	
Total	n-1=9	SCEtot=1909.17		

Como la hipotesis $H_0: \beta'_1 = \beta'_2 = \dots = \beta'_p = 0$ se acepta solo si

Fcalc α (es menor que) F_{α} , y F_{α} adopta los valores de 4.74 y 9.55 a $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ (con p=2 y n=7) respectivamente, se concluye que la ecuacion obtenida no resulta ser satisfactoria para predecir el comportamiento de los datos, ya que, en ambos casos

Fcalc = 20.37 es mayor que cualquiera de los valores de la F_{α} y por lo tanto la hipotesis H_0 es falsa.

o

FIBRAS POLIACRILICAS.- Los datos de que se partio para realizar el analisis de regresion multiple para el consumo de fibras poliacriliicas en funcion del FIBtot y de la poblacion se muestran en la tabla (A.11)

Tabla (A.11)
FIBRAS POLIACRILICAS

n	Año	Consumo aparente (Miles de Ions)	FIBtot (Miles de Millones de pesos de 1980)	X		Interaccion (X ₁ X ₂)
				1	2	
1	75	1.54	3,700	59.0		218,300
2	80	2.97	4,570	69.7		318,529
3	81	5.45	4,862	71.3		346,660.6
4	82	4.25	4,822	73.0		352,736
5	83	4.20	4,624	74.6		345,323.4
6	84	4.19	4,795	76.3		365,934.8
7	85	6.80	4,920	77.9		383,268
8	86	7.60	4,725	79.6		376,110
9	87	4.34	4,793	81.2		389,191.6
10	88	6.85	4,855	82.8		401,994
Σ		52.22	46,692	745.4		3,498,047.4

Para el modelo con interaccion entre X₁ y X₂ los resultados de las sumatorias son los muy similares a los encontrados para las fibras nylon y para las acrilicas, ya que los datos del FIBtot y la poblacion son siempre los mismos.

Los unicos datos de sumatorias que no son las mismas son aquellas en las que existe o estan interactuando las X₁ o X₂ con las Y_i, es decir las siguientes:

$$\sum_{i=1}^n x_{1i} y_i = \sum_{i=1}^n x_{1i} y_i - [(\sum_{i=1}^n x_{1i})(\sum_{i=1}^n y_i)]/n = 3917.766$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} y = \sum_{i=1}^n x_{i1} y - \left(\sum_{i=1}^n x_{i2} \right) \left(\sum_{i=1}^n y \right) / n = 75.5002$$

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n x_{ij} x_{ij} y = \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i1} y - \left(\sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} \right) \left(\sum_{i=1}^n y \right) / n = 579004.95$$

$$\sum_{i=1}^n y = 52.12$$

Las sumatorias que no varían y que siguen siendo las mismas son todas aquellas en las que no están involucradas las y , las cuales ya se calcularon en el análisis de regresión múltiple, tanto para las fibras nylon como las fibras acrílicas, y que son:

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} = 46082$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i2} = 745.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} = 18371.12$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 = 1146411$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{i2})^2 = 430.364$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1} (x_{i1})^2 = 3307614$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 x_{i2} = 1.5708008 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 (x_{2i})^2 = 2.4657208 \times 10^{10}$$

El sistema de ecuaciones normales a resolver viene dado por las siguientes expresiones:

$$n \mu = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\beta_1^2 \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 + \beta_2^2 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \beta_3 \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 x_{2i} = \sum_{i=1}^n x_{1i}^2 y_i$$

$$\beta_1^2 \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} + \beta_2^2 \sum_{i=1}^n (x_{2i})^2 + \beta_3 \sum_{i=1}^n x_{1i} (x_{2i})^2 = \sum_{i=1}^n x_{2i} y_i$$

$$\beta_1^2 \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 x_{2i} + \beta_2^2 \sum_{i=1}^n x_{1i} (x_{2i})^2 + \beta_3 \sum_{i=1}^n (x_{1i})^2 (x_{2i})^2 = \sum_{i=1}^n x_{1i} x_{2i} y_i$$

De donde con la sustitución directa de los cálculos de las sumatorias calculadas para las fibra polipropilénicas, se llega a que la matriz resultante, junto con el vector n (que viene siendo el segundo miembro dado por las expresiones arriba descritas) vienen dados por:

$$S = \begin{matrix} 1146411 & 18371.12 & 1.5708668 \times 10^8 & 39710.22 \\ 18371.12 & 430.364 & 3307614 & 822.104 \\ 1.5708668 \times 10^8 & 3307614 & 2.4657208 \times 10^{10} & 6344750.4 \end{matrix}$$

y donde además $\mu = y = 5.222$

La aplicación del método de Doolittle simplificado de inversión de matrices conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.12):

Tabla (A.12)
Método de Doolittle simplificado
para el primer modelo de las fibras polipropilénicas

	A ₁	A ₂	A ₃	b
S _{1j}	1146411	18371.12	1.5708666e10 ^B	3917.766
S _{2j}		430.364	3307614	72.5003
S _{3j}			2.4657208e10 ¹⁰	579564.86
A _{1j}	1146411	18371.12	1.5708666e10 ^c	3917.766
B _{1j}	1	0.0160249	137.02475	0.0034174
A _{2j}		294.39533	790315.87	12.718735
B _{2j}		1	2684.5394	0.0432029
A _{3j}			1.0108109e10 ^y	8592.9399
B _{3j}			1	0.0000085

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se pueden obtener los coeficientes de la ecuación modelo, como sigue:

$$B_{1j} = B_{1j} = 0.0000085$$

$$\beta_2 = B_2 - B_1 \beta_1' = 0.0432029 - 2684.5394(0.0000085) = 0.0203815$$

$$\beta_1' = B_1 - B_1 \beta_1' - B_2 \beta_2'$$

$$\beta_1' = 0.0034174 - 0.0160249(0.0203815) - 137.02479(0.0000085)$$

$$\beta_1' = 0.0019261$$

Como β_1' viene dada por la expresion siguiente:

$$\beta_1' = \bar{y} - \beta_1' \bar{x}_1 - \beta_2' \bar{x}_2 - B_3 \left(\frac{\Delta_1 \Delta_2}{1 \ 2} \right)$$

donde \bar{x}_1 y \bar{x}_2 ya tambien se calcularon previamente, y por lo tanto

son ya conocidos, se obtiene que para β_1'

$$\begin{aligned} \beta_1' &= 5.222 - 0.0019261(4668.2) - 0.0203815(74.54) - 0.0000085(349804.7) \\ &= -8.2619973 \end{aligned}$$

Con los coeficientes ya obtenidos se llega la ecuacion del primer modelo para las fibras polipropilenicas

$$y_{1 \text{ poliprop}} = -8.2619973 + 0.0019261 x_1 + 0.0203815 x_2 + 8.2 \times 10^{-6} x_1 x_2$$

Los resultados del analisis de varianza concnientes a este primer modelo de las fibras polipropilenicas se muestran en la tabla (A.13)

Tabla (A.12)
 Análisis de varianza para el primer
 modelo de las fibras polipropilénicas

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresión	p=2	SCReg=14.011	CMReg=4.003	1.898
Error	n-1-p=6	SCE=17.224	CME=2.870	
Total	n-1=9	SCTot=31.235		

Con los datos de esta tabla se deduce que la ecuación encontrada es apropiada para predecir el comportamiento de los consumos de fibras polipropilénicas, ya que considerando $\alpha=0.05$ y $p=2$, los valores de la estadística F_1 obtenidos de tablas a niveles de significancia de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$, y que son respectivamente 4.76 y 9.78, resultan ser mayores que la F_{calc} , es decir:

$$1.898 < \begin{matrix} 4.76 \\ 9.78 \end{matrix}$$

y por lo tanto la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ es cierta en ambos niveles de significancia.

En lo que respecta al modelo más simple para predecir los valores del consumo de fibras polipropilénicas, y tomando en cuenta la aplicación de los cálculos directos de las sumatorias en las ecuaciones (A.24), (A.25) y (A.26) descritas al inicio de este apartado, se llega al establecimiento de la siguiente matriz con su respectivo vector h (resultante de las sumatorias de los segundos miembros de dichas ecuaciones):

	1146411	16371.12	3917.766
S =	16371.12	430.364	75.5002

La aplicación del método de Doolittle abreviado para la resolución de la matriz inversa conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.14)

Tabla (A.14)
Método de Doolittle Abreviado
para modelo simple de las fibras polipropilénicas

	A ₁	A ₂	h
S _{1j}	1146411	16371.12	3917.766
S _{2j}		430.364	75.5002
A _{1j}	1146411	16371.12	3917.766
B _{1j}	1	0.0160249	0.0034174
A _{2j}		135.96664	9.7167345
B _{2j}		1	0.0714778

De la aplicación de los resultados de dicha tabla para evaluar las constantes β'_0 , β'_1 y β'_2 con las ecuaciones de la (A.27) a la (A.30) se llega a que:

$$\beta'_2 = B_{2h} = 0.714778$$

$$\beta_1' = B_1 - B_0 \beta_0' = 0.002272$$

$$\beta_0 = \mu - \beta_1' \bar{x} = -10.711991$$

Constantes con las cuales se obtiene directamente la segunda ecuación para el modelo simple de las fibras polipropilénicas

$$y_{2 \text{ poliprop}} = -10.711991 + 0.002272 x_1 + 0.014778 x_2$$

Los resultados del análisis de variancia de estas fibras se muestran en la tabla (A.15)

Tabla (A.15)
Análisis de variancia
para el modelo simple fibras polipropilénicas

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresión	p=2	SCRegr=14.0833	CMRegr=7.042	2.874
Error	n-1-p=7	SCE=17.151	CME=2.450	
Total	n-1=9	SCEtot=31.234		

Como la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ se acepta solo si

$F_{calc} <$ (es menor que) F_{α} , y F_{calc} adopta los valores de 4.74 y 9.55 a $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ (con $p=2$ y $n=7$) respectivamente, se concluye que la ecuación obtenida para predecir el comportamiento de los datos es satisfactoria, ya que, en ambos casos $F_{calc} = 2.874$ es menor que cualquiera de los valores de la F_{α} .

FIBRAS ACETATO.- Los valores de los que se partió para realizar el análisis de regresión múltiple para el consumo de las fibras acetato en función del FIBTOT y la población se muestra en la tabla (A.16)

Tabla (A.16)
FIBRAS ACETATO

n	AÑO	Y Consumo Aparente (Miles de tons)	X 1 FIBTOT (Miles de Millones de pesos de 1960)	X 2 Población (Millones de habitantes)		Interacción (X ₁ X ₂)
				1	2	
1	75	12.20	3.700	58.0		216,500
2	80	14.92	4.570	67.7		318,529
3	81	14.89	4.862	71.3		346,660.6
4	82	11.81	4.862	73.0		352,736
5	83	14.15	4.829	74.6		345,323.4
6	84	12.50	4.796	76.3		365,934.8
7	85	12.37	4.720	77.9		365,268
8	86	9.530	4.725	79.6		376,110
9	87	9.670	4.775	81.2		389,191.6
10	88	9.450	4.855	82.8		401,994
Σ		121.71	46.662	745.4		3,496,047.4

Para el modelo con interacción entre X_1 y X_2 los resultados de las sumatorias son los muy similares a los encontrados para las fibras nylon, para las acrílicas y para las polipropilénicas, ya que los datos del FIBTOT, la población son siempre los mismos.

Los únicos datos de sumatorias que no son las mismas son aquellas en las que existe o están interactuando las X_1 o X_2 con las Y , es decir las siguientes:

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^n x_i y_i - [(\sum_{i=1}^n x_i)(\sum_{i=1}^n y_i)/n] = -730.662$$

$$\sum_{i=1}^n x_{21} y_i = \sum_{i=1}^n x_{12} y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{12} \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) / n = -72.3994$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_i = \sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right) / n = -396924.13$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 121.71$$

Las sumatorias que no varían y que siguen siendo las mismas son todas aquellas en las que no están involucradas las x_{11} , las cuales ya se calcularon en el análisis de regresión múltiple, tanto para las fibras nylon, las fibras acrílicas, y las polipropilénicas y que son:

$$\sum_{i=1}^n x_{11} = 46682$$

$$\sum_{i=1}^n x_{12} = 745.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} = 18071.12$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 = 1146411$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{12})^2 = 430.264$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} (x_{12})^2 = 3307614$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 x_{12} = 1.5708668 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 (x_{i2})^2 = 2.4657208 \times 10^{10}$$

El sistema de ecuaciones normales a resolver viene dado por las siguientes expresiones:

$$n \mu' = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\beta'_1 \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 + \beta'_2 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} + \beta'_3 \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 x_{i2} = \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 y_i$$

$$\beta'_1 \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} - \beta'_2 \sum_{i=1}^n (x_{i2})^2 + \beta'_3 \sum_{i=1}^n x_{i1} (x_{i2})^2 = \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} y_i$$

$$\beta'_1 \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 x_{i2} + \beta'_2 \sum_{i=1}^n x_{i1} (x_{i2})^2 + \beta'_3 \sum_{i=1}^n (x_{i1})^2 (x_{i2})^2 = \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 x_{i2} y_i$$

De donde con la sustitucion directa de los calculos de las sumatorias calculadas para las fibra acetato, se llega a que la matriz resultante, junto con el vector h (que es el dato de la sumatoria del segundo miembro de las expresiones arriba descritas) vienen dados por:

$$S = \begin{matrix} 1146411 & 18371.12 & 1.5708668 \times 10^8 & -730.662 \\ 18371.12 & 430.364 & 3307614 & -72.3994 \\ 1.5708668 \times 10^8 & 3307614 & 2.4657208 \times 10^{10} & -398924.13 \end{matrix}$$

y donde además $\mu' = y = 12.171$

La aplicación del método de Doolittle simplificado de inversión de matrices conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.17):

Tabla (A.17)
Método de Doolittle simplificado
para el primer modelo de las fibras acetato

	X ₁	X ₂	X ₃	b
S _{1j}	1146411	18371.12	1.57086668x10 ⁶	-730.662
S _{2j}		430.364	3307614	-72.3994
S _{3j}			2.4657208x10 ¹⁰	-398924.13
A _{1j}	1146411	18371.12	1.57086668x10 ⁶	-730.662
B _{1j}	1	0.0166249	137.02475	-0.0006373
A _{2j}		294.39533	790315.87	-60.690616
B _{2j}		1	2684.5394	-0.2061535
A _{3j}			1.0108109x10 ⁹	-135866.28
B _{3j}			1	-0.0001344

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se pueden obtener los coeficientes de la ecuación modelo, como sigue:

$$\beta_j = B_{3j} = 0.0001344$$

$$b'_{23} = B_{23} - B_{21} b'_{13} - B_{22} b'_{12} = -0.2061535 - 2684.5394(-0.0001344) = 0.154737$$

$$b'_{13} = B_{13} - B_{11} b'_{11} - B_{12} b'_{12}$$

$$b'_{13} = -0.0006373 - 0.0160249(0.154737) - 137.02415(-0.0001344)$$

$$b'_{13} = 0.0152992$$

Como b'_{13} viene dada por la expresion siguiente:

$$b'_{13} = y_3 - b'_{11} x_1 - b'_{12} x_2 - b'_{13} (x_1 x_2)$$

donde x_1 y x_2 ya tambien se calcularon previamente, y por lo tanto son ya conocidos, se obtiene que para b'_{13}

$$b'_{13} = 12.171 - 0.0152992(4668.2) - 0.154737(74.54) + 0.0001344(349804.7) = -23.768978$$

Con los coeficientes ya obtenidos se llega la ecuacion del primer modelo para las fibras acetato

$$y_{1 \text{ acetato}} = -23.768978 + 0.0152992 x_1 + 0.154737 x_2 - 0.0001344 x_1 x_2$$

Los resultados del analisis de varianza concernientes a este primer modelo de las fibras acetato se muestran en la tabla (A.18)

Tabla (A.15)
 Análisis de variancia para el primer
 modelo de las fibras acetato

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresión	p=3	SCReg=31.234	CMReg=10.411	7.196
Error	n-1-p=6	SCE=6.601	CME=1.100	
Total	n-1=9	SCTot=37.835		

Luego se tiene que considerando $n=6$ y $p=3$, los valores de la estadística F_{α} obtenidos de tablas a niveles de significancia de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$, y que son respectivamente 4.76 y 7.76, resultan ser con respecto a la F_{calc} como sigue:

$$7.196 < 9.78 \text{ a un } \alpha=0.01; \quad 4.76 < 7.196 \text{ a un } \alpha=0.05$$

por lo tanto la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ es cierta, y la

ecuación encontrada para predecir los consumos de las fibras polipropilénicas resulta ser apropiada, sólo para un nivel de significancia de $\alpha=0.01$, ya que para el nivel de $\alpha=0.05$ la hipótesis es falsa y la ecuación obtenida no es satisfactoria.

En lo que respecta al modelo más simple para predecir los valores del consumo de fibras acetato y tomando en cuenta la aplicación de los cálculos directos de las sumatorias en las ecuaciones (A.24), (A.25) y (A.26) descritas al inicio de este apartado, se llega al establecimiento de la siguiente matriz con su respectivo vector n (resultante de las sumatorias de los segundos miembros de dichas ecuaciones):

	1146411	18371.12	-730.662
S =			
	18371.12	430.364	-72.3994

La aplicación del método de Doolittle abreviado para la resolución de la matriz inversa conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.19).

Tabla (A.19)
Método de Doolittle Abreviado
para modelo simple de las fibras acetato

	λ_1	λ_2	h
S _{1j}	1146411	18371.12	-730.662
S _{2j}		430.364	-72.3994
A _{1j}	1146411	18371.12	-730.662
B _{1j}	1	0.0160249	-0.0006373
A _{2j}		135.96664	-84.108184
B _{2j}		1	-0.6185852

De la aplicación de los resultados de dicha tabla para evaluar las constantes B'_0 , B'_1 y B'_2 con las ecuaciones de la (A.27) a la (A.30) se llega a que:

$$B'_2 = B'_{2h} = -0.6185852$$

$$\beta_1' = \beta_1 - \beta_2 \beta_2' = 0.0092755$$

$$\beta_0 = \mu - \beta_1' \bar{x}_1 - \beta_2' \bar{x}_2 = 14.980452$$

Constantes con las cuales se obtiene directamente la segunda ecuación para el modelo simple de las fibras acetato

$$y_{\text{acetato}} = -14.980452 + 0.0092755 x_1 - 0.618585 x_2$$

Los resultados del análisis de varianza de estas fibras se muestran en la tabla (A.20)

Tabla (A.20)
Análisis de varianza
para el modelo simple fibras acetato

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresion	p=2	SCRegr=36.0079	CMRegr=18.003	67.752
Error	n-1-p=7	SCE=1.0707	CME=0.272	
Total	n-1=9	SCEtot=39.91509		

Como la hipótesis $H_0: \beta_1' = \beta_2' = \dots = \beta_p' = 0$ se acepta solo si

$F_{\text{calc}} < (\text{es menor que}) F_{\alpha}$, y F_{calc} adopta los valores de 4.74 y 9.55 a $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ (con $p=2$ y $n=7$) respectivamente, se concluye que la ecuación obtenida para predecir el comportamiento de los datos no es satisfactoria, ya que, en ambos casos $F_{\text{calc}} = 67.752$ es mayor que cualquiera de los valores de la F_{α} .

FIBRAS POLIESTER- Los valores de los que se partio para realizar el analisis de regresion multiple para el consumo de las fibras poliester en tuncion del PIBtot y la poblacion se muestra en la tabla (A.21)

Tabla (A.21)
FIBRAS POLIESTER

n	Año	Y Consumo Aparente (Miles de Tons)	X		Interaccion (X ₁ X ₂) 1 2
			1	2	
			PIBtot (Miles de Millones de pesos de 1980)	Poblacion (Millones de habitantes)	
1	75	91.8	3,700	59.0	218,500
2	80	135.3	4,576	69.7	318,529
3	81	124.3	4,882	71.3	348,680.0
4	82	118.3	4,882	73.0	352,736
5	83	125.3	4,829	74.0	345,323.4
6	84	126.8	4,790	76.3	365,934.8
7	85	144.4	4,920	77.9	383,268
8	86	137.0	4,725	79.6	376,110
9	87	139.0	4,793	81.2	389,191.0
10	88	155.3	4,855	82.6	401,994
Σ		1298.1	46,682	745.4	3,498,047.4

Para el modelo con interacción entre X_1 y X_2 los resultados de las sumatorias son los muy similares a los encontrados para las fibras nylon, para las acrilicas, para las polipropilénicas y las acetato, ya que los datos del PIBtot y la poblacion son siempre los mismos.

Los unicos datos de sumatorias que no son las mismas son aquellas en los que existe o están interactuando las X_1 o X_2 con las Y , es decir las siguientes:

$$\sum_{i=1}^n X_i Y_i = \sum_{i=1}^n X_i Y_i - [(\sum_{i=1}^n X_i)(\sum_{i=1}^n Y_i)/n] = 43290.88$$

$$\sum_{i=1}^n x_{21} y_i = \sum_{i=1}^n x_{12} y_i - [(\sum_{i=1}^n x_{11})(\sum_{i=1}^n y_i) / n] = 855.266$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_i = \sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_i - [(\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12})(\sum_{i=1}^n y_i) / n] = 7125301.5$$

$$\sum_{i=1}^n y_i = 1298.1$$

Las sumatorias que no varían y que siguen siendo las mismas son todas aquellas en las que no están involucradas las y_i , las cuales ya se calcularon en el análisis de regresión múltiple, tanto para las fibras nylon, las fibras acrílicas, las polipropilénicas, y las acetato y que son:

$$\sum_{i=1}^n x_{11} = 46682$$

$$\sum_{i=1}^n x_{12} = 745.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} = 18371.12$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 = 1146411$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{12})^2 = 430.364$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} (x_{12})^2 = 3307614$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 x_{12} = 1.5708668 \times 10^8$$

$$\sum_{i=1}^n (x_i)^2 = 2.4657208 \times 10^{10}$$

El sistema de ecuaciones normales a resolver viene dado por las siguientes expresiones:

$$n \mu = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n (x_i) + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n (x_i)^3 = \sum_{i=1}^n x_i y_i$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n x_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^2 + \beta_2 \sum_{i=1}^n x_i^3 = \sum_{i=1}^n x_i^2 y_i$$

$$\beta_0 \sum_{i=1}^n (x_i)^2 x_i + \beta_1 \sum_{i=1}^n x_i^3 + \beta_2 \sum_{i=1}^n (x_i)^4 = \sum_{i=1}^n x_i^3 y_i$$

De donde con la sustitucion directa de los calculos de las sumatorias calculadas para las fibra poliester, se llega a que la matriz resultante, junto con el vector h (que es el dato de la sumatoria del segundo miembro de las expresiones arriba descritas) vienen dados por:

			B	
	1146411	18371.12	1.5706668x10	43250.86
B =	18371.12	450.3e4	3307614	955.266
	B		10	
	1.5706668x10	3307614	2.4657208x10	7175301.5

y donde ademas $\mu = y = 129.81$

La aplicación del método de Doobittle simplificado de inversión de matrices conduce a los resultados que se muestran en la tabla (H.12):

Tabla (H.12)
Método de Doobittle simplificado
para el primer modelo de las fibras poliéster:

	λ_1	λ_2	λ_3	n
S _{1j}	1146411	18371.12	1.5708668x10 ^c	43290.88
S _{2j}		430.364	3307614	955.266
S _{3j}			2.4657208x10 ¹⁰	7175301.5
A _{1j}	1146411	18371.12	1.5708668x10 ^B	43290.88
B _{1j}	1	0.0150245	137.02475	0.0077621
A _{2j}		294.39533	790315.67	261.53404
B _{2j}		1	2684.5394	0.886377
A _{3j}			1.0106109x10 ⁹	541280.14
B _{3j}			1	0.0005355

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se pueden obtener los coeficientes de la ecuación modelo, como sigue:

$$B' = B_{3h} = 0.0005355$$

$$b_2' = B_{21} - B_{22} b_1 = 0.888377 - 2684.9394(0.0005355) = -0.5491938$$

$$b_3' = B_{31} - B_{32} b_1 - B_{33} b_2$$

$$b_3' = 0.0377621 - 0.160245(-0.5491938) - 137.02475(0.0005355)$$

$$b_3' = -0.0268139$$

Como b_0' viene dada por la expresion siguiente:

$$b_0' = \bar{y} - b_1' \bar{x}_1 - b_2' \bar{x}_2 - b_3' \left(\frac{\bar{x}_1}{1} \frac{\bar{x}_2}{2} \right)$$

donde \bar{x}_1 y \bar{x}_2 ya tambien se calcularon previamente, y por lo tanto son ya conocidos, se obtiene que para b_0'

$$b_0' = 129.81 - (-0.0268139)(4666.2) - 0.0005355(349804.7) - (-0.5491938)(74.54) = 108.59912$$

Con los coeficientes ya obtenidos se llega la ecuacion del primer modelo para las fibras poliester

$$y_{1 \text{ poliester}} = 108.59912 - 0.0268139 x_1 - 0.5491938 x_2 - 0.0005355 x_1 x_2$$

Los resultados del análisis de variancia concernientes a este primer modelo de las fibras poliester se muestran en la tabla (A.23)

Tabla (A.20)
Análisis de varianza para el primer
modelo de las fibras poliéster

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	F _{calc}
Regresión	p=3	SC _{Regr} =2156.9	CM _{Regr} =718.9	7.428
Error	n-1-p=6	SC _E =404.75	CM _E =66.791	
Total	n-1=9	SC _{Etot} =2561.65		

Luego se tiene que considerando $n=0$ y $p=0$, los valores de la estadística F_0 obtenidos de tablas a niveles de significancia de $\alpha=0.01$ y $\alpha=0.05$, y que son respectivamente 4.76 y 9.78, resultan ser una menor y otra mayor que la F_{calc} , es decir:

$$7.428 < 9.78 \quad \text{a} \quad \alpha=0.01; \quad \text{y} \quad 4.76 < 7.428 \quad \text{a} \quad \alpha=0.05$$

por lo tanto la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ es cierta, y la

ecuación encontrada para predecir los consumos de las fibras poliéster resulta ser apropiada, solo para un nivel de significancia de $\alpha=0.01$, puesto que para el nivel de significancia de $\alpha=0.05$ la hipótesis resulta ser falsa y la ecuación no es apropiada.

En lo que respecta al modelo más simple para predecir los valores del consumo de fibras poliéster y tomando en cuenta la aplicación de los cálculos directos de las sumatorias en las ecuaciones (A.24), (A.25) y (A.26) descritas al inicio de este apartado, se llega al establecimiento de la siguiente matriz con su respectivo vector n (resultante de las sumatorias de los segundos miembros de dichas ecuaciones):

S	1146411	18371.12	43290.88
	18371.12	430.364	955.266

La aplicación del método de Doolittle abreviado para la resolución de la matriz inversa conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.24).

Tabla (A.24)
Método de Doolittle abreviado
para modelo simple de las fibras poliéster

	A ₁	A ₂	h
S _{1j}	1146411	18371.12	43290.88
S _{2j}		430.364	955.266
A _{1j}	1146411	18371.12	43290.88
B _{1j}	1	0.0160249	0.0377621
A _{2j}		135.96864	261.53404
B _{2j}		1	1.9234879

De la aplicación de los resultados de dicha tabla para evaluar las constantes β_0 , β_1 y β_2 con las ecuaciones de la (A.27) a la (A.30)

se llega a que:

$$\beta_2 = B_{2h} = 1.92348792$$

$$b_1 = B_1 - B_2 \quad b_2 = 0.0092755$$

$$b_0 = \mu - b_1 \bar{x}_1 - b_2 \bar{x}_2 = 129.81 - 0.0069384(4668.2) - 1.9234879(75.54) = -45.956627$$

Constantes con las cuales se obtiene directamente la segunda ecuación para el modelo simple de las fibras poliéster

$$y_{\text{poliéster}} = -45.956627 + 0.0069384 x_1 + 1.9234879 x_2$$

Los resultados del análisis de varianza de estas fibras se muestran en la tabla (A.25)

Tabla (A.25)
Análisis de varianza
para el modelo simple fibras poliéster

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresión	p=2	SCRegr=2137.812	CMRegr=1068.91	17.642
Error	n-1-p=7	SCE=404.117	CME=60.5882	
Total	n-1=9	SCEtot=2561.929		

Como la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ se acepta solo si

Fcalc (es menor que) $F_{\alpha, p, n-p}$, y $F_{\alpha, p, n-p}$ adopta los valores de 4.74 y 9.55 a $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ (con p=2 y n=7) respectivamente, se concluye que la ecuación obtenida para predecir el comportamiento de los datos no es satisfactoria, ya que, en ambos casos Fcalc = 17.642 es mayor que cualquiera de los valores de la F_{α} .

FIBRAS ELASTOMERICAS.- Los valores de los que se partio para realizar el analisis de regresion multiple para el consumo de las fibras elastomericas en funcion del Fibtot y la poblacion se muestra en la tabla (A.26)

Tabla (A.26)
FIBRAS ELASTOMERICAS

n	Año	Consumo Aparente (Tons)	X		Interaccion (X ₁ X ₂)
			1	2	
			PIBtot (Miles de Millones de pesos de 1980)	Poblacion (Millones de habitantes)	
1	75	149	3,700	57.0	218,500
2	80	431	4,570	69.7	318,529
3	81	429	4,862	71.3	346,660.6
4	82	437	4,832	73.0	352,726
5	83	402	4,629	74.0	345,323.4
6	84	476	4,796	76.0	365,934.8
7	85	672	4,920	77.9	383,268
8	86	632	4,725	79.0	376,110
9	87	761	4,773	81.2	389,191.0
10	88	651	4,855	82.8	401,994
Σ		5040	46,682	745.4	3,458,047.4

Para el modelo con interacción entre X_1 y X_2 los resultados de las sumatorias son los muy similares a los encontrados para las fibras nylon, para las acrilicas, para las polipropilénicas, las acetato, y las poliéster, ya que los datos del Fibtot y la población son siempre los mismos.

Los únicos datos de sumatorias que no son las mismas son aquellas en los que existe o están interactuando las X_1 o X_2 con las Y_1 , es decir las siguientes:

$$\sum_{i=1}^n x_{11} y_{11} = \sum_{i=1}^n x_{11} y_{11} - [(\sum_{i=1}^n x_{11})(\sum_{i=1}^n y_{11})/n] = 434670$$

$$\sum_{i=1}^n x_{21} y_{11} = \sum_{i=1}^n x_{21} y_{11} - [(\sum_{i=1}^n x_{21})(\sum_{i=1}^n y_{11})/n] = 7908.2$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_{11} = \sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} y_{11} - [(\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12})(\sum_{i=1}^n y_{11})/n] = 75795326$$

$$\sum_{i=1}^n y_{11} = 5040$$

Las sumatorias que no varían y que siguen siendo las mismas son todas aquellas en las que no están involucradas las y_1 , las cuales ya se calcularon en el análisis de regresión múltiple, tanto para las fibras nylon, las fibras acrílicas, las polipropilénicas, las acetato y las poliéster y que son:

$$\sum_{i=1}^n x_{11} = 46662$$

$$\sum_{i=1}^n x_{12} = 745.4$$

$$\sum_{i=1}^n x_{11} x_{12} = 18371.12$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{11})^2 = 1146411$$

$$\sum_{i=1}^n (x_{12})^2 = 430.364$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1}^2 = 3307814$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1}^2 x_{i2} = 1.5708668 \times 10^6$$

$$\sum_{i=1}^n x_{i1}^2 x_{i2}^2 = 2.4657208 \times 10^9$$

El sistema de ecuaciones normales a resolver viene dado por las siguientes expresiones:

$$n \mu' = \sum_{i=1}^n y_i$$

$$\beta_1' \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 + \beta_2' \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} + \beta_3' \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 x_{i2} = \sum_{i=1}^n x_{i1} y_i$$

$$\beta_1' \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} + \beta_2' \sum_{i=1}^n x_{i2}^2 + \beta_3' \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2}^2 = \sum_{i=1}^n x_{i2} y_i$$

$$\beta_1' \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 x_{i2} + \beta_2' \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2}^2 + \beta_3' \sum_{i=1}^n x_{i1}^2 x_{i2}^2 = \sum_{i=1}^n x_{i1} x_{i2} y_i$$

De donde con la sustitución directa de los cálculos de las sumatorias calculadas para las fibras elastoméricas se llega a que la matriz resultante, junto con el vector h (que es el dato de la sumatoria del segundo miembro de las expresiones arriba descritas) vienen dados por:

	1146411	18371.12	1.5708668x10 ⁶	434896
S =	18371.12	430.364	3307614	7908.2
	1.5708668x10 ⁶	3307614	2.4657208x10 ¹⁰	75795326

y donde además $\mu = \rho = 504.0$

La aplicación del método de Doolittle simplificado de inversión de matrices conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.27):

Tabla (A.27)
Método de Doolittle simplificado
para el primer modelo de las fibras elisoméricas

	X ₁	X ₂	X ₃	U
S _{1j}	1146411	18371.12	1.5708668x10 ⁶	434896
S _{2j}		430.364	3307614	7908.2
S _{3j}			2.4657208x10 ¹⁰	75795326
A _{1j}	1146411	18371.12	1.5708668x10 ⁶	434896
B _{1j}	1	0.0160249	137.02475	0.3793544
A _{2j}		294.39533	790315.67	2739.0357
B _{2j}		1	2684.5394	7.980296
A _{3j}			1.0108109x10 ⁶	8310847.5
B _{3j}			1	0.0082249

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior se pueden obtener los coeficientes de la ecuacion modelo, como sigue:

$$\beta_3' = B_{3h} = 0.0082249$$

$$\beta_2' = B_{2h} - B_{23} \beta_3' = 9.983296 - 2684.5374(0.0082249) = -12.096772$$

$$\beta_1' = B_{1h} - B_{12} \beta_2' - B_{13} \beta_3'$$

$$\beta_1' = 0.3793544 - 0.160249(-12.096772) - 157.02475(0.0082249)$$

$$\beta_1' = -0.5538109$$

Como β_0' viene dada por la expresion siguiente:

$$\beta_0' = \bar{y} - \beta_1' \bar{X}_1 - \beta_2' \bar{X}_2 - \beta_3' \left(\frac{\bar{X}_1 \bar{X}_2}{\bar{X}_1 \bar{X}_2} \right)$$

donde \bar{X}_1 y \bar{X}_2 ya tambien se calcularon previamente, y por lo tanto son ya conocidos, se obtiene que para β_0'

$$\beta_0' = 504.0 - (-0.5538109)(4668.2) - (-12.096772)(74.54) - 0.0082249(347804.74) = 1113.8844$$

Con los coeficientes ya obtenidos se llega la ecuacion del primer modelo para las fibras elastomericas

miento de la siguiente matriz con su respectivo vector n (resultante de las sumatorias de los segundos miembros de dichas ecuaciones):

$$S = \begin{matrix} & 1146411 & 18371.12 & 434896 \\ & 18371.12 & 430.564 & 9908.2 \end{matrix}$$

La aplicación del método de Doolittle abreviado para la resolución de la matriz inversa conduce a los resultados que se muestran en la tabla (A.29).

Tabla (A.29)
Método de Doolittle abreviado
Para modelo simple de las fibras elastoméricas

	x_1	x_2	n
S _{1j}	1146411	18371.12	434896
S _{2j}		430.564	9908.2
A _{1j}	1146411	18371.12	434896
B _{1j}	1	0.0160249	0.3793544
A _{2j}		135.96864	2939.0357
B _{2j}		1	21.615541

De la aplicación de los resultados de dicha tabla para evaluar las constantes β'_1 y β'_2 con las ecuaciones de la (A.27) a la (A.30)

se llega a que:

$$\beta_2 = B_2 = 21.615541$$

$$\beta_1 = B_1 - B_2 \beta_2 = 0.0329675$$

$$\begin{aligned} \beta_0 &= \mu_0 - \beta_1 \bar{X}_1 - \beta_2 \bar{X}_2 = 504.0 - 0.0329675(4666.2) - 21.615541(75.54) \\ &= -1261.1213 \end{aligned}$$

Constantes con las cuales se obtiene directamente la segunda ecuación para el modelo simple de las fibras elastoméricas

$$y_{2 \text{ elastoméricas}} = -1261.1213 + 0.0329675 x_1 + 21.615541 x_2$$

Los resultados del análisis de varianza de estas fibras se muestran en la tabla (A.30)

Tabla (A.30)
Análisis de varianza
para el modelo simple fibras elastoméricas

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Sumas de Cuadrados	Cuadrados Medios	Fcalc
Regresion	p=2	SCRegri=228508.5	CMRegri=114254.3	2.381
Error	n-1-p=7	SCE=335904.9	CME=47986.41	
Total	n-1=9	SCEtot=564413.46		

Como la hipótesis $H_0: \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_p = 0$ se acepta solo si

$F_{calc} < F_{\alpha}$ (es menor que) F_{α} , y F_{α} adopta los valores de 4.74 y 9.55 a $\alpha = 0.05$ y $\alpha = 0.01$ (con $p=2$ y $n=7$) respectivamente, se concluye que la ecuación obtenida para predecir el comportamiento de

los datos es satisfactoria, ya que, en ambos casos $F_{calc} = 2.381$ es menor que cualquiera de los valores de la F_{α} , es decir:

$$2.381 < 4.74 \quad \alpha = 0.05 \quad ; \quad 2.381 < 9.55 \quad \alpha = 0.01$$

y por lo tanto la hipótesis H_0 es válida.

o