



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ZARAGOZA**

***FIBRAS SINTÉTICAS EN CRIMINALÍSTICA COMO  
INDICIOS EN EL LUGAR DE LOS HECHOS***

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

**QUÍMICO FARMACÉUTICO BIÓLOGO**

P R E S E N T A:

**SARA OCAÑA RUIZ**

**DIRECTOR DE TESIS: Q. MARÍA TERESA MENDOZA MATA**

**2008**





Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

# *AGRADECIMIENTOS*

Al jurado asignado:

PRESIDENTE : Q. MA. TERESA MENDOZA MATA  
VOCAL : Q.F.B. ENRIQUETA CASTREJÓN RODRÍQUEZ  
SECRETARIO : MTRO. VÍCTOR A. CORVERA PILLADO  
SUPLENTE : MATRA. MA. ISABEL GARDUÑO POZADAS  
SUPLENTE : M. en C. FRANCISCO O. GUADARRAMA M.

*En Memoria* a mi padre Moisés por toda una vida de buen ejemplo, amor, trabajo y honradez. Y todos esos hermosos recuerdos tan gratos en mi vida.

A mi madre Enedina por su apoyo, cariño y ejemplo que me ha brindado.

A mis hermanos y hermanas que tanto quiero: Fernando, Jesús, Laura, Moisés, Rosario, Elisa, Delia y Bertha.

A todos mis sobrinos y sobrinas.

A mi compañero Alfonso por su cariño, amor y fortaleza siempre a mi lado.

A mis hijos que tanto quiero, por quien algún día logren sus metas  
Rafael, Emilio y Manuel.

A Corona por todo su apoyo y fortaleza.



# ÍNDICE

	Página
1. Resúmen.....	1
2. Introducción.....	2
3. Marco teórico.....	3
3.1 El valor de la prueba Pericial en el ámbito penal....	4
3.2 Observación y fijación del lugar de los hechos.....	5
3.3 Métodos de búsqueda de indicios.....	6
3.3 Historia.....	8
3.4 Naturaleza macromolecular de las fibras.....	10
3.5 Composición Química.....	11
3.6 Estructura interna o distribución molecular.....	13
3.7 Propiedades de las fibras textiles.....	15
3.8 Contorno de la superficie de las fibras.....	17
3.9 Clasificación de fibras textiles.....	18
3.10 Características fisicoquímicas de las fibras.....	19
4. Problema de investigación.....	27
4.1 Objetivos.....	28
4.2 Importancia del estudio.....	29
4.3 Estudio Criminalístico.....	30
4.4 Examen Microscópico.....	31
4.5 Análisis Instrumental.....	34
4.6. Pruebas de apoyo.....	34
5. Metodología.....	35
5.1 Análisis comparativo de fibras textiles en criminalística.....	35
5.2 Prueba preliminar.....	39
5.3 Examen microscópico.....	39
5.4 Investigación Microespectrofotométrica.....	40
5.5 Examen por coloración.....	42
5.6 Examen Químico.....	43
5.7 Esquema de análisis.....	45
5.8 Espectroscopia Infrarrojo.....	50
5.9 Interpretación del espectro.....	49
5.10 Uso de la cromatografía gaseosa en la identificación de fibras.....	50
5.11 Aplicación de la cromatografía gaseosa a las fibras textiles.....	51
5.12 Pirólisis.....	51
5.13 Cromatografía.....	51
5.14 Aplicaciones y uso de los Pirogramas.....	52

<b>5.15 Aplicación de Microespectroscopía Infrarrojo con transformadas de Fourier (FTIR) a un caso forense....</b>	<b>53</b>
<b>6. Comentarios.....</b>	<b>55</b>
<b>6.1 Conclusiones.....</b>	<b>56</b>
<b>7. Referencias bibliográficas.....</b>	<b>57</b>
<b>Glosario.....</b>	<b>60</b>
<b>Anexo.....</b>	<b>62</b>

# 1. RESÚMEN

En el presente trabajo se investigaron los aspectos más importantes sobre las fibras textiles, como indicios en el lugar de los hechos.

Haciendo una recopilación desde su historia hasta sus generalidades como son: morfología, clasificación, características fisicoquímicas, propiedades físicas y química. Así como su importancia de estudio de las fibras textiles y la búsqueda de indicios.

El indicio producido en la comisión de un delito es un elemento fundamental y significativo en la investigación de un hecho criminal, porque proporciona si se analiza adecuadamente, la información necesaria para esclarecerlo. Cuando dos objetos entran en contacto, habrá un intercambio mutuo de materiales, lo cual constituye la base de la criminalística.

Este intercambio se torna más evidente en los hechos violentos, en lo que se observa una transferencia dinámica (de sustancias o materiales) entre víctima, victimario y lugar de los hechos, que permite establecer la participación de cada uno de ellos en tal evento.

El valor de los elementos filamentosos como indicios encontrados en el lugar de los hechos, se ha reconocido desde hace tiempo. La eficacia del trabajo y los resultados finales dependerán en gran parte de la búsqueda, selección, recolección y embalaje apropiado de la muestra y envío al laboratorio (cadena de custodia).

La importancia del análisis de las fibras textiles para su identificación, como pruebas presuntivas en la comisión de un delito (como se muestra en el artículo 135 fracción 111 y artículo 175 del Código de Procedimientos Penales y del Distrito Federal) y nos lleva a una metodología analítica, que se menciona más adelante con detalle. Como son las pruebas físicas, químicas y microscópicas (como se muestran en el anexo las microfotografías de fibras textiles)

En cuanto a las pruebas confirmativas, en el análisis de las fibras textiles se utilizan Instrumentos más sensibles como la espectroscopia infrarrojo, la microespectrofotométrica, la cromatografía de gas, y la pirolisis (como se muestran las graficas en el anexo).

Algunos autores han publicado métodos que pueden emplearse en el examen y comparación de las fibras textiles, de acuerdo a las características físicas, químicas y microscópicas. Por lo que se anexan al trabajo estudios comparativo de fibras textiles (con aplicación de microespectroscopía infrarrojo con transformación es de Fourier) a un caso forense.

Es necesario mencionar, que el dictamen Criminalístico, es la culminación de las investigaciones y que aparte de informar, está determinado la personalidad, habilidad, conocimientos y juicio del investigador responsable.

## 2. INTRODUCCIÓN

Se conoce como indicio a todo aquello que demuestra o pone de manifiesto la existencia de alguna cosa (PGJ. 1981). Su importancia legal radica en que ayudan al esclarecimiento de los hechos o los sucesos y se encuentra en el lugar de los hechos, que es el lugar donde se ha cometido un delito, y el perito se encarga de detectar las evidencias que han sido dejadas; así mismo, las fija y las levanta siguiendo una metodología de estudio, las embala y las remite al área correspondiente para su estudio.

Dichas evidencias pueden establecer la identidad del criminal y/o las circunstancias que provocaron el hecho (valor de la prueba pericial en el ámbito penal).

Entre los indicios que se pueden encontrar están las manchas, elemento filamentosos, prendas, objetos, armas etc. Igualmente, podemos decir que los indicios localizados en el lugar de los hechos desde el punto de vista de su origen, pueden ser de dos tipos: Biológicos y no biológicos. Las fibras se consideran de tipo biológico.

El examen del pelo, cabello y fibras, es un detalle importante de la criminalística ya que se adhieren fácilmente a superficies fibrosas o lisas, sobre todo cuando estas contienen algún tipo de pegamento.

Los elementos filamentosos pueden encontrarse en diversos lugares o cosas, que de afuera hacia adentro serían: puertas, ventanas, paredes, cortinas, sillones, camas, sábanas, enseres de baño y ropa, entre otras; las cuales en ocasiones están acompañadas de diversas adherencias como son: pintura, harina, grasa, lodo, vidrio o fluidos biológicos (sangre, saliva, semen y orina etc). (Locart E. 1954).

Lo que nos estaría indicando por un lado, la actividad del poseedor; donde se encontraba en el momento del ilícito, y por otro la individualización del sujeto activo o la confirmación del pasivo (Montiel S.J 1997).

La valoración del lugar de los hechos (será realizado por personal de servicios periciales) se puede realizar mediante la protección del lugar de los hechos, la observación, la fijación de los hechos, la colección de indicios y finalmente el suministro de indicios al laboratorio para su análisis.

El análisis de identificación de las fibras textiles sirve para comparar materiales textiles involucrados o presentes en un ilícito, por tal razón se describen algunos métodos químicos e Instrumentales como la microespectroscopia Infrarrojo, la pirolisis y la cromatografía gaseosa.

### 3.0. MARCO TEÓRICO

Las fibras son trocitos de material largos, delgados como hilos que se caracterizan por una gran resistencia tensil (a la tracción) a lo largo de la fibra. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_textil](http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_textil)).

Las fibras naturales como el algodón, lana, seda son típicas. Se tuercen las fibras para formar hilos que se entraman en telas o bien se les pone una cubierta plástica para conferirles mayor resistencias (Morrison/Boyd, 1976).

Las fibras sintéticas mas importantes son poliamidas (los nylones), poliésteres (Dacròn, Terylene, Vycron), poliacrilonitrilo ("fibras acrílicas", Orlón, Acrilàn), poliuretanos (Spandex, Vicra), y polipropileno asotáctico.

El exámen de las fibras permite en muchos casos, la exclusión de un origen determinado y sólo por excepción, una fibra hace posible la identificación individual. A ello se debe que se considere fibra de interés únicamente a aquella que posea suficiente individualidad para que su posible origen sea rastreado.

El encontrar evidencias físicas como fibras artificiales y naturales en el lugar de los hechos nos da una idea del camino que debemos seguir con base a la experiencia del investigador, ya sean fibras, prendas textiles, alfombras, cortinas, etc.

Estas evidencias tienen un valor en el ambito penal, y se consideran pruebas circunstanciales, relacionadas con la víctima y el victimario, ya sea en casos de homicidio, suicidio, violación u otro delito, de ahí su importancia del proceso analítico para su identificación y análisis.

Todo esto, con el fin de recopilar pruebas de los indicios y sumando al proceso para su posterior veredicto en los magistrados.

### **3.1 EI VALOR DE LA PRUEBA PERICIAL EN EL AMBITO PENAL**

En el Artículo 135 fracción 111 del Código de Procedimientos Penales para el Distrito Federal, la ley reconoce como medio de prueba, los Dictámenes de peritos, y, en el Capítulo Octavo del Título Segundo de la ley Adjetiva se regula en los numerales del 162 a 168, dicho medio de prueba, el cual tiene el valor que le asigna lo dispuesto por el Artículo 254 del Código de Procedimientos Penales que precisa:

La fuerza probatoria de todo dictamen pericial, incluso el cotejo de letras y los dictámenes de peritos científicos, será calificada por el Ministerio Público, por el juez o por el tribunal, según las circunstancias.

En virtud de que con frecuencia, dentro del procedimiento penal, desde la fase en la averiguación previa, así como durante el proceso, se hace indispensable la utilización de la técnica especializada en algún orden científico para obtener claridad o precisar alguna situación relacionada con la conducta o el hecho, para estar en posibilidad de fundar adecuadamente la pretensión punitiva Estatal, así como la determinación que ponga fin al proceso.

En el Artículo 175 del Código de Procedimientos Penales del Distrito Federal, dispone: Los peritos practicaron todas las operaciones y experimentos que su ciencia o arte les sugiere y expresan los hechos y circunstancias que sirven de fundamento a su Dictamen (PGJ. 1981).

## 3.2. OBSERVACIÓN Y FIJACIÓN DE LOS HECHOS

Cuando se inicia y se realizan las investigaciones en un escenario del crimen, se deben sistematizar conocimientos científicos con objeto de aplicarlos en la localización, identificación y registro de todas las evidencias físicas que se utilizan y producen en la comisión de los hechos. Para tal objeto y evitar errores, se recomienda aplicar las siguientes técnicas metodológicas en la observación y registro del lugar de los hechos (Deadman H A 1984). Dicha metodología para la investigación criminalística consta de los siguientes pasos:

- 1.- Protección del lugar de los hechos.
- 2.- Observación del lugar.
- 3.-Fijación del lugar.
- 4.- Colección de indicios.
- 5.- Suministro de indicios al laboratorio.

**1.-Protección del lugar de los hechos:** Antes que nada se debe proteger el lugar de los hechos, delimitando el lugar con cintas, para evitar posible contaminación de gente extraña al lugar.

**2.-Observación del lugar:** Como se trata de indicios muy pequeños se debe observar minuciosamente cada rincón de acuerdo a la técnica que se emplee para su búsqueda.

**3.- Fijación de lugar:** Ésta puede ser por medio de Fotografía, escrita o planimétrica

**4.- Colección de indicios:** Cada indicio deberá de embalsarse por separado, etiquetándolo con los datos administrativos correspondientes (número de averiguación previa, llamado, características nombre del Perito) y una factura a su destinatario.

**Recomendaciones para el embalaje de fibras:** Las fibras se recogen con unas pinzas se puede usar la técnica de la tela adhesiva, utilizando una cinta adhesiva transparente, que cubra el área en la cual las fibras pueden estar adheridas. Coloque la cinta, con la superficie engomada hacia abajo, en una superficie no absorbente, tersa y limpia (vidrio, plástico, envoltura de celofán) (Locart E. 1954).

Tenga cuidado de no contaminar la cinta con fibras de su propia ropa. Se embala (bolsa, sobre, caja pequeña o frasco) por separado, etiquetándolo con los datos administrativos correspondientes (número de averiguación previa, llamado, características nombre del perito) y una factura a su destinatario.

**5.-Suministro de indicios al laboratorio:** De acuerdo a la cadena de custodia su destino final es el análisis de fibras en el laboratorio. (PGJ .1981).

### 3.3. METODOS DE BUSQUEDA DE INDICIOS

Entre los métodos de búsqueda de indicios los más usuales son los siguientes:

**Criba:** El método de criba se emplea cuando se requiere cubrir grandes áreas y se cuenta con bastantes personas para realizarla, el área de búsqueda se delimita dándole la forma geométrica de un cuadrado o de un rectángulo, precediendo a iniciar la búsqueda en uno de sus extremos.

**Franjas:** El de franjas es similar al de Cribas y solo se usa si el área de búsqueda es sumamente amplia; siendo el tamaño de recorrido de 80 a 100 centímetros que es lo que alcanza la vista en detalle.

**Zonas:** El método de zonas consiste en dividir el área en pequeños cuadrados, rectangulares o sectores, que es adecuado en lugares cerrados como se muestra en la (figura 1). Hay que dividir en cuadrados el lugar y se estudia conforme a las manecillas del reloj. Es clásico en un lugar cerrado.

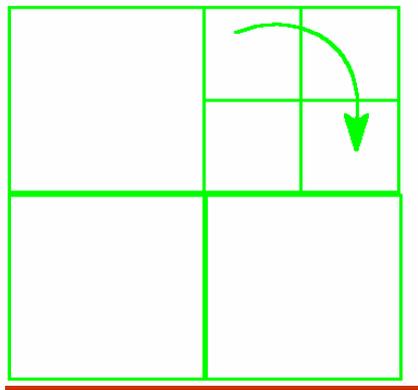


Figura 1. Búsqueda por Zonas.

**Espiral:** En el espiral el criminalista parte del centro de la escena, (figura 2) moviéndose en forma circular; recomendándose para lugares pequeños e interiores, siendo el tamaño del recorrido de 80 a 100 centímetros, el cual se delimita por el mobiliario (Vernon J.G 1982).

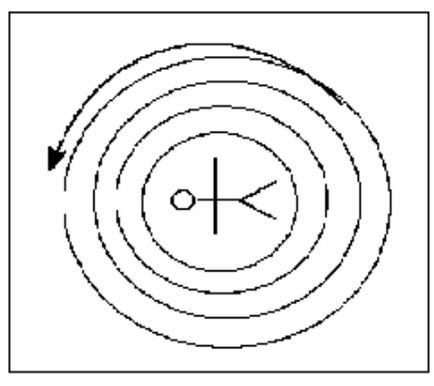


Figura 2. Búsqueda por Espiral

**Enlace:** La técnica de enlace, debe de ser empleada cuando el ilícito incluye varias habitaciones, lugares o construcciones y tiene un valor cuando el criminalista pretende efectuar la reconstrucción de los hechos.

**Estrella:** El método de estrella o reloj consiste en ubicarse en el centro de la escena, e iniciar la búsqueda formando radios imaginarios hacia los límites del lugar; se usa en incendios, así como en lugares cerrados pequeños y se aplica de acuerdo al tipo de delito que se esté investigando (figura 3.) Las evidencias se toman de adentro hacia afuera hasta topar con los límites del lugar de estudio (Moreno G. 1998.)

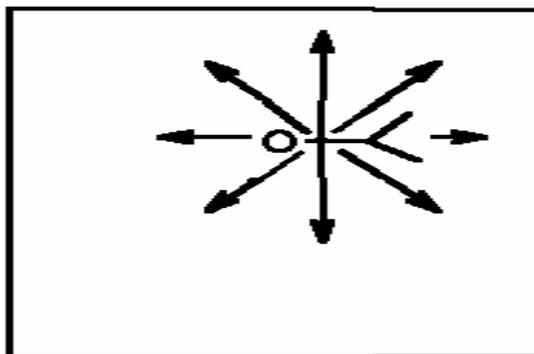


Figura 3. Búsqueda de forma de estrella

Al iniciar la búsqueda dentro de la investigación criminalística se debe tener en cuenta:

**-El Propósito:** Que consiste en establecer el cuerpo del delito, el *modus operandi* y la identidad del perpetrador.

**-El Proceso:** Desarrollar la investigación en forma sistematizada y nunca por intuición.

**-El Indicio:** Objetivo principal al efectuar una búsqueda en el lugar de los hechos.  
([http://www.policia.gov/indicio/portal/unidades/egsan.nsf/paginas/ Investigaci3n\\_microfotom % C3% 89 TRICA](http://www.policia.gov/indicio/portal/unidades/egsan.nsf/paginas/Investigaci3n_microfotom_%20C3%2089_TRICA))

Una vez localizada la fibra, se procede a su fijaci3n mediante la descripci3n fotogr3fica y croquis, detallando la ubicaci3n exacta del mismo.

El embalaje se efectuar3 en bolsas de pl3stico o en sobres que son contenedores adecuados, pues eliminan el riesgo de contaminaci3n, adem3s de ser de bajo costo (Houck M. 2001)

Las muestras ser3n embaladas por separado y debidamente etiquetadas; posteriormente, ser3n enviadas al laboratorio donde se estudiar3n y se emitir3 el dictamen correspondiente.

El estudio y an3lisis de fibras arrancadas o dejadas en el lugar de los hechos, es fundamental para la investigaci3n y en especial para la averiguaci3n previa, y que puede proporcionarnos una valiosa informaci3n para la detenci3n del presunto responsable o en su caso, la identificaci3n de un cad3ver, adem3s nos indica:

Presencia de un individuo en el lugar de los hechos.

En forma constante, cuando no existe un agente externo, hay caída natural de pelo o fibras, de ahí que su transferencia a objetos cercanos sea factible (transferencia activa) (Levinson M.1981).

Contacto entre dos o más individuos. Se observa en la lucha que precede al homicidio o violación ya que, al tratar de defenderse la víctima, existe la posibilidad de sujetarse de los cabellos, barbas, bigotes o ropas, que a su vez examinados nos pueden facilitar la identidad del agresor.

Específicamente en los delitos de índole sexual, deben buscarse elementos filamentosos en: cuerpo, ropa interior de la víctima o del victimario, manos, vestidos, ropa de cama, toallas, peines, cepillos, sombreros, closets, canastos y lugares distintos a la higiene.

El examen sistemático de las fibras, permite la exclusión de un origen determinado y solo por excepción, una fibra hace posible la identificación individual. Lo mismo que con el pelo.

Los pelos y las fibras, como componentes de la escena de un acto antisocial, deberían de ser analizados en su profundidad, teniendo en mente que forman parte de un "todo", por lo que al encontrarlos se procederá a examinarlos y determinar el posible sitio de arrancamiento, confirmando su procedencia (Rico M.G.1987).

### **3.4 HISTORIA**

El empleo de las fibras textiles para los variados fines de vestimenta, adornos y objetos domésticos (alfombras, tapices, colchas, lienzos etc.) se remontan a la prehistoria de la humanidad (Karen.G.B 1984). Todas las antiguas culturas (China, India, Persia, Egipto, Mayas, Incas etc.) conocían sin excepción el modo más o menos rudimentario de obtener materiales tejidos o hilados denominan en mayor o menor grado la técnica de su teñido mediante el empleo de colorantes naturales de las más diversas procedencias ( Alulhon H. 1965).

Prácticamente, hasta el siglo XIX de nuestra era, las únicas fibras empleadas para el hilado y tejido eran las llamadas fibras naturales, procedentes de los reinos vegetal y animal, tales como el algodón, la seda, la lana, el lino, el cáñamo, el yute, pelos de diversas especies animales, el sisal, el ramio, el abacá, las fibras de coco etc.

En el siglo pasado, se inició la fabricación de las llamadas fibras artificiales o semisintéticas al encontrarse la forma de disolver la celulosa y de obtener hilos sin fin para la invención de las hileras Esparza L.S 1998).

Como fibras artificiales o semisintéticas se designan aquellas fibras obtenidas por transformación química de productos naturales como la celulosa, proteínas, sin que en dichos procesos se destruya de modo apreciable la naturaleza macromolecular de éstos; ejemplos de este tipo de fibras textiles lo constituyen

el rayón o seda artificial, obtenido de la celulosa técnica de la madera, y las fibras de caseína, araquina, etc. Procedentes de la disolución, precipitación y endurecimiento de dichas proteínas y que se usan para la obtención de las llamadas lanas artificiales.

La fabricación de las fibras sintéticas, se inicio en el presente siglo con el descubrimiento de la polimerización química, in vitro, de sustancias de bajo peso molecular, resultando en el proceso sustancias constituidas por largas cadenas poliméricas lineales de naturaleza fibrilar, apropiadas por sus características tecnológicas para fines textiles.(Tortora P. 1996).

El desarrollo de este tipo de fibras ha ido creciendo de manera continua en variedad y versatilidad. Tales fibras sintéticas son, por ejemplo, el naylon, obtenido químicamente por vía puramente sintética a partir de diminas y ácidos alifáticos dibásicos; las fibras de poliéster resultantes de la condensación múltiple de dialcoholes con ácidos dicarboxílicos, las fibras acrílicas que se obtienen por polimerización del acrilnitrilo, los hilos elastómericos a base de poliuretanos (Schustel K. 1998).

Modernamente, las fibras artificiales y sintéticas se agrupan bajo la designación común de fibras químicas (Martínez N.P.1976).

La primera mención al estudio de fibras textiles con el fin de aclarar un hecho delictivo se remonta a 1908, cuando Georg Popp, químico de Frankfurt, fue requerido para colaborar en el esclarecimiento de los hechos que resultaron en la muerte de Margaret Filibeert. En esta ocasión, Popp logró detectar la presencia de fibras de algodón en el barro de la suela de un sospechoso y posteriormente, identificar a la falda y a la enagua de la occisa, como el origen de las mismas.

Sin lugar a dudas, Popp fue el precursor de una nueva etapa en la investigación criminalística al aplicar algunas técnicas analíticas de la química al estudio de los pequeños indicios .Concepción que Hans Gross había inculcado a la joven generación de Fiscales de Distrito y que los impelía a solicitar el auxilio de los científicos para dilucidar ciertos aspectos de los hechos delictivos.

Durante el año 1950, en la Universidad de Zurich, a través de un curso de extensión universitaria en el que se inscribieron varios investigadores de la policía para estudiar microscopia, el Doctor Max Frei-Sulzer se percató de la utilidad del microscopio para el estudio de los indicios de pequeño tamaño.

Centró su interés en las fibras textiles y desarrolló diversas técnicas para su estudio: una cinta adhesiva con un pegamento químicamente inerte para recolectar en el lugar de los hechos; un método para detectar diferencias entre colores aparentes semejantes, mediante el empleo del microscopio con diferentes tipos de iluminación (polarización, contraste de fases, flourecencia, campo oscuro) y la aplicación de la cromatografía en papel, también para el estudio de tintes.

Paul L. Kira, de la Escuela de Criminología de Berkeley California, es otro de



Los altos polímeros fibriles se forman, en la naturaleza o en el laboratorio, por una serie de procesos químicos sucesivos idénticos que se designan como polirreacción. Existen tres tipos de polirreacción: la polimerización, la policondensación y la poliadición (Rico M.G.1987).

### 3.6. COMPOSICIÓN QUÍMICA

La composición química sirve como base para clasificar las fibras en núcleos genéricos como celulósicas, proteicas y acrílicas entre otras.

También es el factor que hace que una familia de fibras (grupo genérico) sea distinto a otras, algunas fibras se preparan a partir de un solo compuesto químico, otras se obtienen de dos compuestos distintos y otras más aun, tienen compuestos que se han transferido a sus cadenas moleculares.

° **Homo, polímeros.** Fibras compuestas de una sola sustancia.

° **Copolímero.** Fibras compuestas de dos sustancias

°**Transposición de polímeros.** Las cadenas ramificadas laterales se encuentran unidas al esqueleto de la cadena de la molécula, dándole una estructura más abierta y menos cristalina; esto aumenta la receptividad de los tintes.

Ciertas fibras tienen moléculas con grupos químicamente reactivos, otras son inertes. Una molécula químicamente inerte se puede convertir en reactiva haciendo una transposición de grupos reactivos. (Norma H,JS. 2002).

Los polímeros se dividen en dos clases: naturales y sintéticos. Ejemplos de polímeros naturales son las proteínas, los ácidos nucleicos, la celulosa (polisacáridos) y el hule etc.

Los polímeros sintéticos. Ejemplos comunes son los que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1. Algunos monómeros y sus polímeros sintéticos más comunes. (Trotón R. 1983).

Monómero	Polímeros
<p>Etileno</p> $\text{CH}_2=\text{CH}_2$	<p>Polietileno</p> $-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2-$
<p>Cloruro de vinilo</p> $\text{CH}_2=\text{CHCl}$	<p>Cloruros de polivinilo (PVC)</p> $\begin{array}{c} -\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2- \\   \quad   \\ \text{Cl} \quad \text{Cl} \end{array}$
<p>Acrilonitrilo o nitrilo acrílico</p> $\text{CH}_2=\text{CHCN}$	<p>Poliacrilonitrilo</p> $\begin{array}{c} -\text{CH}_2\text{CHCH}_2\text{CH}_2- \\   \quad   \\ \text{CN} \quad \text{CN} \end{array}$
<p>Hexametilendiamina</p> $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2$ <p>Ácido adípico</p> $\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\    \quad \quad \quad    \\ \text{HO}-\text{C}-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{C}-\text{OH} \end{array}$	<p>Nylón 66</p> $\begin{array}{c} \text{O} \quad \quad \quad \text{O} \\    \quad \quad \quad    \\ -\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{C}-(\text{CH}_2)_4-\text{C}- \end{array}$
<p>Estireno</p> $\text{C}_6\text{H}_5\text{CH}=\text{CH}_2$	<p>Poliestireno</p> $\begin{array}{c} -\text{CH}_2\text{CH}- \\   \\ \text{C}_6\text{H}_5 \end{array}$
<p>dicloroetano</p> $\text{CH}_2=\text{CCl}_2$	<p>Sarán</p> $\begin{array}{c} -\text{CH}_2=\text{C}-\text{Cl} \\   \\ \text{Cl} \end{array}$

### 3.7. ESTRUCTURA INTERNA O DISTRIBUCIÓN MOLECULAR

Las fibras están compuestas por millones de cadenas moleculares. La longitud de las cadenas, que varían a medida que cambia la longitud de la fibra, se describe como grado de polimerización. La polimerización es el proceso de unión de pequeñas moléculas o monómeros entre sí. Las cadenas largas indican un alto grado de polimerización y también una gran resistencia de la fibra.

Las cadenas moleculares se describen en ocasiones en términos de peso. El peso molecular influye en propiedades como resistencia de fibra, extensibilidad y formación de frisas (formación de esferas de fibra en las puntas sobre la superficie de las telas) en la tela. (Cuando las cadenas son más largas es más difícil separarlas por grupos que cuando son más cortas). El peso molecular se expresa como la viscosidad intrínseca y se determina por prueba de viscosidad; una viscosidad más alta significa peso molecular más alto o cadenas moleculares más largas.

Las cadenas moleculares tienen distintos ordenamientos en las fibras. Cuando la cadena molecular es casi paralela al eje longitudinal de la fibra se dice que están orientadas; cuando se encuentran distribuidas al azar se consideran amorfas. El término cristalino se usa para describir fibras cuyas cadenas moleculares son paralelas entre sí, pero no necesariamente paralelas al eje de las fibras (figura 4). Las distintas fibras varían en proporciones de áreas orientadas, cristalinas y amorfas. Las cadenas moleculares no son visibles pero su distribución se deduce en forma teórica por análisis con rayos X.

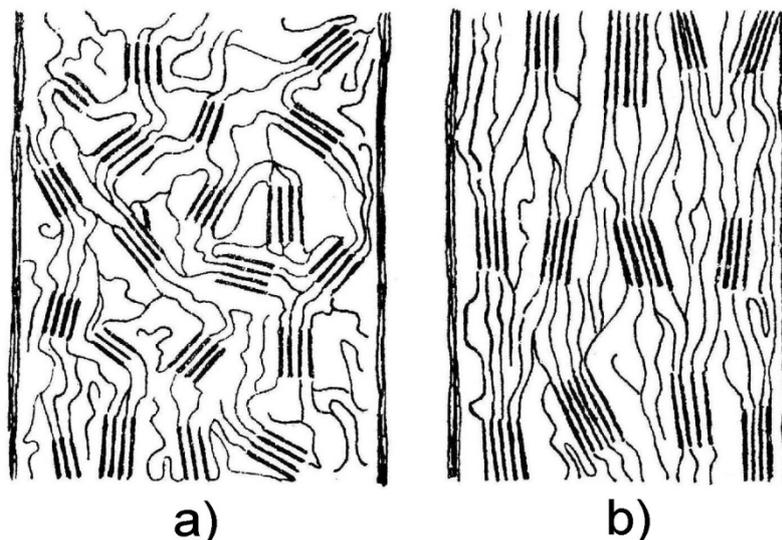


Figura.4 Polímeros cristalinos.  
a) No orientados    b) orientados

Las fibras artificiales cuando se extruyen de las hileras presentan un estado aleatorio, sin orientar. El estriado o alargamiento aumenta la cristalinidad y la distribución ordenada, reduce el diámetro y agrupa a las moléculas juntándolas

más como se observa en la figura 5. La cantidad de cristalinidad y orientación se relaciona con las propiedades físicas de la fibra, como son resistencia, elongación, absorción de humedad y resistencia a la abrasión así como a la receptividad de la fibra a colorantes.

Las cadenas moleculares se mantienen unidas entre si por enlaces cruzados o por fuerzas intermoleculares llamados puentes de Hidrógeno y fuerzas de Van der Waals. Las fuerzas son similares a la atracción entre un imán y un trozo de hierro. Mientras más cerca estén las cadenas una de otra, más fuertes serán los enlaces.

El puente de Hidrógeno es la atracción de los átomos positivos de Hidrógeno en una cadena por átomos negativos de oxígeno o nitrógeno en una cadena contigua.

Los puentes de Hidrógeno y de Van der Waals aparecen en las áreas cristalinas (Norma H,JS. 2002)

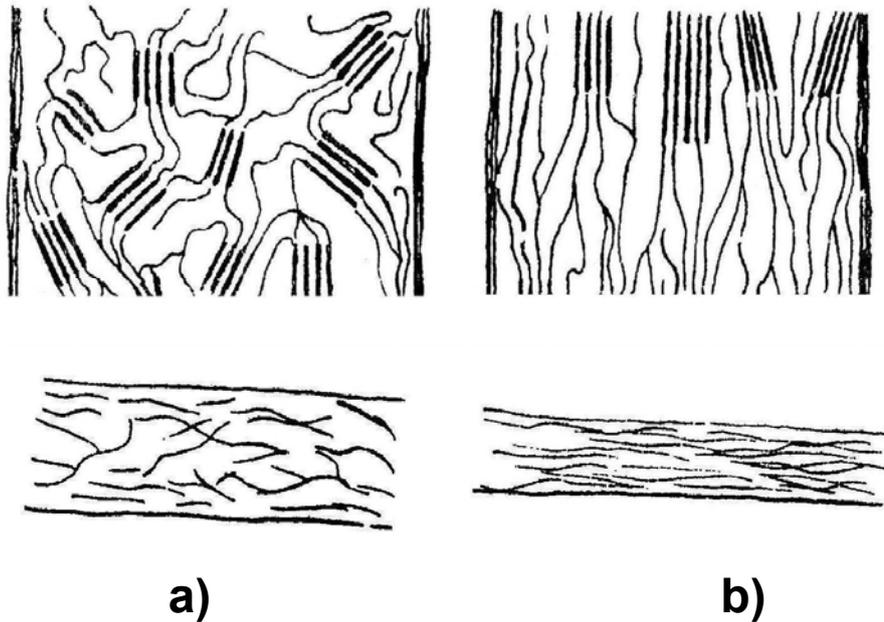


Figura .5 Aspecto de la fibra antes y después del estirado.  
a) Sin estirar ni alargar    b) estirado o alargado

### 3.8. PROPIEDADES DE LAS FIBRAS TEXTILES

Las fibras textiles dentro de cada familia genérica tienen diferencias individuales. En la tabla 2. Se mencionan las propiedades físicas en forma general de cada grupo genérico a la que contribuye (Norma H,JS. 2002).

**TABLA 2. PROPIEDADES DE LAS FIBRAS**

<b>Propiedad de la fibra</b>	<b>Debido a</b>	<b>Propiedades de la tela a la que contribuye</b>
Resistencia a la abrasión	Capa exterior dura, presencia de escamas	Durabilidad Resistencia a la Abrasión Resistencia al separarse
Absorción o tasa legal de humedad	Grupo oxidrilo Áreas amorfas	Comodidad, calor, repelencia al agua, absorción ,acumulación
Resistencia al envejecimiento	Estructura química	Almacenamiento de telas
Reactividad química	Grupos polares de moléculas	Cuidados especiales de Limpieza-blanqueo Capacidad de aceptar acabados ácidos o alcalinos.
Cohesión	Rizado o torcido	Resistencia al deshilachado
Cobertura	Rizado lazo o torcido	Calor en la tela
Colgadura	Forma de la sección transversal ausencia de cadenas laterales	Rayas longitudinales
Capacidad de tintura	Áreas amorfas y sitios receptores de tintura	Estética y solidez de color
Recuperación elástica	Estructura molecular	Facilidad del procesado de las telas. Resistencia, Colgadura o elasticidad retardada.
Conductividad eléctrica	Estructura química: grupos polares	Mala conductividad que hace que las telas se pequen al cuerpo, produciendo descargas eléctricas.
Alargamiento	Rizado de la fibra Estructura molecular: orientación molecular en el rizado.	Mayor resistencia al desgaste Es menos quebradiza
Enfieltramiento	Estructuras escamosas en la lana	Proporciona "juego" y elasticidad Se pueden elaborar telas directamente de las fibras.

Inflamabilidad	Composición química	Las telas se queman
Conductividad térmica	Rizado	Calor
Sensibilidad al calor	Hay menos fuerzas intermoleculares y enlaces cruzados	Determina las temperaturas seguras para lavado y planchado
Lustre	Suavidad, longitud de la fibra,	lustre
Tacto	Forma de la sección transversal: rizado diámetro, longitud	Tacto de la tela
Resorteo	Rizado de la fibra Rigidez	Buen resorteo, buena cobertura Resistencia a hacerse plano
Resistencia al moho	Baja absorción	Cuidado durante el almacenamiento
Resistencia a la polilla	La molécula no tiene azufre	Cuidado durante el almacenamiento
Frisado	Resistencia de la fibra Alto peso molecular	Frisado, aspecto desagradable Conservación de calor sin peso Alto volumen siendo ligera
Rigidez	Relación del esfuerzo de ruptura a la deformación	Cuerpo de la tela Resistencia a la inserción de torsión en el hilo
Resistencia	Estructura molecular orientación cristalinidad, grado de polimerización	Durabilidad, resistencia al desgarre, abolsamiento, frizado
Resistencia a la luz solar	Composición química	Durabilidad de cortinas y colgaduras, muebles exteriores, alfombras para exteriores.
Tenacidad	Superficie externa o "cutícula" de la fibra	Resiste a la ruptura por deformación da resistencia a la fricción
Capilaridad	Composición física y química de la superficie externa	Resiste a la ruptura por deformación.

### 3.9. CONTORNO DE LA SUPERFICIE DE LAS FIBRAS

El contorno de la superficie se define como la superficie de la fibra a lo largo de su eje. Este contorno puede ser liso, dentado, serrado, estirado o áspero. Es importante para el tacto y textura de la tela. La figura 6, muestra algunas de las diferencias en el contorno de la superficie en distintas fibras vistas al microscopio (Norma H, J.S. 2002).

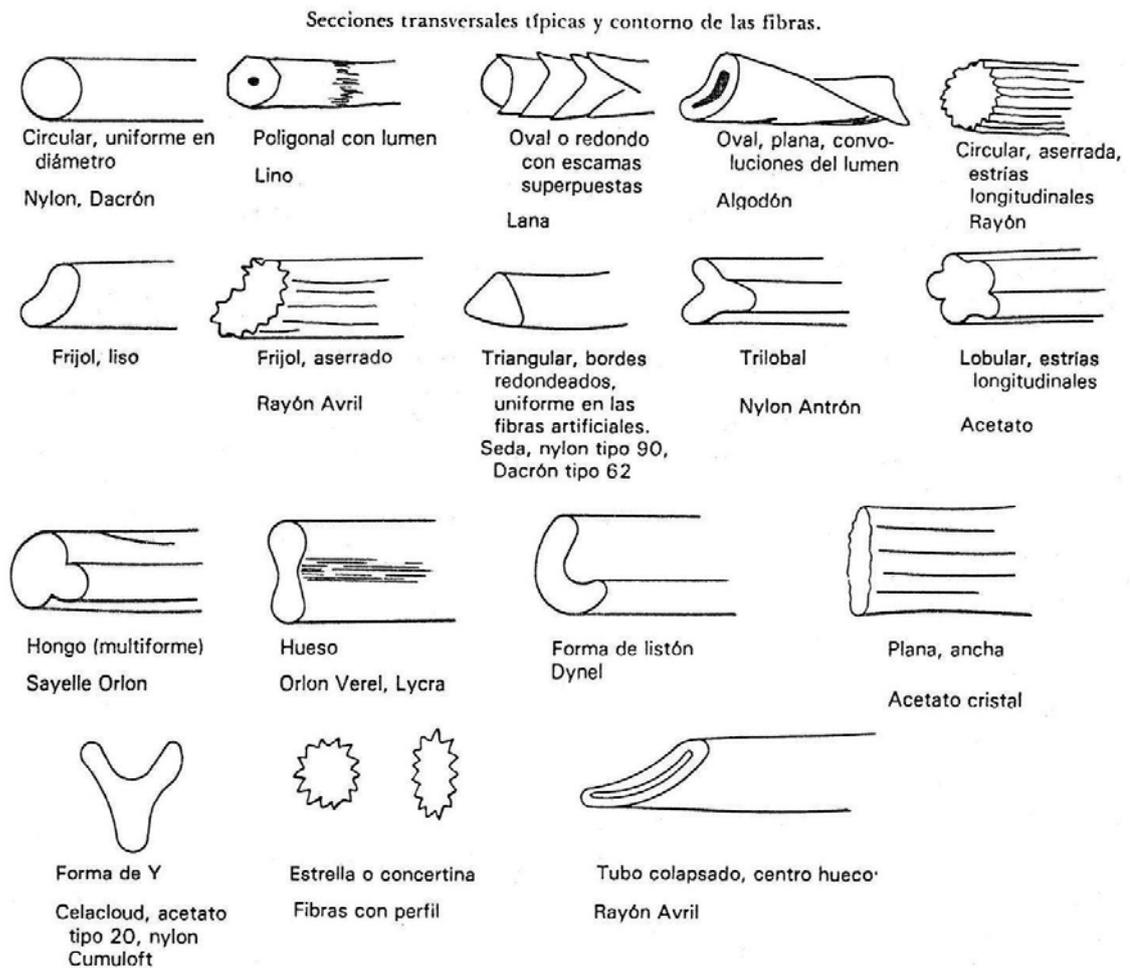


Figura. 6 Secciones transversales típicas y contorno de la superficie de las fibras textiles.

### 3.10. CLASIFICACIÓN DE LAS FIBRAS TEXTILES

Las fibras que el hombre emplea para la elaboración de objetos tejidos son de muy diversas naturaleza y su patrón de consumo ha cambiado con la época. Empero ellas pueden clasificarse de la siguiente manera (Jiménez N.R 1981)

#### A. FIBRAS NATURALES

Aquellas que se encuentran en la naturaleza como tales y el hombre solo adecuan para su utilización.

**Origen vegetal.** Las procedentes de semillas, hojas, frutos, tallos o raíces de diversas plantas, las más comúnmente usadas son:

Algodón, Yute, Lino, Henequén o sisal, Cáñamo, Plátano (raíces).

**Origen animal.** Múltiples son los animales de los que el hombre ha obtenido elementos que han sido empleados para la elaboración de textiles; también las pieles con pelos han sido utilizadas como abrigos entre los primeros tenemos:

Lana (regular o merino, cashmere, mohair), Seda, Pelo (camello, llama, alpaca, vicuña).

**Origen Mineral:** Asbesto

#### B. FIBRAS ARTIFICIALES

Comprenden todas aquellas hechas por el hombre.

**Origen Semisintético.** En los casos en que la materia prima preexiste en la naturaleza y el hombre sólo le ha confinado la configuración fibrilar: vidrio, cerámica, metal.

**Regeneradas.** Para las que se emplean fundamentalmente proteínas de origen vegetal o animal.

Derivados de celulosa: Rayón viscosa, cuproamónio, ésteres acetatos. Otras: Carboximetilcelulosa.

Derivados de caseína-Fibrolane y Lanital.

Derivados de prolamina (maíz)-vícara.

Misceláneas. Hule, Alginato.

**Origen Sintético.** En las que la materia prima, polímeros no existen en la naturaleza, es obtenida mediante complejos procesos de síntesis químicas. (Grive MC.1995).

Derivados del etileno: Vinilos, Sarán, Vectra, Vinyon, etc.

Acetonitrilos- Acrilinas, Modacrilinas.

Olefinas (Derivados del polipropileno)- DPL, Herculon, Merkalon.

Poliámidas. Nylón, Rilsan, Cantece y Celón.

Poliésteres – Dralón- Terlenka.Tergal, Fortel.

Polimetánicas-Spandex, Licra, Vyrene.

### 3.11. CARACTERÍSTICAS FISICOQUÍMICAS DE LAS FIBRAS

#### FIBRAS NATURALES

Los animales y vegetales disponibles en el medio ambiente han proporcionado al hombre variadas fibras para la elaboración de telas. El empleo de las diversas fibras naturales estuvo condicionado a la disponibilidad de fuentes de aprovisionamiento).

Estas fibras, después de ser limpiadas, son cardadas o alineadas para ser hiladas mediante torcido o trenza. Inicialmente los hilos contenían fibras de una sola especie; actualmente es común la mezcla con fibras artificiales, lo que proporciona mayor resistencia a las telas y mejora su comportamiento al arrugamiento, ensuciamiento, lavado y planchado (Textile Institute Manchester. 1975). Las características de las fibras naturales más importantes desde el punto de vista criminalístico, son las que a continuación se mencionan:

**Algodón.** Es una fibra obtenida de las semillas de diversas variedades cultivables de plantas del género *Gossypium*. Está constituida por una sola célula elongada, plana y con torsiones en espiral. Muestra superficie granular irregular, con bordes gruesos y sin marcas transversales; tiene un canal central que le confiere apariencia grisácea cuando se observa en seco con luz transmitida y las puntas de las fibras son romas como se muestran en el anexo las microfotografías 6.7, 8 y 9.

Mediante el proceso de mercerizado, tratamiento con solución cáustica fuerte, se le confiere dureza y aumenta la resistencia a los hilos de algodón. Por efecto de este proceso, la longitud de la fibra se reduce, el canal interno se pierde, la superficie se torna lisa y la torsión se hace menos aparente.

El algodón es insoluble en hidróxido de amonio concentrado, soluble en ácido sulfúrico concentrado y se solubiliza parcialmente en ácido clorhídrico concentrado. Debido a su contenido de celulosa se tiñe de rosa o rojo violeta con el reactivo del cloruro de zinc-yoduro de potasio, y de azul con reactivo de Vetillard (pruebas de color, cuya composición se menciona en la pagina 43).

**Cáñamo.** Fibra natural obtenida del tallo de plantas del género *Cannabis*, compuesta por largas células que muestran estrías transversales, puntas romas y grandes cavidades de sección oval. A lo largo de su superficie se observan nudosidades con penachos de finos pelillos como se muestra en el anexo la microfotografía 20. Se colorea de amarillo con el reactivo de Vetillard. Actualmente tiene poco uso, pero en el pasado tuvo gran demanda para la elaboración de cuerdas y velas de gran resistencia.

**Lana.** Fibras delgadas de origen animal, procedentes del pelaje de diversas variedades de oveja. Presentan estructura celular con cutícula de células planas imbricadas y prominentes que se pierden con el uso. Generalmente no poseen médula. Son insolubles en soluciones de sulfato de cobre, carbonatos de sodio; amoniaco y ácido sulfúrico. Con el reactivo de Vetillard y con ácido pícrico se tiñen de amarillo. Si la lana se quema lentamente y se produce un olor azufre (parecido a cuerno quemado, debido a la presencia de queratinas).

**Lino.** Es una fibra típicamente vegetal: libre de escamas, superficies irregulares, diámetro variable y pequeña cavidad central. Las fibras son cortas, suaves, con torceduras, bandas transversales y puntas afiladas. Su sección es poligonal y su superficie presenta nódulos que le otorgan una apariencia semejante a la del tallo de bambú (Ver anexo de microfotografías, 14 y 15).

Actualmente, tienen poco uso, pero en el pasado se empleó para la elaboración de vestidos, camisas, servilletas, mantelería y pañuelos finos. Es soluble en sulfato de cobre y carbonato de sodio en amoníaco; no se solubiliza en ácido sulfúrico. Con el reactivo de Vetillard da coloración azul debido a su contenido de celulosa.

**Seda.** Filamento fino y brillante formado por una secreción glandular viscosa de diversas especies de *Bómbix*. (Ver anexo microfotografía1).

Se presenta como una fibra larga y continua, en forma cruda o natural (Ver Anexo microfotografía 4). Por dos filamentos de sección triangular envueltos en una estructura elíptica de sericina. La superficie externa se muestra desgomada, de la que se ha eliminado la sericina, es un filamento único de aproximadamente 20 micrones de diámetro, sin estructura celular translucido, suave, sin constricciones y sumamente ligero. Con objeto de que la fibra sea más pesada se le hace precipitar en su interior óxido estañoso (SnO).

El ácido sulfúrico la disuelve; en solución de sulfato de cobre, carbonato de sodio y amoníaco se disuelve lentamente. Con el reactivo de Vetillard adquiere un color café; con el ácido pícrico y con el reactivo del ioduro de zinc, amarillo, y por último con el reactivo de mercurio en ácido nítrico.

**Yute.** Son fibras gruesas y tiesas sin marcas longitudinales ni transversales, con puntas planas y una cavidad larga y amplia de diámetro no uniforme. Posee abundante lignina y por ello se colorea de amarillo con el reactivo de Vetillard (Ver tabla 5), con el cloro- yoduro de zinc (Cl +ZnI) y con el sulfato de anilina.

## **FIBRAS ARTIFICIALES**

Se designan como fibras sintéticas aquellas que se obtienen por procesos químicos de polirreacción a partir de sustancias de bajo peso molecular por vía puramente sintética, es decir, *in vitro*, Sin intervención de la Naturaleza. Estas fibras, junto con las llamadas fibras artificiales (o semisintéticas o regeneradas), que se obtienen por transformación química de productos naturales fibrosos, se engloban bajo la designación general de fibras químicas.

Las fibras artificiales son elaboradas por el hombre, a partir de sustancias que en estado original no presentan características filiformes. Estas sustancias, de diversas naturalezas, son preparadas por disolución o por fusión, de manera que pueden pasar a través de pequeños orificios (hileras) que les confieren forma filamentosa. Los orificios de la hilera sufren desgaste, de manera que su espacio interior no es perfectamente redondo; Las alteraciones en la forma serán impresas en la superficie del filamento y observables al microscopio. Una vez que sale de la hilera, el filamento es sometido a la acción de una

corriente de aire, a ciertas condiciones de temperatura o al efecto de sustancias químicas, con el fin de endurecerlos y aumentar la resistencia a la tensión de algunas fibras. Éstas son estiradas en frío con lo que se logra un completo alineamiento, molecular en sentido longitudinal, mismo que había sido ya condicionado durante el proceso de extrusión.

La retracción que sufre la fibra después de efectuada la tracción da por resultado la producción de minúsculos pliegues longitudinales sobre la superficie. Comúnmente las fibras artificiales son teñidas por dispersión al agregar el colorante durante la polimerización o la masa antes de la extrusión, pero también pueden ser teñidas en baño después de ser elaboradas.

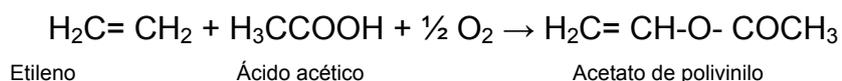
Las superficies de las fibras hechas por el hombre son más o menos lisas y brillantes; para eliminar la brillantes se aplican a la superficie de la fibra sustancias deslustradoras como el óxido de titanio, las que a la observación al microscopio se revelan como pequeñas inclusiones sobre la superficie de la fibra o entre los pliegues y estrías de la misma.

La composición química de un mismo tipo de fibra, producido por diferentes fabricantes, no cambia aunque existan mínimas modificaciones en el proceso de fabricación o en el acabado, así como en la marca bajo la cual se comercializan.

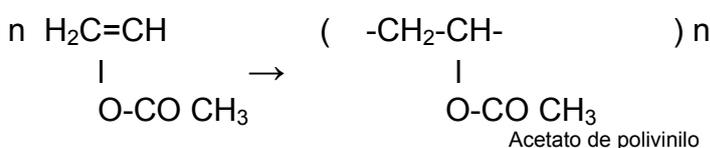
En la Industria textil, las fibras artificiales son empleadas como filamentos únicos, tejidos entre sí o con fibras de otra naturaleza. Sin embargo las mejores propiedades se obtienen con hilos formados de fibras artificiales cortas, cardadas e hiladas entre sí o en combinaciones con algodón y lana. A continuación, se describen las características más relevantes de las diferentes variedades de fibras artificiales.

**Acetatos.** Son fibras de origen proteico compuestas por celulosa acetilada obtenida de pulpa de madera. Son muy solubles en acetona. Después del estiramiento a que son sometidas para aumentar su resistencia se contraen; pero éstas son menos notadas que las del rayón viscoso. Las fibras son suaves al tacto, no irritan, acumulan electricidad estática y sus colores son firmes. Se emplean en telas abrigadoras baratas (satín, tafeta, muarés, brocados, cortinas y forros), para estambres y para tapices resistentes al fuego.

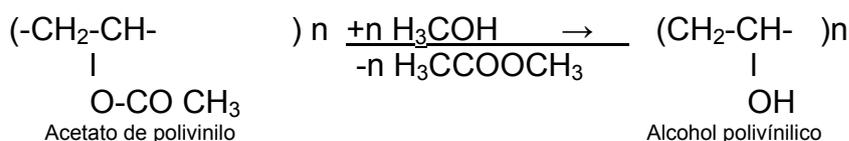
El acetato de vinilo,  $\text{H}_2\text{C}=\text{CH}-\text{O}-\text{COCH}_3$ , p.e.,  $72^\circ \text{C}$ . (Hansbeyr, Wolfgang W.1987) Se prepara industrialmente por adición de ácido acético a etileno en presencia de sales de paladio, cobre y oxígeno (acetilación oxidante).



El acetato de vinilo se polimeriza fácilmente a acetato de polivinilo por acción del calor, la luz o los peróxidos:



Estos polímeros (mowilith) se disuelven bien en disolventes orgánicos y se utilizan en forma de redes para aglutinantes de pinturas u colas. Es de interés el hecho de que los ésteres polivinílicos, por transesterificación con metanol, conducen a alcoholes polivinílicos.



El alcohol polivinílico por sus propiedades similares al almidón se utiliza en la industria textil.

**El Celafibre.** Una modalidad de acetato, ofrece resistencia moderada a la abrasión y a la luz; combinando con la lana se utiliza en cobertores, alfombras y estambres que no se arrugan.

**El Fortisán.** Es una fibra de acetato de celulosa con alta resistencia.

Cuando más del 92 por ciento de los grupos hidroxilos ha sido acetilado; la fibra se designa como triacetato (Acele, Arnel, Celoperm y Estròn) el cual requiere temperaturas más altas para el planchado, resiste a las arrugas, se tiñe mejor que el acetato, tiene poca resistencia a la abrasión y se daña con la luz.

**Acrílicas.** Las fibras acrílicas son derivados del etileno, el cual es polimerizado a altas temperaturas y elevada presión. Existen dos variedades: las acrílicas propiamente dichas y las modacrílicas. Las primeras están constituidas por un polímero de cadena larga compuesto, cuando menos en un 85 por ciento por unidades de acetonitrilo ( $\text{CH}_2-\text{C}\equiv\text{N}$ ); en el caso de las fibras modacrílicas el porcentaje de participación del polímero de acetonitrilo es superior al 35 por ciento. La solubilidad en que estas fibras guarda relación inversa con la cantidad de grupos Cianuro contenidos: así las fibras acrílicas son altamente insolubles en los disolventes orgánicos; al contrario de lo que sucede con las modacrílicas. Los polímeros del acetonitrilo poseen pobres propiedades tincionales; por lo que en la práctica ambas fibras acrílicas contienen también polímeros del vinilo o del estireno que mejoran las capacidades de aceptación de los tintes.

Morfológicamente estas fibras se caracterizan por estrías longitudinales en la superficie y por sección lobulada. A partir de su introducción en 1950 (Orlòn), las fibras derivadas del acetonitrilo han alcanzado amplia aceptación por su resistencia tanto a la fricción y a la tracción como a la polilla y a los mohos, así

como por su tersura semejante a la de la lana y su secado rápido. Sin embargo, tienen dos serias desventajas: son inflamables y acumulan electricidad estática. Son ideales para la fabricación de abrigos, suéteres, calcetines, estambres y ropa para exteriores.

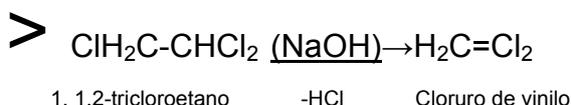
Las principales variedades de fibras acrílicas son: Acrilàn, Courtelle, Creslan, Crisan, Crylón, Dralón, Orlón, Velicrén, Vilicrén y Zefrán, de las modacrílicas, las más comunes comprenden: Aeres, Dynel y Verel.

**Derivadas del cloro etileno (Vinilos).** Fibras constituidas por polímeros del cloruro de vinilo o cloruro de vinilideno. Al primer grupo pertenece el Vinyòn que se funde pero no se quema, es fuerte, elástico y se une por calor a otras fibras.

La variedad generalmente es un copolímero con un 15 por ciento de cloruro de vinilo, tiene poca actividad química y es repelente al agua por lo que se emplea para alfombras, pasto artificial, muebles para jardín y telas de uso Industrial. Las marcas más usadas son Badische, Serán, Vectra, Velón y Vinal. Rovana es un solo filamento plano de Sarán.

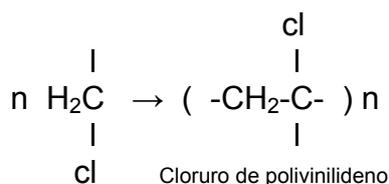
El cloruro de vinilideno,  $H_2C=CCl_2$ , p.e.,  $37^\circ C$ , se obtiene por reacción de cloro, con cloruro de vinilo o 1,2- dicloroetano, con lo que se forma 1,1,2-tricloroetano, del cual se elimina cloruro de hidrogeno por tratamiento con sosa.

$H_2C=CCl_2$   
Cloruro de vinilo



$ClH_2C-CH_2Cl$   
1,2-Dicloroetano

La polimerización del cloruro de vinilideno transcurre de forma análoga a la del cloruro de vinilo:



**Olefinas.** Fibras compuestas de polímeros sintéticos de cadena larga que contienen cuando menos un 85 por ciento de su peso de etileno, propileno o cualquier otra unidad oleofina (hidrocarburos no saturados). Estrictamente también incluyen a las fibras acrílicas y a las derivadas del cloroetileno, pero estas por su importancia son tratadas en forma independiente, aquí solo se revisarán las fibras de polipropileno (Amefin, Polifom, Ike, Pliana, Herculón, Meraklón) que guardan estrecha relación química con los materiales plásticos (polietileno, polipropileno, poliestireno) tan comúnmente empleados en la fabricación de contenedores.

Las fibras de polipropileno se funden fácilmente, son difíciles de teñir y muy resistentes al desgaste; por ello se usan para vestiduras de automóvil y para muebles exteriores, para cordeles y para alfombras.

**Poliámidas.** Fibras elaboradas sintéticamente a partir de cadenas largas de poliámidas en las cuales existen grupos: -CONH- en forma recurrente. La primera fue introducida por Du Pont con el nombre de Nylon. Son derivados del alquitrán de hulla y contienen en sus estructuras benceno, fenol, hidrógeno, amoníaco e hidróxido de sodio. La superficie de los filamentos es lisa, sin accidentes, y la sección es redondeada o trilobulada (.Ver Anexo Microfotografías 12, 13, 28, 29, 30 y 31).

Las poliámidas son fibras muy resistentes, con alta fuerza tensil e indeformable. Se solubilizan en fenol, cresol y ácidos fuertes. Por su resistencia y ligereza son ampliamente usadas para cuerdas de llanta, cordeles, medias, ropa tejida y prendas impermeables.

El Nylon 6 recibe varios nombres comerciales como Amilán, Aztekrón, Copralán, Enkalón, Galón, Kapón, Mirlón, Nylfil, Perlon y Phrilón. El Rilsan es Nylon 11. Existen otras variedades como el Cantrece (para estambres de textura suave), resistente al fuego y con “superblancura” que se usa para la elaboración de telas que estiran, ropa impermeable, trajes de baño, calcetines, ropa de noche para niños y en acolchonados.

**Poliéster.** Descubiertas en 1941 en Inglaterra y producidas comercialmente a partir de 1948, las fibras de poliéster han alcanzado extenso uso debido a su alta resistencia al arrugamiento; por ello constituyen el principal componente de las telas para “lavar y usar” y de las prendas con “planchado permanente”. Estas fibras están formadas por polímeros de cadena larga, las cuales contienen en más del 85 por ciento de su peso, ésteres de un diol y un ácido tereftálico ( $p\text{-HOOC-C}_6\text{H}_4\text{-COOH}$ ). Son solubles en cresol, fenol y ácido trifluoroacético resisten la acción de la acetona.

Generalmente son fibras redondas, sin estrías en su superficie aunque a veces presentan sección triangular o bilobulada. Muestran diferentes grados de lustre y son altamente birrefringentes cuando se examinan con luz polarizada (Ver Anexo microfotografías 26 y 28).

Las fibras de poliéster son ligeras, inodoras, no causan alergia y conservan el calor. La industria textil la utiliza como filamento continuo o hiladas solas o en combinación con algodón, lana y rayón viscoso. Se emplean para la fabricación de camisas, ropa interior, faldas, vestidos, trajes, sábanas, estambres, alfombras y como relleno de almohadas o de telas acolchonadas.

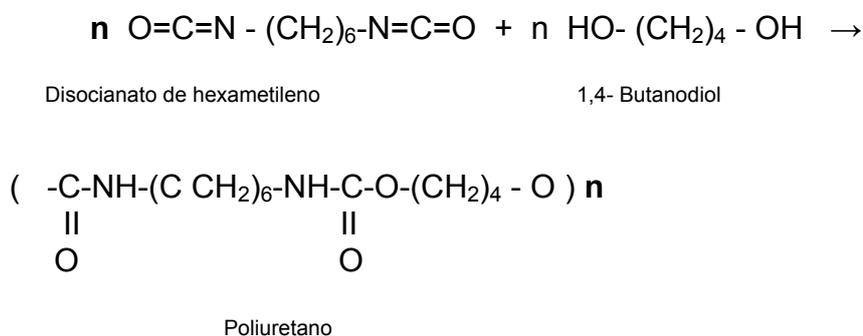
Las marcas más usuales (Ver apéndice de nombres comerciales en el anexo) bajo las que se han comercializado las fibras poliéstericas son: Dacrón, Terlenka, Delcrón, Tergal, Terital, Trevira, Terylemne, Fortel, Kintrel, Diolén, Mylar, Tetorñon, Vycrón y Kodel.

**Poliuretano.** Las fibras de esta naturaleza están compuestas cuando menos en un 85 por ciento por poliuretano segmentado. Segmentación que describe el hecho de que el copolímero se encuentra formado por cadenas largas flexibles unidas a cadenas cortas rígidas mediante uniones de dos uretanos. Las características más destacadas de estas fibras son ligereza, suavidad y elasticidad que superan a las propiedades del hule.

El spandex es el representante más conocido de este grupo y es un copolímero de polietilenglicol y di-isocianato 2,4 toluenos. Otros nombres con los que es comercializado, incluyen Blue C, Glospán, Lycra y Vyrene. Estas fibras son resistentes a la hidrólisis por ácido y por álcalis.

Debido a su elasticidad se emplean para trajes de baño, calcetines y otras prendas que requieren estar ajustadas como medias elásticas, faldas, portaliqas, cinturones, brasieres, corsés, fajas. La presencia del disocianato como impureza puede causar dermatitis por contacto.

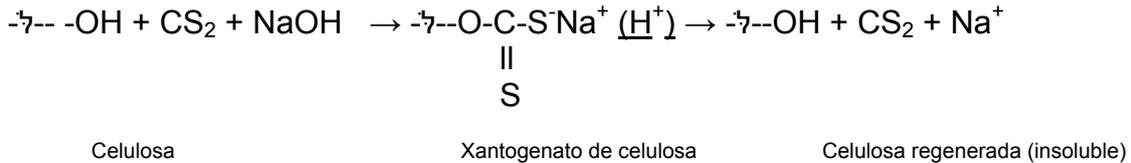
En el sector de los plásticos poseen gran importancia técnica los poliuretanos, desarrollados por Bayer, que se prepara mediante el proceso de poliadición de disocianato, por ejemplo, por adición de 1,4-butanodiol a disocianato de hexametileno:



**Rayón.** Esta fibra está compuesta de celulosa de origen vegetal regenerada. Las fuentes más comunes de materia prima son el algodón y la pulpa de madera. Por lo tanto, el algodón y el rayón poseen propiedades químicas similares, aunque diferentes características morfológicas. De acuerdo con el proceso empleado para la solubilización de la celulosa, el rayón recibe las denominaciones de viscosa y cupramónico. En el primer caso, la celulosa purificada es disuelta en una solución alcalina con disulfuro de carbono y después es extruída y estirada, lo que le imprime estrías longitudinales paralelas a su superficie. En cambio, para la variedad cupramónica se emplea el hidróxido amoniacal de cobre para solubilizar la celulosa, a continuación la masa se extruye y la fibra resultante es pasada por un baño de ácido sulfúrico, en el cual se destruye el complejo cupramónico y se precipita la celulosa. Por lo tanto, la fibra presenta aspecto de una barra cilíndrica de superficie lisa. (Ver Anexo microfotografías 33,34 y35).

El proceso citado en primer término es el que se utiliza más comúnmente. La fibra de rayón esta dotada de gran suavidad, por lo que se emplea en la fabricación de prendas que requieren de suave textura como la ropa interior y los calcetines.

El método de obtención del Rayón a la viscosa (seda a la viscosa) será por tratamiento de la celulosa con sosa del 15-25%, se esponja en un proceso de maduración y, con disminución de la longitud media de la cadena. Resulta la llamada celulosa al álcali. Esta se puede transformar, por tratamiento con sulfuro de carbono, en xantogenato de celulosa:



El xantogenato de celulosa contiene, por término medio, dos unidades de glucosa por molécula de CS<sub>2</sub>.

La viscosa así formada se extruye en un baño con ácido sulfúrico diluido, con lo que la sal del éster se descompone en celulosa, sulfuro de carbono y sulfato sódico. La celulosa regenerada (celulosa hidratada) se utiliza para la preparación de fibras textiles (seda a la viscosa)

**Durafil.** Es una variedad desarrollada a partir del Rayón, viscoso que posee resistencia superior a la del Rayón común y proporciona mayor duración. Se emplea para la fabricación de bolsas, de uniformes y para mejorar la resistencia de telas en la que también se usan otras fibras.

El Rayón como el algodón es insoluble en acetona, no así otras fibras celòsicas como el acetato y el triacetato. Inicialmente el Rayón se producía en fibras continuas, pero ofrecía pobres propiedades textiles; en la actualidad se elaboran fibras cortas que posteriormente son cardadas e hiladas, solas o en combinación con fibras naturales, situación que brinda mejores cualidades textiles y apariencia semejante a la de las fibras naturales (Ver Anexo microfotografías figura, 33 y 34) (Rico M.G.1987).



#### **4. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

Las fibras textiles en criminalística, quizá se presenten con más frecuencia que cualquier otro tipo de evidencia y se suelen pasar por alto por parte de los investigadores. Con la aparición de las fibras sintéticas modernas este tipo de material microscópico ha tomado gran importancia, agregada a una fuente de evidencias corroborativas. Se examinan las fibras al microscopio para determinar su tipo y distribución de varias características accidentales.

Tal examen puede identificar el tipo de ropa o tela de la cual proviene. La aplicación de las técnicas y métodos químicos para el estudio de la materia considera como indicio o evidencia involucrada en la comisión de un delito con la finalidad de averiguar la verdad histórica de los hechos.

La química legal es una de las ciencias con las que se apoya el Ministerio Público para investigar diversos delitos. Otro problema que se encuentra es también la calidad y cantidad de la muestra recibida en el laboratorio, sobre todo cuando el indicio es escaso o contaminado, ya que hay pruebas térmicas como los pirogramas donde se destruye la muestra, situación desafiante para el experto en química, cuyo dictamen deberá ser contundente respecto a la naturaleza química u origen del indicio, y entregarlo en un plazo de tiempo estipulado.

Las reducidas dimensiones de la mayoría de las fibras, aunada a la escasa cantidad en que son encontradas, dificultan su examen dependiendo si se realiza una prueba cualitativa o cuantitativa; sin embargo, si se sigue una metodología adecuada y se dan técnicas que no destruyan el indicio se obtendrán resultados más satisfactorios.

Con este trabajo se puede tener en consideración, una guía útil para la identificación de fibras o telas textiles y comprobar la autenticidad de la composición de una tela que se presume, ya que recopila información de técnicas químicas e instrumentales, así como un anexo de microfotografías y espectros infrarrojo y pirogramas.

## 4.2 IMPORTANCIA DEL ESTUDIO DE FIBRAS

La evidencia de las fibras puede ser una ayuda corroborativa, al establecer hechos tales como si una persona ha estado en contacto con otra (estupro, asalto); si un sospechoso ha trepado por una ventana en particular (robo con allanamiento); o si un arma ha estado en el bolsillo de un delincuente (homicidio) (Horgan J. 1982).

Dentro de la investigación criminalística de indicios, el estudio de fibras textiles y cuerdas puede tener un importante valor evidencial en casos como:

**Agresiones sexuales o estupro:** La naturaleza de este delito da como resultado el intercambio de fibras de la víctima, la ropa del presunto culpable y de otros objetos como cobijas o cubre asientos de automóvil.

Las armas y raspaduras de las uñas también pueden contener evidencias de fibras.

**Asaltos personales:** Este tipo de delito por lo general implica un contacto personal de alguna especie: por ejemplo, en los asaltos con agravantes. En consecuencia, se puede intercambiar (transferir) fibras de ropa entre la víctima y el sospechoso; esto es, pueden encontrarse fibras de la ropa de la víctima adheridas a la ropa del indiciado y viceversa.

Las ropas y fragmentos de uñas también pueden ser fuentes de evidencias en fibras.

**Robo con allanamiento:** Casi siempre se encontrarán fibras de ropa en el punto en donde el ladrón pueda haber forzado una ventana u otra abertura para introducirse.

**Atropellados y accidentes automovilísticos:** Cuando se trata de atropellos con un vehículo debe realizarse una búsqueda minuciosa en el momento del suceso.

Se puede buscar en la defensa de un automóvil, empleando la técnica de la tela adhesiva.

Utilizando una cinta adhesiva transparente ordinaria (de celofán). Se cubre el área en la cual las fibras pueden estar adheridas

**Ahorcaduras:** En los casos en que se hayan utilizado cuerdas (ahorcaduras o ataduras) puede ser importante investigar las manos, uñas y zonas de contacto con la piel de la víctima y si la recogida es próxima en tiempo a los hechos, también debe tenerse en cuenta las manos del sospechoso, así como otras localizaciones que se estimen de interés para la búsqueda de posibles fibras de cuerda.

Asimismo, es indispensable remitir la cuerda que se sospeche haya podido estar implicada en los hechos, para el cotejo con las fibras recogidas

**Autenticidad de telas:** La procedencia y autenticidad de la tela es importante en el mercado ya que se tiene el problema de la “piratería” y se requiere comprobar la autenticidad de la tela según la composición de la misma.

En este caso se requeriría de un estudio mas profundo con técnicas mas específicas como el uso de las pruebas químicas e instrumentales.

En todos los supuestos descritos, se procurará que la recogida de muestras se realice sin demora, evitando, en lo posible, cualquier tipo de contaminación externa con otras fibras, debiendo ir cada una de las muestras por separado y haciendo constar en la etiqueta la procedencia de la misma. En el caso concreto de fibras en uñas, no debe utilizarse ningún líquido conservante.

### **4.3. ESTUDIO CRIMINALÍSTICO**

Las reducidas dimensiones de la mayoría de las fibras, aunada a la escasa cantidad en que son encontradas, dificultan su examen; Sin embargo, si se sigue una metodología adecuada y empleamos técnicas que no destruyan el indicio, obtendremos resultados más satisfactorios (Zoderman J. 1998).

Así una vez registradas las muestras, se procede a fotografiarlas en presencia de una cintilla métrica. Se debe anotar los datos correspondientes en caso y las propiedades microscópicas del elemento.

No hay una marcha analítica específica aplicable a todos los casos, no obstante, sugerimos una, a reserva de que cada criminalista haga uso de la diseñada por el mismo.

Debido al origen de estos elementos químicamente similares, su identificación no es suficiente por un examen microscopico. Es necesario recurrir a otros estudios que aportan mayor información y poder así individualizar los indicios que se nos presentan.

De esta manera, el análisis microscopico del corte transversal del elemento en estudio aunque aunado a pruebas de pirolisis, solubilidad (en acetona, cloruro de metileno, metacresol, ácido sulfúrico al 80 por ciento, ácido fórmico al 88 por ciento, ácido clorhídrico concentrado e hidróxido de sodio al 5 por ciento) y otros procesos que se mencionan posteriormente, serán fundamentales en la elaboración de nuestro dictamen.

#### 4.4. EXAMEN MICROSCÓPICO.

El estudio criminalístico del pelo y fibras es un exámen eminentemente comparativo entre las muestras problema y las muestras testigo, por lo que se requiere el siguiente microscopio como se muestra en la figura 7: estereoscópico de comparación con una adaptación para cámara fotográfica; de fluorescencia: binocular de baja potencia; contando con accesorios como son: binoculares de baja potencia; contando con accesorios como son: disco micrométrico, micrómetro de platina, objetivos intercambiables, sistemas para fotografiar indicios y computadora integrada (Rico M.G.1987).

Se anotan todas las características observables en el Microscopio electrónico de alta resolución como son:

Superficie externa, disposición celular de las diferentes capas, diámetros, índice y características medulares, en el supuesto de que esté presente, o cualquier otro dato que se considere de interés.



Figura7. Microscopio de alta resolución.

Con los exámenes microscópicos de la tabla 2. A continuación se indican algunas particularidades de diversas fibras.

Tabla3. Características de las fibras de acuerdo a sus cortes

Fibra	Corte longitudinal	Corte transversal
Acrilán	Estriada	Redondo
Alginato	Sin rasgos	Dentada e irregular
Acetato de celulosa	Sin rasgos	Trilobulada (ocasionalmente di o tetralobulada)
Nylon	Sin rasgos	Redonda.
Orlón	Estriada	Apariencia de hojas de trébol
Proteínas regeneradas	Estriada débilmente	Curvas con manchas
Saràn	Sin rasgos	Casi redondas

Para realizar la investigación completa, se deberá contar con patrones específicos y esquemas como el anterior, en el que se encuentran todas las características de cada elemento filamentoso (Rico M.G.1987).

**Colorantes.** Con los avances tecnológicos, el teñido de las fibras es un proceso normal, por lo que nos parece importante describir a grandes rasgos, cuales son los colorantes más empleados, en función de que obtengamos la mayor información de la posible procedencia del indicio hallado.

Los colorantes pueden ser de origen vegetal (palo de Campeche, cúrcumo, Índigo naturalmente otras); animal (cochinilla, moluscos como el Murex branaris etc.) mineral o sintético (colorantes de alquitrán). Estos últimos son los comúnmente empleados hoy en día.

Una de las clasificaciones de colorantes podría ser la siguiente:

- De Rayón-Acetato. Se han desarrollado para teñir el acetato de celulosa y fibras parecidas. Estos se subdividen en dos grandes grupos: colorantes son simples insolubles y los de antraquinona y los de antraquinosa.
- Tipo Ácido. Colorean fibras animales en soluciones aciduladas al combinarse con proteínas anfóteras de los mismos. Se emplean en un 75 por ciento en el teñido de lana y seda.
- Azoicos. Comprende los más insolubles que se forman sobre la fibra o dentro de ellas. Se aplican casi siempre en el algodón y fibras vegetales o en géneros mixtos (algodón. lana y seda).
- Básicos. Se utilizan con el algodón y mediante un mordente de taninos; tiñen directamente seda, lana, cuero y pieles.
- Tipo Azufre. Son útiles con el algodón, además de ser de bajo costo. El negro de Azufre 978 es el más extendido, proporcionando tonos Opacos. De excelente solidez a la luz, al lavado y en los ácidos.

**Constantes físicas.** El primer paso es conocer si las fibras en cuestión, son naturales o artificiales, y de ahí, a que categoría corresponden.

Para ello se realizan los siguientes estudios:

**Densidad Específica.** Consiste en comparar la densidad de una fibra frente a una mezcla de líquidos de distintas densidades (método de flotación); o por medio de un picnómetro.

**pH:** Se efectúa, humectando las fibras con agua destilada. Determinado en ésta, con un potenciómetro o con papel indicador universal, el potencial hidrógeno aproximado.

**Solubilidad.** Mediante los ensayos de solubilidad e inhibición en diversos disolventes orgánicos e inorgánicos podemos lograr una separación e identificación por grupos, de las fibras de tejidos simples o mezclas.

**Colorimetría.** Comprende pruebas sencillas aplicables exclusivamente a fibras blancas o de colores claros.

#### **Pruebas fundamentales.**

- Reactivo de cloruro de zinc-yoduro de potasio.
- Reactivo de mercurio en solución de ácido nítrico al 94 por ciento.
- Reactivo de Vetillard.(yoduro de potasio, glicerina y ácido sulfúrico)
- Prueba con el Neocarmin.

**Prueba de fusión.** Se lleva a cabo cuando se dispone de una muestra abundante y se encuentra con testigos, ya que la consume.

De realizarse, se utiliza un aparato Fisher-Johns que permite determinar directamente la acción del calor, sobre la fibra examinada.

**Pirólisis:** (Combustión). Al igual que la anterior, es una prueba destructiva, por lo que deben seguirse las mismas indicaciones.

El modo en que arda la fibra, el color de la flama, el desarrollo de humo y el olor, permiten obtener conclusiones acerca de las materias primas textiles, es conveniente señalar que en el caso de tejido mixto, la prueba muchas veces falla.

**Índice de Refracción.** Tiene como objeto, determinar la alteración que sufre la luz polarizada al atravesar la fibra en base al arreglo molecular que tenga.

Frong propone emplear líquidos de alta dispersión, de índices de refracción a 25°C 1.525, en el estudio de fibras sintéticas principalmente.

## 4.5 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Existen diversos métodos que pueden emplearse en función de los datos obtenidos en el punto anterior y dependerá de los recursos de que disponga el laboratorio. Las técnicas que pueden utilizarse son:

**Espectrofotometría de Infrarrojo.** Es útil ya que se requiere de una cantidad mínima de muestra y el análisis puede efectuarse directamente en una pastilla de bromuro de potasio.

**Cromatografía de gases.** Es una técnica rápida, sensible, y tiene como ventaja, que la cantidad requerida es cuando mucho de 100 microgramos.

**Rastreo con Luz de Angulación Corta (SALS).** Este método conocido como láser, se basa en la dispersión de la radiación electromagnética. De acuerdo al arreglo molecular que presenta la fibra, tiene múltiples ventajas como son sensibilidad, rapidez, economía y no destruye el material para su identificación.

**4.6. PRUEBAS DE APOYO:** Cuando exista duda en cuanto a la naturaleza del material y dependiendo de la estructura del Laboratorio, se pueden estudiar:

### **Características Eléctricas.**

Aunque todas las fibras permiten el paso de la energía eléctrica entre ellos, hay una diferencia muy grande en el grado que permiten efectuarlo a través de unas y otras fibras. Cuando una fibra no presenta el paso de energía eléctrica se dice que es mala conductora y entonces la energía existente queda acumulada a la masa de fibras.

En las fibras de bajo poder conductor como la lana, acetatos etc, se acumula siempre una carga de electricidad estática, la cual es fácilmente eliminada de modo natural en las fibras "buenas conductoras" (Carreras J.P 1978).

**Resistencia a la Tracción:** Este ensayo, sirve para obtener el diagrama de tensión alargamiento de fibras y tejidos, deduciendo de este modo, el alargamiento relativo experimentando bajo una fuerza de tracción dada, o el alargamiento (máximo) de rotura bajo el máximo esfuerzo soportable, también el módulo de la elasticidad del material.

**Resistencia a la Flexión.** Se determina el módulo de electricidad por flexión, su trabajo y la tenacidad del material textil a formar arrugas permanentes.

**Resistencia a la Torsión.** Los ensayos de torsión sirven para determinar la rigidez, el módulo y el momento de torsión, magnitudes cuyo conocimientos son de interés en los procesos de laboreo de fibras y tejidos.

**Ensayo de Fatiga o Continuo.** Sirven para determinar la estabilidad de las fibras y materiales textiles, al ser sometidas a esfuerzos mecánicos de larga duración.

El ensayo dinámico de fatiga por tracción, corresponde más a la realidad, ya que el uso diario de los materiales textiles, son sometidos frecuentemente a este tipo de esfuerzos.

**Compresión y Resistencia Elástica (Resistencia).**

Tiene la capacidad más o menos marcada. De recuperación su forma después de haber sido sometido a esfuerzos de compresión. El modo más sencillo de comprobar esta capacidad de ahuecado o estrujando las fibras en la mano.

**Alongamiento o Elongación.** Es la longitud que se aumenta una fibra. Cuando es sometida a tensión antes de romperse, y su valor se expresa en función de porcentajes. (Areal.G. A 1992).

### **4.3. ESTUDIO CRIMINALÍSTICO**

Las reducidas dimensiones de la mayoría de las fibras, aunada a la escasa cantidad en que son encontradas, dificultan su examen; Sin embargo, si se sigue una metodología adecuada y empleamos técnicas que no destruyan el indicio, obtendremos resultados más satisfactorios (Zoderman J. 1998).

Así una vez registradas las muestras, se procede a fotografiarlas en presencia de una cintilla métrica. Se debe anotar los datos correspondientes en caso y las propiedades microscópicas del elemento.

No hay una marcha analítica específica aplicable a todos los casos, no obstante, sugerimos una, a reserva de que cada criminalista haga uso de la diseñada por el mismo.

Debido al origen de estos elementos químicamente similares, su identificación no es suficiente por un examen microscopico. Es necesario recurrir a otros estudios que aportan mayor información y poder así individualizar los indicios que se nos presentan.

De esta manera, el análisis microscopico del corte transversal del elemento en estudio aunque aunado a pruebas de pirolisis, solubilidad (en acetona, cloruro de metileno, metacresol, ácido sulfúrico al 80 por ciento, ácido fórmico al 88 por ciento, ácido clorhídrico concentrado e hidróxido de sodio al 5 por ciento) y otros procesos que se mencionan posteriormente, serán fundamentales en la elaboración de nuestro dictamen.

#### 4.4. EXAMEN MICROSCÓPICO.

El estudio criminalístico del pelo y fibras es un exámen eminentemente comparativo entre las muestras problema y las muestras testigo, por lo que se requiere el siguiente microscopio como se muestra en la figura 7: estereoscópico de comparación con una adaptación para cámara fotográfica; de fluorescencia: binocular de baja potencia; contando con accesorios como son: binoculares de baja potencia; contando con accesorios como son: disco micrométrico, micrómetro de platina, objetivos intercambiables, sistemas para fotografiar indicios y computadora integrada (Rico M.G.1987).

Se anotan todas las características observables en el Microscopio electrónico de alta resolución como son:

Superficie externa, disposición celular de las diferentes capas, diámetros, índice y características medulares, en el supuesto de que esté presente, o cualquier otro dato que se considere de interés.



Figura7. Microscopio de alta resolución.

Con los exámenes microscópicos de la tabla 2. A continuación se indican algunas particularidades de diversas fibras.

Tabla3. Características de las fibras de acuerdo a sus cortes

Fibra	Corte longitudinal	Corte transversal
Acrilán	Estriada	Redondo
Alginato	Sin rasgos	Dentada e irregular
Acetato de celulosa	Sin rasgos	Trilobulada (ocasionalmente di o tetralobulada)
Nylon	Sin rasgos	Redonda.
Orlón	Estriada	Apariencia de hojas de trébol
Proteínas regeneradas	Estriada débilmente	Curvas con manchas
Saràn	Sin rasgos	Casi redondas

Para realizar la investigación completa, se deberá contar con patrones específicos y esquemas como el anterior, en el que se encuentran todas las características de cada elemento filamentoso (Rico M.G.1987).

**Colorantes.** Con los avances tecnológicos, el teñido de las fibras es un proceso normal, por lo que nos parece importante describir a grandes rasgos, cuales son los colorantes más empleados, en función de que obtengamos la mayor información de la posible procedencia del indicio hallado.

Los colorantes pueden ser de origen vegetal (palo de Campeche, cúrcumo, Índigo naturalmente otras); animal (cochinilla, moluscos como el Murex branaris etc.) mineral o sintético (colorantes de alquitrán). Estos últimos son los comúnmente empleados hoy en día.

Una de las clasificaciones de colorantes podría ser la siguiente:

- De Rayón-Acetato. Se han desarrollado para teñir el acetato de celulosa y fibras parecidas. Estos se subdividen en dos grandes grupos: colorantes son simples insolubles y los de antraquinona y los de antraquinosa.
- Tipo Ácido. Colorean fibras animales en soluciones aciduladas al combinarse con proteínas anfóteras de los mismos. Se emplean en un 75 por ciento en el teñido de lana y seda.
- Azoicos. Comprende los más insolubles que se forman sobre la fibra o dentro de ellas. Se aplican casi siempre en el algodón y fibras vegetales o en géneros mixtos (algodón. lana y seda).
- Básicos. Se utilizan con el algodón y mediante un mordente de taninos; tiñen directamente seda, lana, cuero y pieles.
- Tipo Azufre. Son útiles con el algodón, además de ser de bajo costo. El negro de Azufre 978 es el más extendido, proporcionando tonos Opacos. De excelente solidez a la luz, al lavado y en los ácidos.

**Constantes físicas.** El primer paso es conocer si las fibras en cuestión, son naturales o artificiales, y de ahí, a que categoría corresponden.

Para ello se realizan los siguientes estudios:

**Densidad Específica.** Consiste en comparar la densidad de una fibra frente a una mezcla de líquidos de distintas densidades (método de flotación); o por medio de un picnómetro.

**pH:** Se efectúa, humectando las fibras con agua destilada. Determinado en ésta, con un potenciómetro o con papel indicador universal, el potencial hidrógeno aproximado.

**Solubilidad.** Mediante los ensayos de solubilidad e inhibición en diversos disolventes orgánicos e inorgánicos podemos lograr una separación e identificación por grupos, de las fibras de tejidos simples o mezclas.

**Colorimetría.** Comprende pruebas sencillas aplicables exclusivamente a fibras blancas o de colores claros.

#### **Pruebas fundamentales.**

- Reactivo de cloruro de zinc-yoduro de potasio.
- Reactivo de mercurio en solución de ácido nítrico al 94 por ciento.
- Reactivo de Vetillard.(yoduro de potasio, glicerina y ácido sulfúrico)
- Prueba con el Neocarmin.

**Prueba de fusión.** Se lleva a cabo cuando se dispone de una muestra abundante y se encuentra con testigos, ya que la consume.

De realizarse, se utiliza un aparato Fisher-Johns que permite determinar directamente la acción del calor, sobre la fibra examinada.

**Pirólisis:** (Combustión). Al igual que la anterior, es una prueba destructiva, por lo que deben seguirse las mismas indicaciones.

El modo en que arda la fibra, el color de la flama, el desarrollo de humo y el olor, permiten obtener conclusiones acerca de las materias primas textiles, es conveniente señalar que en el caso de tejido mixto, la prueba muchas veces falla.

**Índice de Refracción.** Tiene como objeto, determinar la alteración que sufre la luz polarizada al atravesar la fibra en base al arreglo molecular que tenga.

Frong propone emplear líquidos de alta dispersión, de índices de refracción a 25°C 1.525, en el estudio de fibras sintéticas principalmente.

## 4.5 ANÁLISIS INSTRUMENTAL

Existen diversos métodos que pueden emplearse en función de los datos obtenidos en el punto anterior y dependerá de los recursos de que disponga el laboratorio. Las técnicas que pueden utilizarse son:

**Espectrofotometría de Infrarrojo.** Es útil ya que se requiere de una cantidad mínima de muestra y el análisis puede efectuarse directamente en una pastilla de bromuro de potasio.

**Cromatografía de gases.** Es una técnica rápida, sensible, y tiene como ventaja, que la cantidad requerida es cuando mucho de 100 microgramos.

**Rastreo con Luz de Angulación Corta (SALS).** Este método conocido como láser, se basa en la dispersión de la radiación electromagnética. De acuerdo al arreglo molecular que presenta la fibra, tiene múltiples ventajas como son sensibilidad, rapidez, economía y no destruye el material para su identificación.

**4.6. PRUEBAS DE APOYO:** Cuando exista duda en cuanto a la naturaleza del material y dependiendo de la estructura del Laboratorio, se pueden estudiar:

### **Características Eléctricas.**

Aunque todas las fibras permiten el paso de la energía eléctrica entre ellos, hay una diferencia muy grande en el grado que permiten efectuarlo a través de unas y otras fibras. Cuando una fibra no presenta el paso de energía eléctrica se dice que es mala conductora y entonces la energía existente queda acumulada a la masa de fibras.

En las fibras de bajo poder conductor como la lana, acetatos etc, se acumula siempre una carga de electricidad estática, la cual es fácilmente eliminada de modo natural en las fibras "buenas conductoras" (Carreras J.P 1978).

**Resistencia a la Tracción:** Este ensayo, sirve para obtener el diagrama de tensión alargamiento de fibras y tejidos, deduciendo de este modo, el alargamiento relativo experimentando bajo una fuerza de tracción dada, o el alargamiento (máximo) de rotura bajo el máximo esfuerzo soportable, también el módulo de la elasticidad del material.

**Resistencia a la Flexión.** Se determina el módulo de electricidad por flexión, su trabajo y la tenacidad del material textil a formar arrugas permanentes.

**Resistencia a la Torsión.** Los ensayos de torsión sirven para determinar la rigidez, el módulo y el momento de torsión, magnitudes cuyo conocimientos son de interés en los procesos de laboreo de fibras y tejidos.

**Ensayo de Fatiga o Continuo.** Sirven para determinar la estabilidad de las fibras y materiales textiles, al ser sometidas a esfuerzos mecánicos de larga duración.

El ensayo dinámico de fatiga por tracción, corresponde más a la realidad, ya que el uso diario de los materiales textiles, son sometidos frecuentemente a este tipo de esfuerzos.

**Compresión y Resistencia Elástica (Resistencia).**

Tiene la capacidad más o menos marcada. De recuperación su forma después de haber sido sometido a esfuerzos de compresión. El modo más sencillo de comprobar esta capacidad de ahuecado o estrujando las fibras en la mano.

**Alongamiento o Elongación.** Es la longitud que se aumenta una fibra. Cuando es sometida a tensión antes de romperse, y su valor se expresa en función de porcentajes. (Areal.G. A 1992).

## 5. METODOLOGÍA.

### 5.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE FIBRAS TEXTILES EN CRIMINALÍSTICA

La fabricación industrial de textiles químicos les confiere una regularidad de producción y una constancia de calidad, permitiendo diversificar sus características.

Estos parámetros facilitarán los análisis en criminalística. La investigación en este campo esencialmente comparativo y cualitativo. Tienen como principio de base la utilización de micromuestras, lo que permite:

- a). Analizar indicios de tamaño pequeño que no podían ser analizados antes.
- b). La utilización de técnicas diferentes permite confirmar el resultado final.
- c). Las principales técnicas en un análisis comparativo de fibras textiles son:

- Los métodos ópticos y electrónicos.
- Los métodos químicos acoplados a la óptica.
  - Análisis cualitativo por disolución.
  - Análisis térmico.
- Los métodos fisicoquímicos.
- Espectrofotometría infrarrojo.

Antes de ilustrar estas técnicas recordemos que las fibras textiles químicas se obtienen a partir de monómeros provenientes del petróleo o de compuestos carbonatados, que por transformaciones químicas producen un polímero sólido. Éste será transformado, químicamente en una solución hilable que, después de un tratamiento generará un hilamento continuo.

En un caso práctico presentado, se trata de comparar un conjunto fibroso que ha quedado colgado a la carrocería de un vehículo, después de un choque (fibras de pregunta o problema), a las fibras del abrigo de la víctima (fibras de comparación).

Primero, las muestras son montadas entre lámina y laminilla en bálsamo Canadiense. Esta preparación no tiene ningún efecto sobre las fibras; además permite también una larga conservación de éstas.

El examen óptico permite observar el aspecto general de una fibra, y determinar sus principales características. Las dos preparaciones son examinadas con diversas dimensiones, con microscopio Leitz, Ortholux II acoplado a una cámara de video.

El examen longitudinal revela en un caso como en otro:

- Presencia de puntos debidos a la introducción de partículas de dióxido de titanio para identificar las fibras.
- Un diámetro mediano de 25 (micrómetros).
- La presencia de una sombra central.

Es importante completar este exámen longitudinal con un exámen de fibras en cortes transversales, por medio de un fibrotomo. Los cortes recuperados son montados en preparación microscópica y así permiten:

- Exámenes comparativos de un gran conjunto de fibras en pequeñas dimensiones, y por eso la puesta en evidencia de una eventual mezcla de constituyentes.
- Exámenes de detalles de estructura en grandes dimensiones.

En el ejemplo presentado, los cortes transversales de las fibras de comparación son llamados “hueso de perro”. Los cortes transversales de la fibra de pregunta presentan igualmente una morfología de “hueso de perro”.

Un exámen con microscopio electrónico con rastreo, facilitará grandes precisiones sobre la morfología y topografía de la muestra gracias a una técnica de imagen muy eficiente; permitirá dar mayor dimensión a detalle de la superficie y una ilustración con microfotografías como se muestran en el anexo.

Después de una diferenciación morfológica, se ponen en práctica análisis cualitativos basados también en una observación óptica.

El análisis cualitativo por disolución utiliza disolventes químicos más o menos específicos de la materia interesada. Este método no es normalizado; interviene pues, más a menudo como ensayo de orientación para determinar la naturaleza de la fibra. Los ensayos de disolución revelan que las fibras de problema y de comparación son solubles en dimetilformamida caliente.

El análisis térmico es prácticamente sistemático; se realiza sobre el sistema de análisis térmico FP 80 Mettler. La muestra depositada en un crisol transparente con 0.5 cm de diámetro interno es introducido en una platina caliente, ubicada bajo el lente de un microscopio. Este dispositivo permite observar los fenómenos de fusión cuando se eleva la temperatura. La utilización de una cámara video acoplada al microscopio permite visualizar el comportamiento de las fibras al calor.

Las fibras de problema y de comparación son sometidas al calor en las siguientes condiciones experimentales:

- Temperatura inicial: 100°C
- Velocidad de calentamiento: 10°C/minuto

Temperatura final: 300°C

Los resultados observados son:

### **Fibras de problema**

a 219,2-239,3°C 220,6-240,1°C amarillamiento.

### **Fibras de comparación**

a 261-300°C 258,6 - 300°C

El amarillamiento es debido a una oxidación que acarrea la formación de grupos cromóforos condensados insaturados.

Entre los análisis fisicoquímicos, la espectrofotometría de absorción infrarroja con "Transformadas de Fourier", genera la obtención de espectros característicos de la estructura molecular del compuesto.

Los análisis son realizados sobre un espectrofotómetro infrarrojo con "Transformadas de Fourier" Nicolet 710 equipado con un detector digitalizado, en el marco de las frecuencias pasando de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  (Shiering D 1990).

Comparamos los espectros, por la frecuencia de las bandas y de sus intensidades. La bibliografía de referencia permitirá identificar la muestra. Estos espectros son semejantes entre sí.

Los números de ondas 2239, 2238  $\text{cm}^{-1}$  observados respectivamente para las fibras de comparación y del problema, caracterizan la presencia de un agrupamiento nitrilo, las bandas situadas a 1724 y 1725  $\text{cm}^{-1}$ , la presencia de un agrupamiento carboxílico.

Estas técnicas revelan que las fibras de comparación y del problema son dos copolímeros acrílicos, presentando los mismos agrupamientos funcionales característicos y de morfología idéntica.

Después de determinar la naturaleza y morfología de estas fibras, la cromatografía en placa permitirá comparar sus colorantes.

Los colorantes extraídos en la cromatografía en placa con disolventes apropiados, son depositados en una placa de gel de silicio

Los diversos componentes del depósito inicial forman después una elusión. Un cromatograma y pueden ser detectados de varios modos:

- Por revelación específica.
- Por observación en luz visible.
- Por un análisis espectrofotométrico sobre un densitómetro (Marca CAMAG Scanner II).

Esta técnica nos da una información precisa durante una comparación, de los espectros de absorción visible de 400 a 650 nanómetros.

Los colorantes de las fibras de prueba y de comparación son extraídos con dimetilformamida caliente, el disolvente para el desarrollo cromatográfico es una mezcla de butanol, etano, agua (2:1:1).

El depósito correspondiente al producto obtenido con las fibras tomadas sobre el vehículo (pregunta), produce después de la elusión 3 manchas; el primero amarillo, el segundo rosado y relativamente mal separado del tercero que es azul; esas manchas son semi-rectilíneas. Los mismos resultados se obtienen con las fibras de comparación.

Cada uno de los spots de los dos cromatogramas expuestos a las radiaciones ultravioletas de 254 y 336 nm. No presentan fluorescencia.

Las observaciones microscópicas, los ensayos de disolución, el comportamiento al calor, la espectrometría infrarroja con Transformadas de Fourier y la cromatografía sobre capa fina de alta eficiencia, prueban que las fibras de comparación y de problema son dos copolímeros acrílicos teniendo los mismos agrupamientos funcionales característicos, con aspecto morfológico y con característica cromatográfica, idénticas.

La utilización de las micro muestras permite pues multiplicar las técnicas de análisis, disminuyendo así el riesgo de error de identificación. Sin embargo, en el caso estudiado, concluiremos que las fibras de problema y de comparación presentan características idénticas, sin afirmar que las tomadas sobre el vehículo provienen del abrigo de la víctima. En efecto, la fabricación industrial de los textiles químicos acarrea de hecho una constancia de calidad tal como una amplia producción; conclusiones definitivas y exclusivas serían arriesgadas. (Rudler M. *et al.* 2007).

## **5.2. PRUEBA PRELIMINAR.**

Examen visual: deberá examinarse cuidadosamente la materia, para observar sus características más destacadas y visibles, para lo cual será muy útil una experiencia previa y tener muestras de fibras con las cuales poder hacer comparaciones. Este examen puede indicarnos:

- Si las fibras contienen alguna materia extraña, como resinas, gomas, aprestos etc. En cuyo caso deberá eliminarse.
- Si hay fibras de clases distintas.
- Si conviene separar ciertas fibras que puedan hallarse en el conjunto.

## **5.3. EXAMEN MICROSCÓPICO**

Con el objeto de estudiar la configuración de la superficie exterior del elemento sometido a examen, así como para determinar su estructura, coloración y forma, es que se recurre al empleo de diversos tipos de microscopios: estereoscópicos de bajo aumento, compuesto con luz transmitida y alto poder de resolución (figura 7 página 30), de fluorescencia y de comparación.

Si inicia el exámen a bajo aumento (20-40x) se inicia el examen para detectar la presencia y naturaleza de las adherencias, observar la apariencia general y determinar si se trata de un solo elemento o de varios de iguales o diversas características físicas.

En general las fibras de origen animal se presentan aisladas, tienen superficies irregulares y longitud de varios centímetros (anexo figura 10); en cambio, las proporciones y de superficie lisas. Por su parte las fibras artificiales tienen apariencias de barra, con superficie lisa o con estriaciones longitudinales.

En caso necesario, las fibras se limpian con solución jabonosa, con carbonato de sodio al 10 por ciento o con una mezcla de éter y alcohol a partes iguales. Posteriormente se montan en un portaobjetos y se observan a 100-500X bajo luz transmitida. Para estudiar el estado de la superficie, la fibra se cubre con alcohol amílico, Yoduro de metileno o nugol. La determinación del diámetro se efectúa mediante una retícula ocular.

Las fibras vegetales y animales muestran canal medular, a excepción de la seda y de los pelos delgados. Las fibras artificiales presentan una apariencia uniforme sin estructura celular, gránulos de pigmento ni canal medular aunque entre las estrías longitudinales pueden aparecer pequeñas inclusiones de polvo o de deslustrador.

Con el fin de estudiar la forma de la sección de las fibras, se recurre al empleo de una placa de acero inoxidable de aproximadamente 1 a 2 mm de grueso y del tamaño de un portaobjetos, la cual se le practica, en el centro, un orificio de 1 mm de diámetro. Las fibras por estudiar se colocan entre varios filamentos de algodón negro, todos ellos se retuercen y se pasan a través del orificio, de manera que los extremos sobresalgan por ambos lados de la placa. Con una navaja de rasurar se cortan los filamentos al ras de cada una de las caras de la placa y se observa la preparación al microscopio con 250-500 aumentos.

Como pauta general, en la tabla 4, se mencionan las características de las fibras textiles más comunes (Rico M.G.1987).

Tabla 4. Características microscópicas de las fibras textiles más comunes

<b>FIBRAS NATURALES Y ARTIFICIALES</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
Algodón	Forma tubular con elementos generalmente colapsados
Lana	Redonda o casi redonda
Seda	Triangular con ángulos redondos. En otros casos, de forma y tamaño irregulares.
Acetato	Forma irregular y contorno aserrado
Acrílica	Redonda o casi redonda, en ocasiones bilobulada, gusano o como hongo.
Nylon	Redonda o trilobulada
Rayón	Forma irregular con perfil aserrado.

## **5.4 INVESTIGACIÓN MICROESPECTROFOTOMÉTRICA**

La Policía Científica de Suiza fue el primer instituto que introdujo la microespectrofotometría en la ciencia forense como un método estándar de análisis, como en un método de rutina.

El UMSP1 es un aparato que permite determinar por medio de la microespectrofotometría no solamente en el rango visible sino también en el ultravioleta (200 a 700 nanómetros) los espectros o curvas espectrales de una gran cantidad de sustancias que llegan al laboratorio para un estudio pericial.

Después de un período de introducción corto y de varias pruebas se comenzó a utilizar este instrumento con mucho éxito para el análisis de las fibras textiles en casos de criminalística; con este aparato y gracias al procedimiento automático es posible analizar un número de fibras en un tiempo relativamente corto.

A finales de los años 70<sup>s</sup> institutos forenses de Alemania e Inglaterra también comenzaron a utilizar estos aparatos para el análisis de fibras textiles.

Estos microespectrofotómetros de la tercera generación tienen un registro y una estación para almacenamiento de datos; por lo tanto el registro de espectros ya no se hace manualmente y permite hacer una recopilación de las características de todos los tipos y colores de las fibras textiles investigadas.

Con el propósito de obviar estos inconvenientes se reemplazó el UMSP1 por un instrumento nuevo, el UMSP80, lo último en equipos; además de todas las posibilidades que ya se tenían con el UMSP1 el nuevo instrumento no solamente es aplicable para medir con luz transmitida sino con luz reflejada (necesaria para analizar fragmentos de pintura). Con relación al anterior, el tiempo de análisis para cada fibra se reduce mucho más.

Para analizar cada fibra se llevan a cabo tres mediciones entre el rango visible y el ultravioleta, el computador calcula el valor promedio de transmisión para cada longitud de onda y también todos los espectros medidos pueden registrarse y almacenarse, de tal manera que es posible acudir a todos los espectros de fibras similares que han sido registrados anteriormente y pueden luego ser comparados en una pantalla de video.

El UMSP80 tiene un monocromador de rejilla, de tal manera que el rango de longitud de onda del espectro es lineal y se puede expandir y comprimir en más o menos 2/3.

Cuando se va a investigar fibras textiles por análisis microespectrofotométrico las condiciones de medición deben seleccionarse de acuerdo al problema que va a solucionarse, ya que el objetivo principal en toda la investigación criminalística es determinar si el color de las fibras incriminadas corresponde o no al color de las fibras de comparación.

Es necesario observar que la homogeneidad del color depende del estado de la fibra y, más aún siendo las fibras naturales sustratos no homogéneos ya que su espesor es variable; para eliminar hasta cierto punto este problema es necesario analizar un área relativamente grande de la fibra con el fin de obtener la curva de transmisión mediante la determinación de la extinción total de la fibra. La extinción total es simplemente la suma de todas las extinciones obtenidas durante el trayecto de la luz a lo largo de la fibra textil.

Hay fibras textiles que están teñidas con el mismo pigmento y presentan curvas de transmisión que no son idénticas: esto especialmente se presenta cuando la coloración del objeto no es homogénea porque el pigmento no ha sido aplicado igualmente sobre la fibra o porque el espesor de la capa no es el mismo; sin embargo en cualquier caso el máximo de las bandas de absorción debe presentarse en las mismas longitudes de onda, es decir, que la curva de transmisión de las fibras comprometidas o incriminadas deben presentar los máximos de absorción a la misma longitud de onda que los presentados por las fibras de comparación cuando el pigmento de las fibras es el mismo, aunque suelen presentarse algunos problemas cuando la cutícula de la fibra está destruida como resultado del desgaste o de una ruptura.

Mediante un estudio de fibras, la policía Suiza logró aprehender a un vendedor de droga. Al observar un oficial de la policía a un sospechoso que votó al suelo una navaja, cuando fue a ser arrestado negó ser el propietario, pero al analizarla, en una de sus cuchillas se pudo observar huellas de droga, y en las partes interiores de los lechos de las cuchillas se encontraron varias fibras de lana azul y carmelita así como fibras de poliéster de color café; todas estas fibras cuando fueron analizadas microscópicamente y por medio de la microespectrofotometría correspondían a las fibras del suéter y del pantalón del individuo sospechoso; a pesar de que aún negaba ser el dueño o portador de la navaja se pudo establecer lo contrario. Con estos estudios también se han podido esclarecer delitos de violación, atraco, robo, etc.

**5.5 EXAMEN POR COLORACIÓN:** Comprenden pruebas simples que requieren sólo un microscopio y de reactivos comunes en el laboratorio, pero son aplicables exclusivamente a fibras blancas o de colores claros. Además comercialmente hay disponibles equipos completos que contienen los reactivos necesarios (Carreras J.P 1978).

La fibra se tiñe durante unos segundos sobre un portaobjetos y el reactivo sobrante se absorbe con papel filtro; en los casos en que se emplee un segundo reactivo, éste se aplica por el borde después de colocarse un cubreobjetos. A continuación se procede a la observación al microscopio. Tres son los reactivos más comúnmente empleados:

- a) **Reactivo de cloro-yoduro de zinc** (Tinción de Herzberg) que comprende la solución A (cloruro de zinc 20 g en 10 mL de agua destilada) y solución B (2.1 g de Yoduro de potasio y 0.1 g de yodo en 5 mL de agua destilada).
- b) **Reactivo con mercurio**, el que se prepara con 1 mL de mercurio en 9 mL de ácido nítrico (94 por ciento) diluido con 10 mL de agua destilada.
- c) **Reactivo de Vetillard** que consiste en una solución (3 g de Yoduro de potasio en 60 mL de agua más 1 g de yodo diluido en 10 partes de agua destilada) y una mezcla de 2 volúmenes de glicerina y 10 volúmenes de agua destilada con 3 volúmenes de ácido sulfúrico concentrado.

Los colores que estos reactivos producen, frente a diversas fibras naturales y artificiales se muestran en la tabla 5 (Rico M.G.1987).

Tabla 5. Resultado de las reacciones de coloración para identificación de fibras.

REACTIVOS			
	<b>Cloruro de zinc.</b>	<b>Mercurio</b>	<b>Vetillard</b>
Algodón	Rojo violeta	-	Azul
Cáñamo	-	-	Verde azul
Lino	-	-	Azul
Lana	-	-	Amarillo
Seda	Amarillo	Rojo	Café
Yute	Amarillo	-	Amarillo oscuro
Acetato	Amarillo(disolución)	-	Amarillo
Acrílicas	-	-	-
Modacrílicas	Amarillo café	-	Café
Nylon	Amarillo café	-	Amarillo
Poliéster	-	-	-
Rayón	Azul violeta	-	Azul violeta

## 5.6 EXAMEN QUÍMICO

La base del análisis químico, consiste en que la mayoría de las fibras son solubles o pueden teñirse con disolventes o colorantes que no afecten otras fibras, por lo tanto podría decirse que cada fibra se puede usar un disolvente y un colorante adecuado (Carreras. J.P, 1978).

Para llevar a cabo las pruebas de identificación, deben eliminarse sucesivamente los colorantes, resinas, aprestos y acabados, etc.

Existe una gran variedad de reactivos para eliminar colorantes. Se recomienda que las fibras de origen conocido estén sujetas a un tratamiento de decoloración apropiado para la fibra a ensayar y debe guardarse una nota en las reacciones empleadas en la técnica de coloración

Los materiales de los telares pueden contener colas o aceites que deberán eliminarse. Aunque algunos acabados comerciales no se pueden eliminar por ninguno método.

**Eliminación de colorantes:** Antes de hacer uso de disolventes poderosos o disoluciones alcalinas fuertemente reductoras para eliminación de colorantes debe utilizarse un tratamiento reductor, en condiciones casi neutras.

Muchos colorantes azoicos incluyendo los reactivos, se decoloran al hervir.

**Agentes reductores:** Reducción neutra.

Poner el tejido o las fibras en 10 ml de una disolución caliente de agua que contenga dos gotas de amoníaco de densidad 0.880 y 0.5 gramos de hidrosulfito sódico.

Se lleva la solución a ebullición y se continúa ésta suavemente hasta una decoloración completa. Se lava la muestra en abundante agua caliente y se seca.

**Ácido Clorhídrico y Sulfúrico.** Estos ácidos queman todas las fibras vegetales y el rayón, viscosa en concentraciones 2 molar. Mientras que el algodón se “quema” rápidamente. Las fibras conservan su forma hasta que una presión exterior las convierten en polvo.

El ácido clorhídrico disuelve la seda. No afecta a las fibras animales ni a las sintéticas, a no ser en concentraciones muy fuertes y temperaturas muy altas.

Solución de ácido sulfúrico de 75 por ciento en peso/peso.

Para preparar dos litros de esta solución se mezclan 1.170 ml de ácido sulfúrico concentrado lentamente con 700 ml de agua contenida en un matraz de fondo redondo, enfriado bajo el grifo. Después que la solución se ha enfriado a temperatura ambiente, se ajusta el p. esp a 1.67 a 20 °C ( Alquilhon H. 1965).

#### **Características de las fibras con algunos reactivos.**

**Ácido Nítrico** .Disuelve la seda y la mayoría de fibras vegetales y artificiales. No ataca la lana ni los demás pelos animales, pero si en la mayoría de las fibras sintéticas.

**Hidróxido de Sodio:** En concentraciones fuertes perjudican alguna de estas últimas.

**Acetona:** Disuelve rápidamente el rayón acetato, sin atacar otras fibras.

**Ácido Fórmico concentrado.** Disuelve las fibras poliamidicas (Nylon) y las acrílicas (Orlón) sin atacar las polyésteres (Terylene Dacron).

**Solubilidad** Todas las fibras son solubles en determinados elementos químicos e insolubles en otros, así como en forma parecida ciertos productos atacan algunas fibras y dejan intactas a otras.

## 5.7. ESQUEMA DE ANÁLISIS.

Se examina la muestra al microscopio en sentido longitudinal con n-decano como aglutinante y en sección transversal para determinar si la muestra es homogénea o está formada por más de un tipo de fibras. Los puntos en que difieren los distintos tipos presentes en una mezcla y especialmente útiles en este examen, son la presencia o ausencia en algunas fibras de:

- 1.- Escamas, circunvoluciones o irregularidades de tamaño o forma a lo largo del eje longitudinal.
- 2.- Manejo de fibras y nudos.
- 3.- Algunas o muchas estrías a lo largo del eje.
- 4.- Partículas de agente de mateado o deslustrado.
- 5.- Diferencias de color.
- 6.- Diferencias en la forma de la sección transversal.

La observación, en uno sólo de estos puntos, de diferencia entre fibras de una muestra, o de diferencias en la longitud y el diámetro de la fibra, no implica que la muestra sea una mezcla (ArealG.A 1992).

## 5.8 ESPECTROSCOPIA INFRARROJO.

La identificación de polímeros en general y de fibras sintéticas en particular se puede llevar a cabo fácilmente con estas técnicas, pero, para la identificación y separación se requieren de las fibras más corrientes, aunque es suficiente el microscopio, las pruebas químicas a base de coloración. Además cuando dos o más fibras sintéticas derivan del mismo monómero básico, cuyas propiedades son modificadas por la adición del mismo copolímero en diferentes cantidades, puede ser fácil distinguir cualitativamente por el examen infrarrojo si la diferencia de porcentaje es pequeña. Aunque cuando el copolímero es diferente, el espectro de infrarrojo obtenido será el específico de cada fibra en particular. Una gran ventaja del examen infrarrojo es que el espectro obtenido viene determinado principalmente por la constitución química de la fibra y es, en general, menos dependiente de la fórmula, cuyas variaciones pueden afectar a los resultados en las pruebas de coloración y solubilidad como en las físicas usadas para la identificación de la fibra (Baber R. 1949)

Cuando solo se dispone de unos pocos miligramos de muestra, el infrarrojo es probablemente la única prueba adecuada (Ver figuras 41 y 42 del anexo).

Cuando se pasa una radiación infrarroja de una sustancia, se transmiten algunas frecuencias y se absorben otras. Esto es, por supuesto, similar a la absorción de la luz visible que origina los colores de los materiales. La espectroscopia infrarroja consiste en determinar las frecuencias en las cuales tiene lugar la absorción y obtener una representación de porcentaje de radiación absorbida frente a las frecuencias. En la práctica, esto se logra automáticamente con espectrofotómetros de registro gráfico. Debido al número y complejidad de las bandas de absorción, el espectro infrarrojo de una molécula dada es característico de este compuesto y puede usarse para identificarlos. En estudios comparativos de dos sustancias, espectros infrarrojo idénticos indican sustancias idénticas. Por lo regular, aunque en casos de polímeros, o se puede asegurar el tamaño.

## **PROCEDIMIENTO:**

La técnica de operación instrumental utilizada en la identificación de una fibra no difiere esencialmente de la requerida en el examen de otros compuestos orgánicos.

La preparación de la muestra de fibras sintéticas es más complicada y entre los diferentes métodos actuales, escoger uno u otro depende de la naturaleza de la fibra y de cada operador. Los métodos más útiles para la preparación de muestras son los siguientes:

## **TÉCNICA DE PASTILLA A PRESIÓN**

Los dos factores físicos principales en la espectroscopia de sólidos examinados como partículas en un medio no absorbente son: la diferencia del índice de refracción entre la muestra y el medio y las dimensiones de las partículas absorbentes. En la técnica de pastilla a presión pueden obtenerse espectros de partículas relativamente largas, que son adecuadas para la identificación cualitativa escogiendo como matriz una sal haloidea cuyo índice de refracción se aproxime mucho al de la muestra. En general es útil el bromuro potásico ( $n_p=1.56$ ).

En síntesis, el método consiste en mezclar la fibra finamente dividida con bromuro potásico pulverizado que pasa a través de un tamiz de 120 mallas y es retenido en el de 200 mallas. Por último, se seca a 400° C durante más de 2 horas antes de usarlas, almacenándose luego en una botella hermética dentro de un desecador.

Para preparar el disco, se cortan algunos miligramos de la fibra finamente con unas tijeras y se repite el proceso tres o cuatro veces, formando entre cada corte una pequeña bola con las fibras.

Algunos analistas recomiendan pulverizar las fibras finalmente cortadas en una batidora vibratoria, pero con las fibras sintéticas, que son elásticas, la reducción del tamaño de las partículas es difícil por este método.

Una parte del material finamente cortado o pulverizado se mezcla finamente en un mortero de ágata con 300-500 mg de bromuro de potasio muy pulverizado, y se comprime en un pequeño disco de un mm de espesor en una prensa de vacío, adecuada, a una presión de 75,000 lb/pul<sup>2</sup> (24 toneladas/mm<sup>2</sup>).

Se aplica el vacío solo al comienzo durante dos minutos y a continuación simultáneamente se aplica el vacío y la presión durante otros dos minutos.

Las pastillas transparentes resultantes tienen sólo pequeñas bandas de absorción a 2.9 y 6.1  $\mu$  debido a la humedad.

Debe tenerse en cuenta que el bromuro de potasio es muy higroscópico y las bandas de adsorción acuosa que pueden presentarse en el espectro utilizado este método puede conducir a identificaciones defectuosas.

Otro defecto del método es la distribución desigual de la fibra en el medio, pero para trabajo cualitativo, este factor no es importante. El método del bromuro de potasio tiene una ventaja importante sobre las técnicas del pulverizado, y es que pueden examinarse muestras extremadamente pequeñas (Textile Institute Manchester. 1975).

## **PASTAS**

Este tipo de preparación de la muestra se realiza con sólidos que no permiten otros métodos de preparación. El líquido que sirve para formar la pasta no debe ser volátil ni absorber radiaciones en el intervalo de 2 a 15  $\mu$ . El Nujol, un aceite mineral altamente purificado, es generalmente el líquido más empleado. Las bandas de absorción, debidas al aceite, se producen a 3.4, 6.9 y 7.3 $\mu$

Los agentes de formación de pastas que no absorben en los intervalos en los que lo hace el Nujol son el hexaclorobutadieno y aceite de perfluorocarburo.

El método acostumbrado para reducir a un polvo fino del que se prepara la muestra es satisfactorio para materiales cristalinos bien definidos, pero lo es menos para fibras textiles e inaplicables a sustancias viscosas, plásticos y caucho. El método descrito a continuación es útil para manejar estas sustancias relativamente intratables y ofrece además la ventaja de su rapidez, ya que la mezcla se prepara en una operación única; en este método el material se frota entre dos placas de vidrio esmerilado, lo que produce una acción abrasiva más intensa.

Estas placas se preparan a partir de vidrio de 0.8 centímetros de espesor, cortado a un tamaño adecuado. Entre las paredes de estas placas se coloca carborundo de 200 mallas hasta producir una rugosidad uniforme, entonces se frota uno contra otro usando unas gotas de Nujol como lubricante hasta que ya no se obtenga más polvo de vidrio. Se forman de esta manera pequeñas áreas planas con bordes cortantes sobre la superficie de las placas.

Los hilos textiles o tejidos se cortan a pequeñas longitudes, por ejemplo de 0.5-2 milímetros y éstos se trituran un poco cada vez. De esta manera pueden obtenerse en pocos minutos pastas excelentes de las fibras más flexibles. Al preparar esta mezcla se intenta producir una pasta de una consistencia parecida a la vaselina. La consistencia correcta se juzga por el aspecto que ofrece, por la fricción de las placas y por la desaparición de signos indicadores tales como "colas de rata", que indican que aun existen partículas microscópicas. Finalmente se separan las placas y se pasa la mezcla a placas de monocristales de cloruro de sodio y cloruro de potasio para su examen infrarrojo.

## PELÍCULA MOLDEADA CON DISOLVENTE

En general, con una película moldeada con disolvente se obtiene una mejor dispersión de la misma fibra en bromuro de potasio o en un aceite de parafina. El método de película moldeada no se aplica tan generalmente como la técnica del disco a presión, puesto que debe hallarse previamente un disolvente adecuado que no existe para algunas fibras. Otra condición es que el disolvente no debe reaccionar con la fibra ni dejar residuo alguno al evaporarse. Para la identificación de fibras acrílicas es, sin embargo, el método preferible.

Si las películas se moldean con un disolvente sobre una superficie fina de cristal, pueden producirse unas líneas de interferencia en el espectro debidas al alto grado de paralelismo entre sus caras frontales y las posteriores. Las franjas pueden estorbar la identificación de las bandas infrarrojas más débiles, pero la dificultad puede sortearse simplemente usando una superficie de vidrio rugosa. De esta manera se obtendrá una superficie de película irregular y no se producirán dichas bandas.

Se hace una solución aproximadamente del 5 por ciento de la fibra en el disolvente caliente (DMF). Se vierte la cantidad suficiente para cubrir una superficie de 5 X 2.5 centímetro, en una placa de vidrio cuya superficie se ha hecho rugosa con carborundo de 400-500 mallas.

La temperatura de la solución deberá estar por debajo de aquella en que puedan formarse burbujas, pues en este caso se formarían agujeros en la película. La mayor parte del disolvente se evapora a una temperatura suficientemente baja para evitar la formación de burbujas y cuando la película se ha solidificado se calienta a una temperatura mas alta, preferentemente al vacío para eliminar el disolvente que pudiera quedar. La película se puede separar de la placa de cristal simplemente levantando un borde con una hoja de afeitar.

La dimetilformamida es fuertemente retenida por las fibras acrílicas pero se elimina completamente hirviendo la película en agua durante ½-1 hora. En este método es esencial que el disolvente de preparación de la muestra se elimine completamente, ya que de otra manera las bandas de absorción estarán presentes en el espectro de la fibra debido a su adherencia (Tuckerman. 1987)

## 5.9 INTERPRETACIÓN DEL ESPECTRO

El método de infrarrojo depende principalmente de la fijación del espectro de la muestra desconocida, que es exactamente igual al espectro de una sustancia conocida de igual forma física. Para ello es necesario poder representar un compuesto a partir de las bandas de absorción que nos ofrece en la región infrarroja.

En bastantes casos, el analista puede hacer comparaciones con un espectro de sus propias fichas, y por esta razón un laboratorio que lleva a cabo normalmente análisis cualitativos tiene su propia colección de curvas de absorción de las sustancias que cree va a encontrar (biblioteca de espectro). Los espectros registrados en el mismo instrumento son preferibles a los espectros dados en una bibliografía porque no hay que hacer ningún descuento para las diferencias del poder de resonancia o de calibración de la longitud de onda.

Cuando el espectro no puede compararse de esta manera, hay aun la posibilidad de que exista un espectro para comparación en la bibliografía (Katherine.F.2006).

Puesto que la cantidad de material en la bibliografía es tan grande no es imposible referirnos a él rápidamente sin recurrir a algún sistema mecánico. Existen dos sistemas comerciales que coleccionan los datos infrarrojos con fichas perforadas; DMS y el índice Wyandotte-A.T.S.M.

El sistema D.M.S. consta de una serie aproximada de unas 7000 fichas con adiciones cada cierto tiempo en las cuales se reproducen espectros infrarrojos, están formadas por fichas perforadas en el borde y se suministran con agujas de mano o en un fichero. A los agujeros adyacentes alrededor del borde de las fichas, se asignan intervalos de frecuencia contiguos para cubrir el espectro desde  $3700^{-1}\text{cm}$  ( $2.7\mu$ ) hasta  $250^{-1}\text{cm}$ . ( $40\mu$ ).

Las frecuencias de las bandas más intensas registran el espectro desconocido a través de los agujeros en las fichas de las mismas frecuencias; las fichas en las cuales los agujeros están cortados se desprenden del conjunto.

El mayor índice disponible está constituido por fichas perforadas confeccionadas por la Sociedad americana para Ensayos de Materiales (Testing Materials) y pensadas para el uso en máquinas eléctricas de clasificación.

Para usar este sistema, la posición de las bandas de absorción importantes en el espectro desconocido se calcula en  $0.1\mu$  aproximadamente, con una longitud de onda entre  $0.7$  y  $15\mu$  (o las micras más cercanas a  $15$  y  $50$ ). Para la clasificación en las máquinas las fichas que están perforadas para las bandas de absorción en las longitudes de onda requeridas están unidas.

Si se sacan varias tarjetas que contengan las mismas combinaciones de bandas que la desconocida, se puede realizar una combinación de exclusión para determinar la ausencia de bandas de absorción en regiones particulares.

Los espectros que corresponden a las tarjetas seleccionadas se encuentran por remisión en las columnas de identificación de las tarjetas. Estas dan o el número del espectro en una de las complicaciones resumidas o una referencia a la bibliografía original. Existen en este sistema varias recopilaciones de espectros. (Ver anexo de espectros infrarrojo página 86).

El uso sistemático de catálogos de espectros infrarrojo en laboratorios de investigación es muy usual (Areal G.A 1992).

## **5.10 USO DE LA CROMATOGRAFÍA GASEOSA EN LA IDENTIFICACIÓN DE FIBRAS**

La técnica de la cromatografía gaseosa fue introducida por James y Martin en 1952 y es una forma especial del procedimiento general cromatográfico de separación de una mezcla de sus componentes. La separación se consigue mediante la distribución de los componentes, vaporizados, entre dos medios de separación: uno del medio estacionario, un líquido no volátil conocido como la fase líquido estacionaria, contenido en películas delgadas sobre una columna de un soporte sólido inerte, por ejemplo tierra de diatomeas; el otro, la fase móvil, es un gas que burbujea a través de la columna. (Cromatografía gas-líquido).

Los aparatos consisten en una fuente compuesta de: una fase móvil gaseosa , Nitrógeno, Helio o Argón, la columna y un aparato para inyectar la mezcla dentro de la columna como gas o líquido que se volatiliza en una antecámara exterior a dicha columna. La corriente de gas a la salida de ésta se controla mediante un detector adecuado que indica cuándo salen separados los componentes. Éste se lleva a cabo normalmente de modo continuo, de tal manera que se obtiene un registro gráfico de alguna propiedad física o ionización de la corriente de gas a base de tiempo.

La introducción reciente de instrumentos comerciales para la cromatografía gaseosa y el desarrollo de detectores extremadamente sensibles ha hecho de ésta una técnica muy utilizada, y un método muy sensible para la separación e identificación de los componentes de una mezcla volátil (Lauren P, 2006).

## **5.11 APLICACIÓN DE LA CROMATOGRAFÍA GASEOSA A LAS FIBRAS TEXTILES**

El criterio para que una mezcla dada pueda estudiarse por cromatografía gaseosa es que sea estable a la temperatura de la columna y suficientemente volátil. Se considera adecuada una presión de vapor no menor de 2mm de mercurio. Los polímeros y resinas no satisfacen generalmente este criterio y no pueden, por lo tanto, estudiarse directamente.

De todas maneras, si se piroliza muy rápidamente un polímero en una atmósfera inerte, se rompe para dar, entre otros fragmentos, una serie de productos volátiles que es posible analizar. Si las condiciones de pirolisis se controlan de una forma lo suficientemente precisa, los productos volátiles de la pirolisis característicos del polímero se obtienen fácilmente y cuando se separan producen un cromatograma característico del polímero. Este cromatograma pirolítico o pirograma puede usarse, Como “huella dactilar” para ayudar en la identificación de los polímeros y de las fibras (Mukhopadhyay. S.K. Bsc Tech. 1992).

## **5.12 PIRÓLISIS**

Este tipo más simple y favorable de Pirólisis instantánea incorpora una bobina de alambre delgado suspendida en la columna cromatográfica exactamente encima de la envoltura. La muestra se carga encima del hilo que se calienta por paso de corriente eléctrica a su través, durante 10 segundos. Puede cargarse aproximadamente 0.1 miligramo de fibra en el alambre para la Pirólisis arrollando una pequeña longitud a su alrededor. Aunque las condiciones de Pirólisis no son exactamente conocidas, son reproducibles y pueden obtenerse para una muestra dada “pirogramas” reproducibles.

Se han descrito otros tipos de aparatos para la Pirólisis, dando condiciones de Pirólisis más reproducibles y más exactamente conocidas que las del alambre caliente. Estos son, esencialmente, los aparatos de Pirólisis de microrreactor o microhorno. En tales aparatos la muestra (aproximadamente 0.1 miligramo) se piroliza en una zona precalentada uniformemente a 700° C aproximadamente. Este método es quizá mas adecuado para la identificación que el alambre caliente.

El gas transportador sirve como atmósfera inerte para la Pirólisis y lleva los productos volátiles de la misma a la columna cromatográfica para su separación (Areal G.A.1992).

## **5.13 CROMATOGRAFÍA**

Una columna cromatográfica para usos generales puede tener aceite de silicona, ftalato de dinonilo o escualeno, como fase líquida estacionaria; fases más selectivas incluyen poliésteres y poliglicoles. La elección eficaz de la fase líquida estacionaria y la temperatura de la columna dependen de los componentes a separar y de la separación requerida para propósitos generales será útil una columna de aceite de silicona a 50°C o/ a 100°C. Sin embargo en condiciones de Pirólisis rápida los productos tienen una elevada volatilidad, de tal manera que en condiciones isotérmicas de análisis los componentes más

volátiles se evaporan demasiado rápidamente para separarse por completo, mientras que los menos volátiles lo hacen de manera muy lenta (Lauren P. 2006). La cromatografía gaseosa a temperatura programada, en la que la temperatura de la columna se incrementa a una velocidad determinada a lo largo de la separación, dará una mejor resolución para los componentes.

#### **5.14 APLICACIONES Y USO DE LOS PIROGRAMAS**

Para la identificación de la fibra y polímeros base de las fibras, el pirograma característico o esquema de productos volátiles de la Pirólisis puede usarse, como una “huella digital” de una manera similar a la del espectro infrarrojo. Como se observa en la página 82 y 83 del anexo.

En condiciones de Pirólisis rápida en alambre caliente, el pirograma de las fibras es normalmente complejo de tal manera que sería imposible identificar la fibra con absoluta certeza sin algún conocimiento previo de ella. La forma de un pirograma para una muestra determinada depende de la Pirólisis y de las condiciones de la cromatografía, tales como temperatura y dimensiones de la columna. Fase líquida estacionaria, soporte inerte, velocidad de flujo, etc., todo lo cual varía de un laboratorio a otro. También son posibles ligeras variaciones en distintas partidas de una misma fibra. En vista de la complejidad de un pirograma y su dependencia de las condiciones locales, es esencial para un laboratorio construir su propio archivo de pirogramas de referencia, en condiciones conocidas, de tal manera que pueda compararse con éstos una muestra desconocida. Además se sugiere usar el pirograma justamente con otros ensayos tales como las pruebas de confirmación en cualquier tipo de identificación (Areal G, A.1992).

#### **TAMAÑO DE LA MUESTRA Y SU COLOCACIÓN**

Para los instrumentos más corrientes de que se dispone son suficientes unos 20-25 miligramos de muestra. Ya que se requiere un tiempo límite para la observación de una transformación debe evitarse demasiada cantidad de muestra porque ello afecta a la temperatura observada. El tamaño mínimo de la muestra viene regido sólo por la sensibilidad del instrumento y por el comportamiento del mismo a aquella sensibilidad.

Se pueden obtener buenos resultados con la fibra finamente dividida, por lo que conviene cortar las fibras, filamentos o tejidos en trozos de 1-2 milímetros. De longitud para colocarlos en el orificio hecho para la muestra.

Algunas determinaciones se pueden realizar sobre muestras sin adulterar; para materiales fibrosos es recomendable que la muestra se mezcle con un compuesto inerte de referencia. Como resultado reciente sobre el estudio de fibras textiles se ha desarrollado una disposición en “sándwich” en la que una tercera parte de todo el material de referencia que se va a utilizar se coloca como una capa de base en el fondo del recipiente destinado a la muestra. Esta se mezcla entonces con otro tercio del material de referencia, y se dispone de tal manera, que la mitad de la muestra esté por debajo del borde del termopar y la otra mitad por encima. La tercera parte restante se deposita como capa superior (Tortora P 1996).

## **5.15 APLICACIÓN DE MICROESPECTROSCOPIA INFRARROJO CON TRANSFORMADAS FOURIER (FTIR) A UN CASO FORENSE**

En muchas investigaciones judiciales pequeñas fibras textiles pueden constituirse en valiosos elementos con poder evidencial que ayudan al esclarecimiento de los hechos que se investigan, tal es el caso del sonado episodio de “Los Niños de Atlanta” en los Estados Unidos, donde la recolección y análisis forense de este tipo de material vinculó a la investigación a Wayne Williams quien finalmente fue encontrado culpable de homicidio múltiple (Michael I.J.S. 1997).

Parte clave en el análisis de fibras textiles lo constituyen la microespectroscopía infrarrojo con transformación de Fourier (microscopía FTIR) y la microscopía de luz polarizada (MLP), Técnica que permite la identificación espectroscópica y por propiedades ópticas de incluso una sola fibra (Grive MC. 1995).

### **Caso forense**

En este reporte de caso se describe el empleo de la microespectroscopía FTIR en el Laboratorio de Química y Geología del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses, en la investigación del asesinato de un hombre en un barrio periférico de Bogotá quien fue encontrado muerto por arma blanca en su propia cama, y se llama la atención a la importancia de la determinación de características individuales en las muestras aportadas al laboratorio.

En una de las manos del cadáver se encontraron tres botones con fibras de colores rojo, negro y lila. Posteriormente la policía encontró una camisa con los mismos colores a la que le faltaban los tres botones superiores, prenda que pertenecía a una mujer relacionada con el hombre asesinado.

Al laboratorio llegaron los tres botones sueltos y, embalada independientemente la camisa, con la solicitud de determinar si entre ambos elementos existía o no correspondencia. Se procedió de la siguiente manera:

Los tres botones fueron asignados aleatoriamente con los números 1, 2 y 3. De cada uno de ellos se tomaron fibras correspondientes a cada uno de los hilos presentes (tres colores).

Los tres sitios de la camisa donde faltaban botones fueron rotulados, como regiones A, B y C respectivamente, en orden descendente desde el cuello. Por separado se tomaron fibras correspondientes a los fragmentos de hilo que soportaban los botones en cada una de estas regiones.

Las muestras de los hilos de la camisa y de los botones fueron tomados en días diferentes con el fin de evitar contaminación cruzada. Una vez que se dispuso de cada uno de estos grupos de fibras se procedió a tomar de ellas muestras para análisis.

Cada fibra, previamente a la toma del espectro, fue aplanada suavemente con el fin de reducir el espesor de muestra atravesada por el haz infrarrojo y evitar

así el efecto cuña dado por las variaciones internas en la densidad de la fibra. Luego de esto, cada muestra fue colocada individualmente sobre la ventana en bromuro de potasio asegurando contacto íntimo con ésta y posteriormente se llevó al microscopio FTIR donde, una vez ajustadas las condiciones del equipo y definida un área de análisis de aproximadamente 0.3 mm<sup>2</sup> se procedió a la toma de los espectros.

La conclusión que llegaron los investigadores forenses en el caso anterior fue que tanto la camisa como los hilos en los botones compartían las mismas características de la clase; poliéster, pero fue más significativo el hecho fue el de encontrar un único elemento (hilo rojo) en una de las regiones de la camisa.

La microespectroscopía infrarrojo con transformadas de Fourier, unida a microscopía de luz polarizada permite la identificación de minúsculas muestras textiles que pueden tener un gran valor en una investigación forense. (<http://medileg. Medicina legal.gov.com//Microespectroscopía.pdf>).

## 6. COMENTARIOS

Las ciencias forenses empiezan en el lugar de los hechos. Si el investigador no puede reconocer el indicio físico, o no lo preserva adecuadamente para el análisis en el laboratorio ni la tecnología más sofisticada o los expertos más reconocidos podrán resolver el problema.

El conocimiento de cómo conducirse apropiadamente en el lugar de los hechos para la búsqueda del indicio físico, aumenta considerablemente la posibilidad de que el material recibido en los laboratorios contenga información que será de utilidad para la investigación.

El dictamen Criminalístico, es la base de toda investigación, en él está plasmada la evolución histórica del indicio, las medidas que se efectuaron para determinar su naturaleza, los componentes del hecho sujeto a investigar y circunstancia que rodea al elemento filamentosos.

Permite al juez, darle el justo valor a la fibra, así como a la conclusión emitida, misma que estará avalada con un profundo razonamiento y un método eminentemente científico, permitiendo además, expresar de manera organizada y precisa el fruto de su investigación, acorde a hechos comprobables y reproducibles.

La parte introductoria de toda actuación, deberá de incluir “quiénes”, “por qué”, “qué” y “para qué” fueron solicitados los servicios del perito en relación al hecho o circunstancia que se investiga, y aquellos datos que permiten una identificación del caso en estudio ([http:// criminalistic.org/index.php](http://criminalistic.org/index.php))

Acto seguido, se efectúa un análisis pormenorizado (sin caer en la prolijidad) del lugar de los hechos, relacionado a la fibra o muestra del tejido ya sea con el escenario, con la víctima o con el victimario.

Antes de efectuar el levantamiento, deberán de cumplirse todas las reglas que se establecen para el manejo de los indicios.

Como paso siguiente, se mencionará el material y método de estudio, debiendo incluir los detalles técnicos, para asegurar que la investigación y el procedimiento pueda ser repetido por otros peritos o grupos de trabajo y asegurar de especificar; tipo de lupa y número de aumento; tipo de microscopio, marca y modelo, así como a los demás aparatos instrumentales que se utilicen para un estudio más profundo.

Como técnicas de tinción, tiempo de coloración, de secado y tipo de tratamiento ya sea químico o físico.

La tercera parte más importante corresponde a la parte de los resultados, ya que constituye la parte medular de la investigación, en ella se concentra la información que permitirá avalar las conclusiones y por ende, el motivo de la intervención.

La presentación de los resultados se hará con la mayor claridad y sencillez posible, organizándolos de manera objetiva y congruente en función del número de muestras sujetas a investigación.

## 6.1 CONCLUSIONES

El objetivo de investigar los aspectos más importantes sobre las fibras textiles como indicios en el lugar de los hechos, así como su metodología analítica existente para la identificación de las mismas, se ha cumplido en el presente trabajo.

Así como los objetivos particulares, en la recopilación de información general de las fibras textiles, desde su historia hasta sus generalidades, morfología y clasificación.

La descripción de los métodos de análisis de identificación más destacados e importantes para las fibras textiles.

También la parte final que consiste en un estudio más profundo de la fibra si así lo requiriera el caso con ayuda instrumental. Como la identificación microscópica de análisis de las fibras textiles.

Cabe destacar la importancia de analizar, la cantidad de material suficiente para poder realizar un análisis confirmatorio, ya que con cantidades muy pequeñas se pueden destruir. En algunos casos como la prueba de la pirolisis donde se determina el punto de fusión de los textiles a identificar.

Aunque existen métodos alternativos como los de Espectrofotometría infrarrojo y la cromatografía de gas donde se requiere de cantidades muy pequeñas (100 microgramos) para su análisis.

En conclusión este trabajo de investigación "Fibras sintéticas en criminalística como indicios en el lugar de los hechos": Es una recopilación de varias técnicas físicas, químicas e Instrumentales. Sirve como referencia para tener idea de cómo analizar una fibra o una prenda textil (de acuerdo a sus propiedades) involucrada en algún acto delictivo (como pruebas presuntivas), aunque también como referencia para valorar la autenticidad de textiles comerciales.

## 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Areal G. A.** Identificación de Fibras Textiles. Editorial Bluma Industrias Nacionales de Fomento Industrial. 1992.

**Aquilhon H.** Los Textiles Químicos. Euba Editorial Universitaria Buenos Aires. Argentina 1965.

**Almong J. Ph. D.** Forensic Science Does Not Start in the lab: the concept of diagnostic field test. J. Forensic Sci, November, vol 51. Nº 6 2006.

**Carreras J.P.** "Fibrología" Instituto Politécnico Nacional Biblioteca ESIT. 1978.

**Baber R., Thomas H..** Infrared spectroscopy with the reflecting microscope in physics, chemistry and biology Nature. Vo. 163. Nº 198. 1949

**Deadman H. A.** Fibre evidence and the Wayne Williams trial (Part I) FBI Law Enforcement Bulletin. March. 1984.

**Deadman H.A.** Fibre evidence and the Wayne Williams trial (Part II) FBI Law Enforcement Bulletin. March. p.46 1984.

**Erhardt T.** Introducción a la Ingeniería Textil. Tecnología 1. Ed. Trillas 1991.

**Esparza L. S.** Teoría de los hilados. Ed. Limusa Noriega Editores 1998.

**Fessenden, R.** Química Orgánica. Ed. Iberoamericana p.435. 1989

**Fox H., Cumming Carl L..** Crime Scene Search and Physical Evidence Handbook U.S Dep of Justice .Ed. Law Enforcement Assistance Administration 1973.

**Firth S..** Principles of FTIR spectrometry Philips IR Notes Tecnicos. 1998

**Fourné, F.** Synthetic Fibres Machines and Equipment, Manufacture Properties. Ed. Hanser Publisher, Munich 1999.

**Cho L.R. JA.** Gatewood BM. Wetzel DL., Single Fiber analysis by internal reflection infrared microspectroscopy. J. Forensic Sci 46:1309-1314. Nov 2004.

**Guzmán A, C.** Manual de criminalística. Ediciones La Roca. Buenos Aires. 2000.

**Grieve MC.** Another look at the classification of acrylic fibres, using FTIR microscopy. Sci Justice ; 35: 179-90. 1995.

**Hansbeyer, Wolfgang W.** Química Orgánica Ed. Reverte Munich, 1987.

**Houck M.** Trace Evidence Análisis Ed. Academic Press, A Harcourt Science and Thechnology Company 2001.

**Horgan J.** Investigación penal, Ed. Continental S.A de CV. 1982.

**Jiménez N. R.1981.** Estudio Criminalístico de Pelos y Fibras. Cuadernos del Instituto Nacional de Ciencias Penales. México.

**Karen G.B.** El Mercado de tecnología con referencia a fibras sintéticas, telas y ropa. Ed. Colegio de México.1984.

**Katherine F.** Forensic Analysis of Biocomponent Fibres Using Infrared Chemical Imaging. J.Forensiic Sci. May. Vol. 51(3) 2006

**Lauren P.** High-Performance Liquid Chromatography Ultraviolet-Visible Spectroscopy-Electrospray Ionization Mass Spectrometry Method for Acrylic and Polyester Forensic Fiber Dye Analysis. J.Forensic Sci.July ,Vol.51,Nº 4. 2006.

**Locart E.** Manual de Técnicas Policiácas. 3ª edición, Barcelona 1954

**Levinson M.** Forensic Fibre Evidence. Madrid .1981.

**Martínez N. P.** Química y Física de las Fibras Textiles Editorial Alambra. Impreso en España 1976.

**Michael I.J.S.** Review of: Forensic Evidence: Science and the Criminal Law, 2<sup>nd</sup> edition. Forensic Sci, November vol. 51Nº6. 2006

**Montiel S.J.** Criminalística. Tomo 2. Ed. Editores Noriega, Limusa1997.

**Moreno G.** Manual de Introducción a la Criminalística 7ª ed. Ed .Porrua. México. 1998

**Morrison/Boyd.** Química Orgánica. Fondo Educativo Interamericano. 1976.

**Norma H,J S.** Introducción a los textiles Ed. Limusa Noriega. Mex., Ven., Colombia 2002.

**Mukhopadhyay S. K. Bsc. Tech..** Advances in fibre Science the textile Institute. Ed. Published by the Textile Institute. 1992.

**Oficina Internacional del Trabajo de Ginebra.** Seguridad en la utilización de fibras minerales y Sintéticas. Ed. Alfa Omega.1998.

**Procuraduría General de Justicia.** Ciencias forenses, Fortalecimiento y modernización de la administración de justicia en México. ISNB Impreso en México 1981.

**Rico M. G.** Pelos y fibras. Instituto Nacional de Ciencias Penales. México 1987.

**Salem R.D** Structure Formation in polymeric fibers Ed. Hanser Publisher, Munich 2000..

**Schustel K.** Materias Primas Textiles. Editorial José Montes. Impreso en España, Barcelona 1998.

**Shiering D.W** .An FTIR Microscope. American Laboratory. Vol. 22 N°17. Nov. 1990.

**Textile Institute Manchester.** Identificación of textile Materials, Seventh Edition 1975.

**Tortora P.** Understanding Textiles. Fourth Edition ED. Toronto Copyring©.1996.

**Thorntn R, Boyd N.** Química Orgánica 2ª ed. Español ed. SITESA. E.U.A 1983.

**Tuckerman.** Principies of FTIR spectometry. Philips IR Ed. Notas tecnicis.1998

**Vernonj G.** Practical Homicida Investigation, Tacts, procedure and forensic techiques. Ed. CRC Press 3ª ed. 1982.

**Zoderman J.** Laboratorio de Criminalistica. Editorial Limusa Grupo Noriega Editores, México, España, Venezuela.1998.

[http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra\\_textil](http://es.wikipedia.org/wiki/Fibra_textil).

[http:// criminalistic.org/index.php](http://criminalistic.org/index.php).

[http://medileg. Medicina legal.gov.com//Microespectroscopía.pdf](http://medileg.Medicina legal.gov.com//Microespectroscopía.pdf).

[http://www.policia.gov/indicio/portal/unidades/egsan.nsf/paginas/Investigación\\_microfotom % C3% 89 TRICA](http://www.policia.gov/indicio/portal/unidades/egsan.nsf/paginas/Investigación_microfotom_%C3%89_TRICA)

## GLOSARIO

**Resistencia a la abrasión:** Es la capacidad de una fibra para soportar el frote o la abrasión en el uso diario.

**Absorbencia o tasa legal de humedad:** Es el porcentaje de humedad que una fibra totalmente seca absorbe del aire bajo condiciones normales de temperatura y humedad.

**Reactividad química:** Es el efecto de los ácidos, álcalis, agentes oxidantes, disolventes.

**Cohesión:** Es la capacidad de las fibras para permanecer juntas durante la hilatura. No es importante en los filamentos continuos.

**Cobertura:** Es la capacidad de ocupar espacio para el resguardo o protección.

**Colgadura:** Es la elasticidad retardada. Se recupera gradualmente de una deformación.

**Capacidad de tintura:** Es la receptividad de la fibra a la coloración por colorantes.

**Recuperación elástica:** Es la capacidad de las fibras de recuperarse de una deformación.

**Elasticidad:** Es la capacidad del material alargado para volver inmediatamente a su tamaño original.

**Conductividad eléctrica:** Es la capacidad de transferir cargas eléctricas.

**Alargamiento:** Es la capacidad de aumentar su longitud estirándose. Varía a diferentes temperaturas y según esté seca o húmeda.

**Enfieltramiento:** Se refiere a la capacidad de las fibras de entrelazarse unas con otras.

**Inflamabilidad:** Es la capacidad de encenderse y quemarse.

**Tacto:** Es la forma en que se siente una fibra: sedosa, áspera, suave, quebradiza, seca.

**Conductividad térmica:** Es la capacidad de conducir calor alejándolo de un cuerpo.

**Sensibilidad al calor:** Es la capacidad de reblandecerse, fundirse o encogerse cuando se le sujeta a calor.

**Lustre:** Es la luz que se refleja de una superficie. Más tenue que el brillo; los rayos de luz se descomponen.

**Resorteo o resiliencia a la compresión:** Es la capacidad de volver a su espesor original después de comprimirla.

**Frisado:** Es la formación de esferitas de fibra en las puntas sobre la superficie de las telas.

**Rigidez:** Es lo opuesto a flexibilidad. Es la resistencia al doblado o la formación de arrugas.

**Resistencia:** Se define como la capacidad de soportar un esfuerzo y se expresa como la resistencia a la tracción (libras por pulgada cuadrada o como tenacidad)

**Resistencia a la luz solar:** Es la capacidad de soportar la degradación por efecto de luz solar directa.

**Capilaridad.** Es la capacidad de una fibra de transferir humedad a lo largo de su superficie (Agulhon H. 1965).

# **ANEXO**

## APÉNDICE DE NOMBRES COMERCIALES

### LISTA ALFABÉTICA DE MARCAS COMERCIALES ADJUDICADAS A LAS FIBRAS SINTÉTICAS O ARTIFICIALES.

A la derecha de cada marca se señala el grupo químico al que pertenece la fibra así designada.

*Acetato	-celulosa acetilada
Acrilán	-acrílica
Acele	-triacetato
*Acrílica	-derivada del acetonitrilo (>85%)
Aeress	-Modacrílica
Amerfil	-Olefina (polipropileno)
Amilán	-poliamida
Amilar	-poliéster
Arnl	Acetato de polivinilo
Aztekrón	Poliamida
Badische	-vinílica (dicloroetileno)
Blue C	-poliuretano
Cantrece	-poliamida
Celafibre	-acetato de polivinilo
Celón	-poliamida
Celoperm	-acetato de polivinilo
Coprolán	-poliamida
Corval	-rayón
Coutelle	-acrílica
Crisel	-acrílica
Creslán	-acrílica
Cromolón	-rayón
crylón	-acrílica
*Cupramonio	-rayón (celulosa regenerada)
Dacròn	-poliéster
Darván	-vinílica
Delcròn	-poliéster
Diolén	-poliéster
DPL	-olefina (polipropileno)
Dralón	-acrílica semejante al Orlón
Durafil	-rayón viscosa modificado
Dynel	-modacrílica
Enkalón	-poliamida
Estrón	-acetato de polivinilo
Fibrolane	-proteica (caseína)
Fortrel	-poliéster
Fortisàn	-acetato (celulosa )
Galón	-poliamida
Glospán	-poliuretano
Herculón	-olefina (polipropileno)

Ike	-olefina (polipropileno)
Kapón	-poliamida
Kintrel	-poliéster gliptal
Kodel	-poliéster
Lanital	-proteica(caseína)
Lycra	-poliuretano
Meraklón	-olefina (polipropileno)
Mirlón	-poliamida
*Modacrílica	-derivada del acetonitrilo (>35%)
Mylar	-poliéster
Nylfil	-poliamida
Nylon	-poliamida
Nytril	-vinílica
Orllón	-acrílica
Perlón	-poliamida
Phrilón	-olefina (polipropileno)
Pliana	-olefina (polipropileno)
*Poliamida	-derivada del alquitrán de hulla
*Poliéster	-esteres del ácido terftálico
Propylón	-olefina (polipropileno)
Rayón	-proteica (celulosa regenerada)
Risán	-poliamida (Nylon II)
Rovana	-vinílica (fibra plana de Sarán)
Sarán	-vinílica (dicloroetileno)
Sayelle	-modacrílica
Spandex	-poliuretano
Teflón	-olefina (politetrafluoroetileno)
Tergal	-poliéster
Terlenka	-poliéster
Terital	-poliéster
Terylene	-poliéster
Tetorón	-poliéster
Trevira	-poliéster
Vecra	-vinílica (semejante al Sarán)
Velicrén	-acrílica
Velón	-vinílica (dicloroetileno)
Verel	-modacrílica
Vicara	-proteica (prolamina de maíz)
Vilicrón	-acrílica
Vinal	-vinílica (dicloroetileno)
Vinyón	-vinílica (cloroetileno)
*Viscosa	-rayón (celulosa regenerada)
Vycrón	-poliéster
Vyrene	-poliuretano
Zefrán	-acrílica

\*Designaciones genéricas.

## IDENTIFICACIÓN DE FIBRAS TEXTILES

### MICROFOTOGRAFÍAS DE FIBRAS.

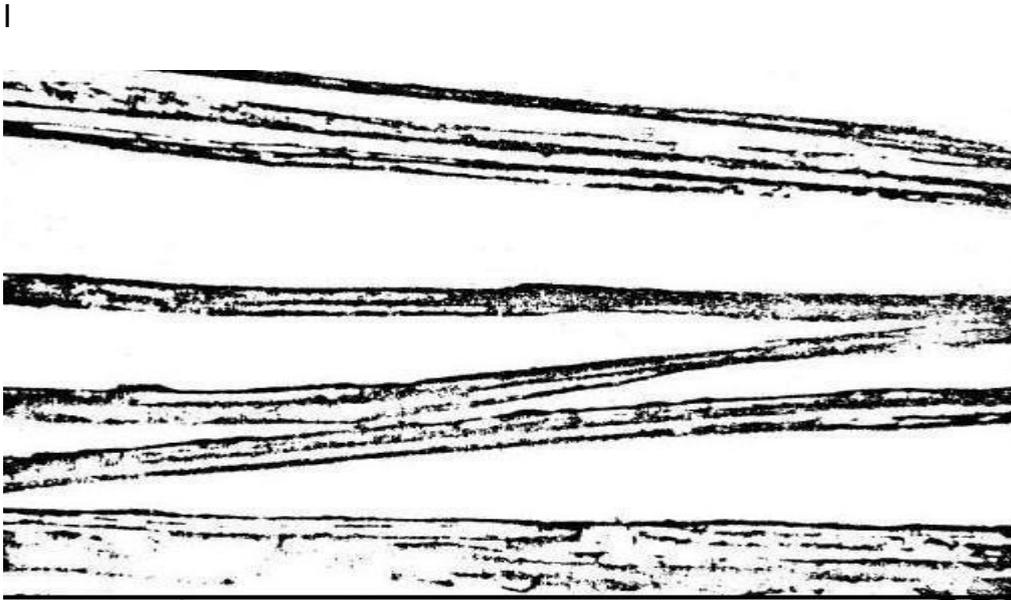


Figura 1. Seda *Bombyx mori* cruda (doble borde). Vista longitudinal a 180 aumentos. Los pares de fibras (fibroína) se mantienen juntas mediante una capa de goma (Serica). Esto da a cada par la apariencia de una fibra basta muy estirada.

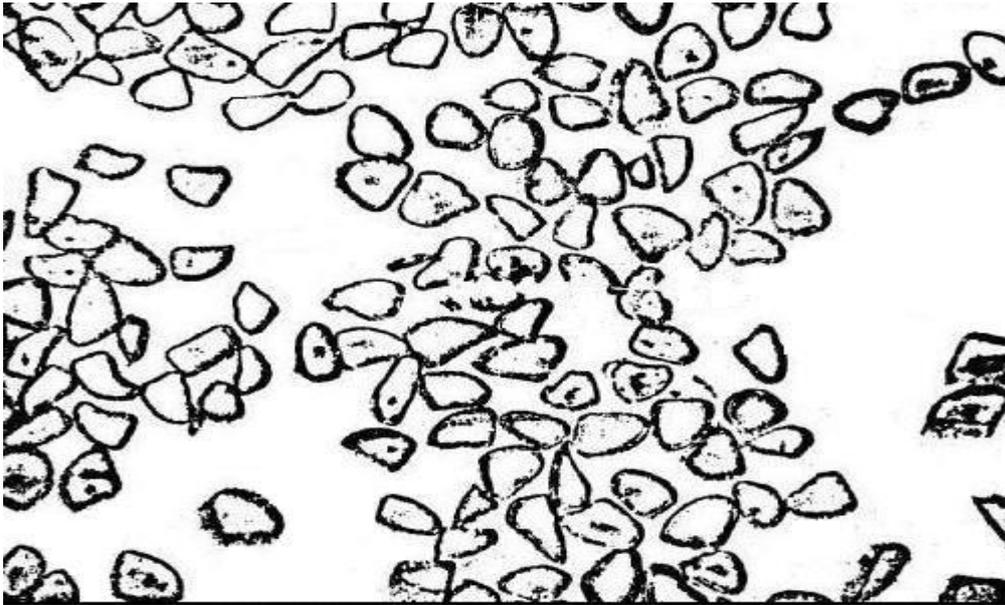


Figura 2.Seda *Bombyx mori* cruda. Sección transversal a 500 aumentos. Las fibras se presentan emparejadas y están unidas por la goma.

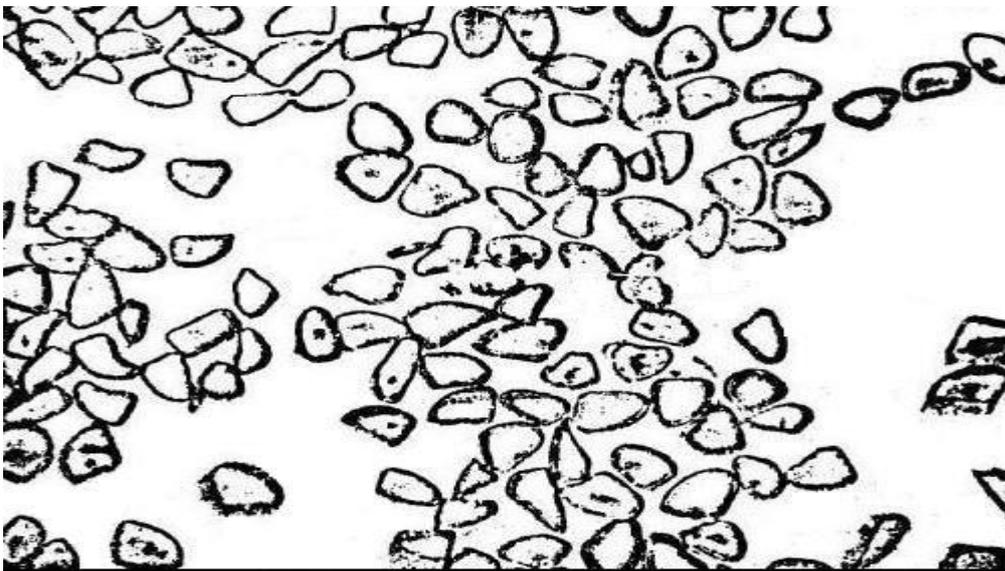


Figura 3.Seda *Bombyx mori* desgomada.

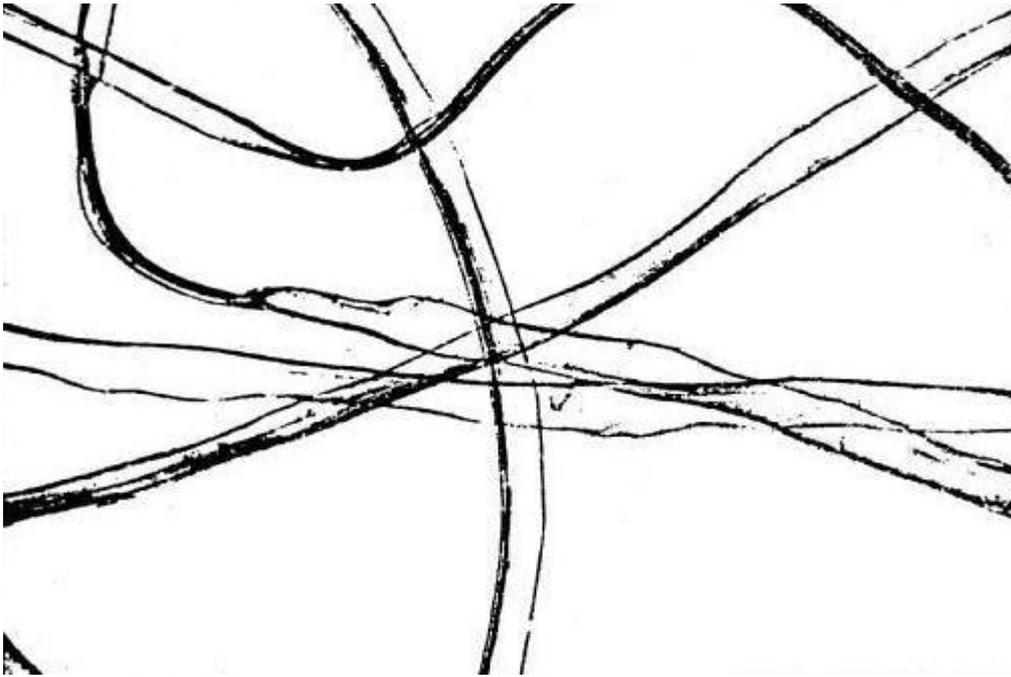


Figura 4. Seda *Tussak silvestre*. Vista longitudinal a 180 aumentos.

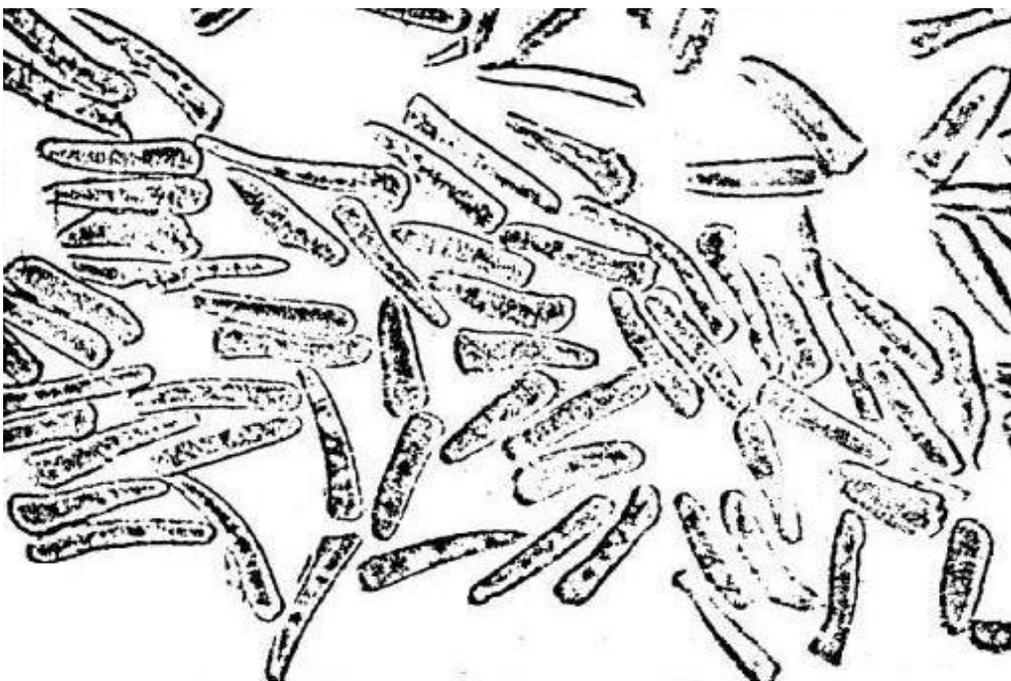
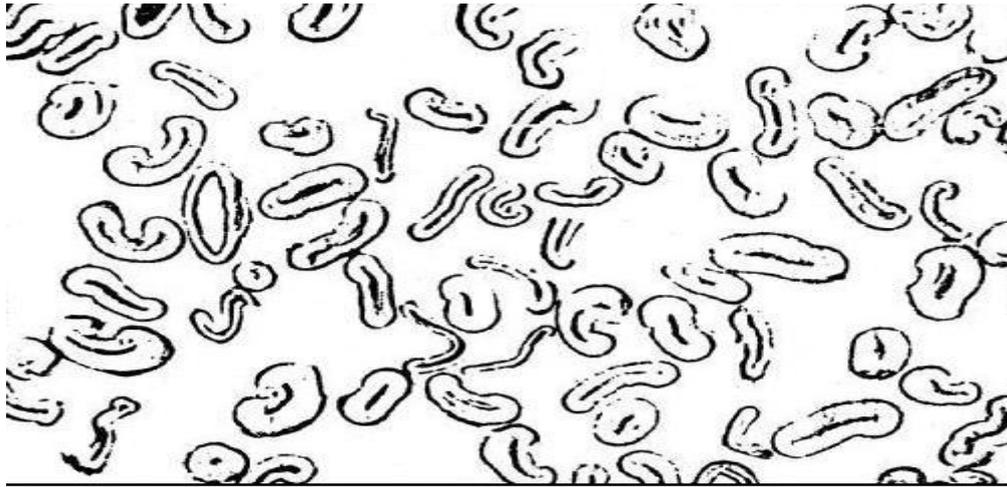
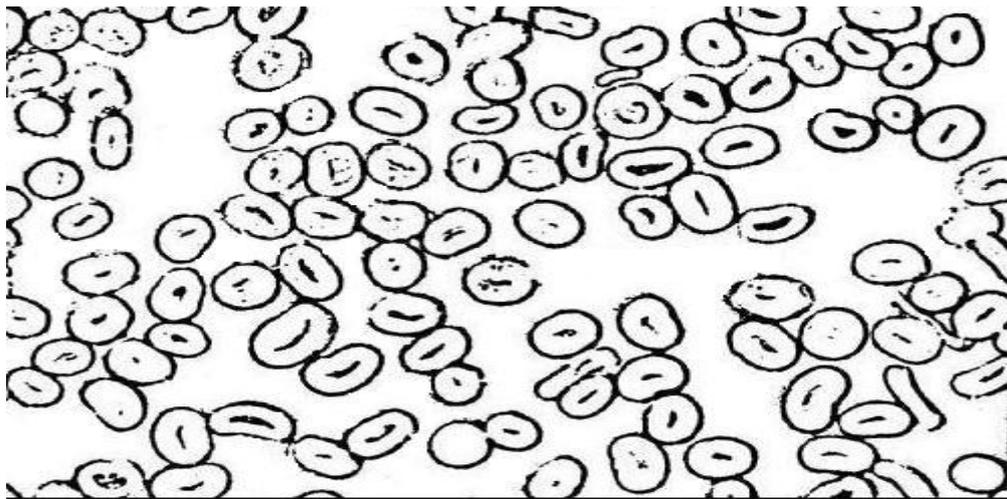


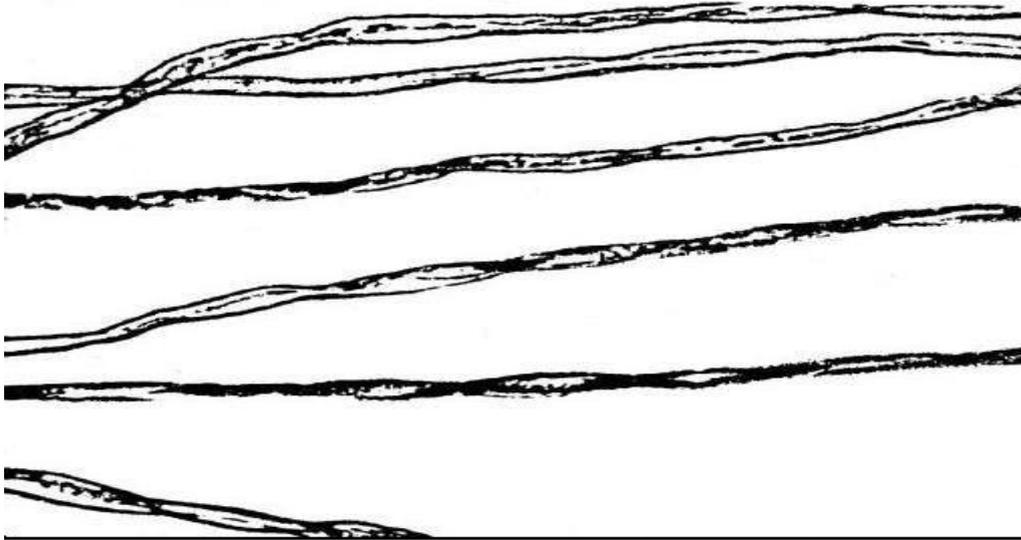
Figura 5. Seda *Tussak silvestre*. Sección transversal a 500 aumentos



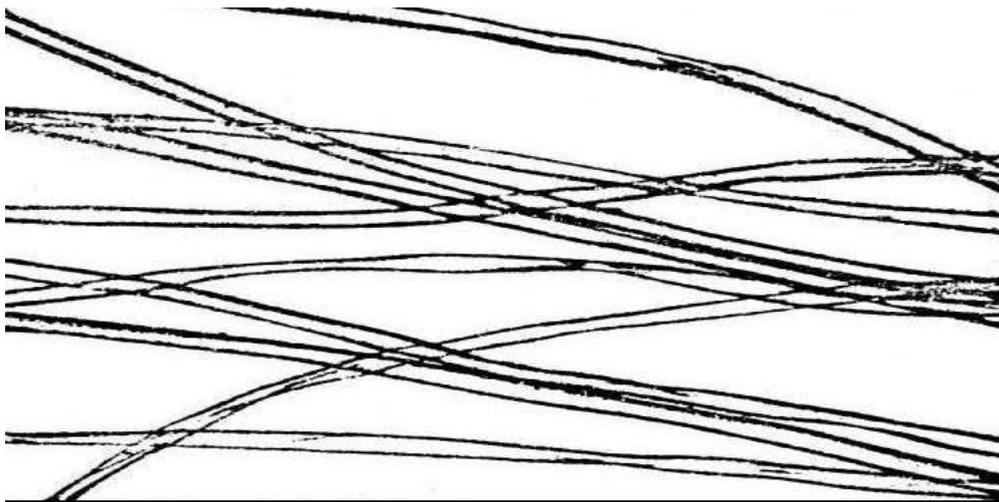
**Figura 6. Algodón crudo, sección transversal a 500 aumentos. Puede verse una gran variación en forma y tamaño de la sección transversal.**



**Figura 7. Algodón mercerizado. Sección transversal a 500 aumentos. La mayoría de las fibras tienen secciones casi circulares y contienen muy poco espacio vacío, comparado con el algodón crudo.**



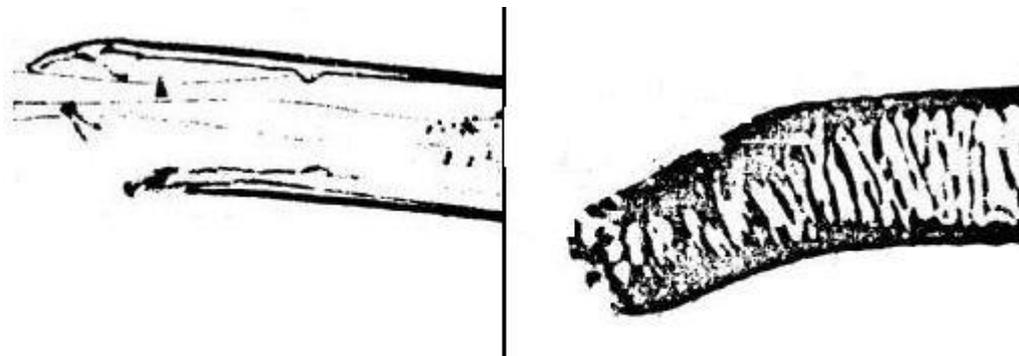
**Figura 8. Algodón crudo, vista longitudinal a 180 aumentos. Estas fibras muestran retorcimientos más o menos pronunciados.**



**Figura 9. Algodón mercerizado. Vista longitudinal a 180 aumentos. Los retorcimientos han desaparecido casi totalmente. Compárese con el Algodón crudo.**



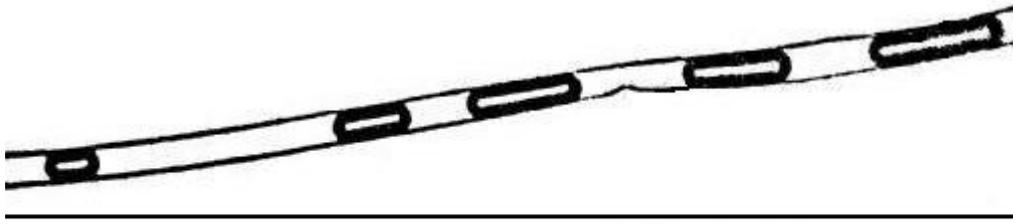
**Figura 10. Tejido de Algodón mercerizado a 10°C. Sección a 500 aumentos. La torsión es alta. Las fibras exteriores están completamente hinchadas y cementadas ligeramente, produciendo un acabado permanente.**



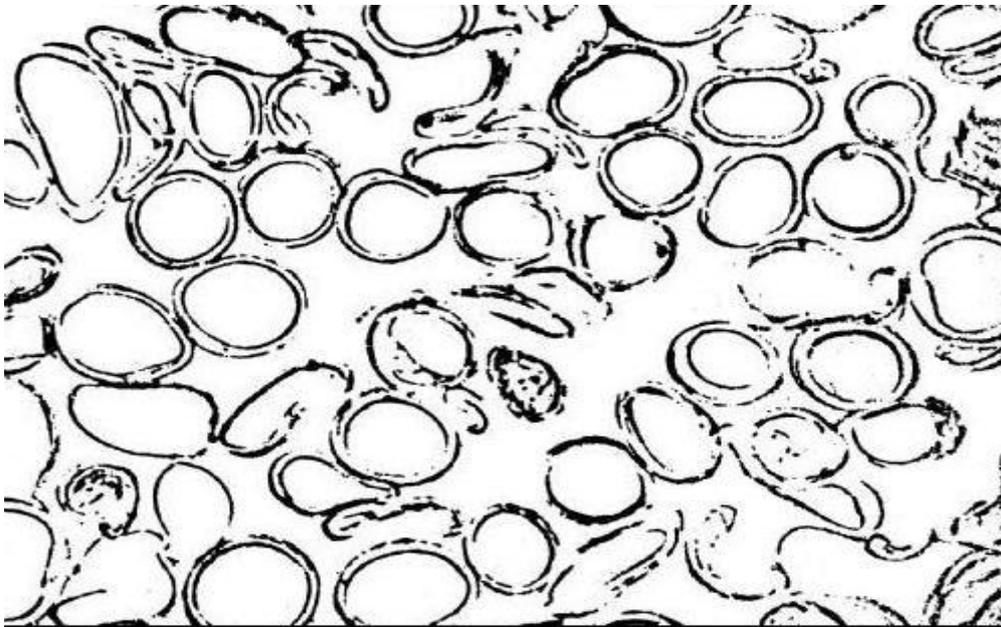
a)

b)

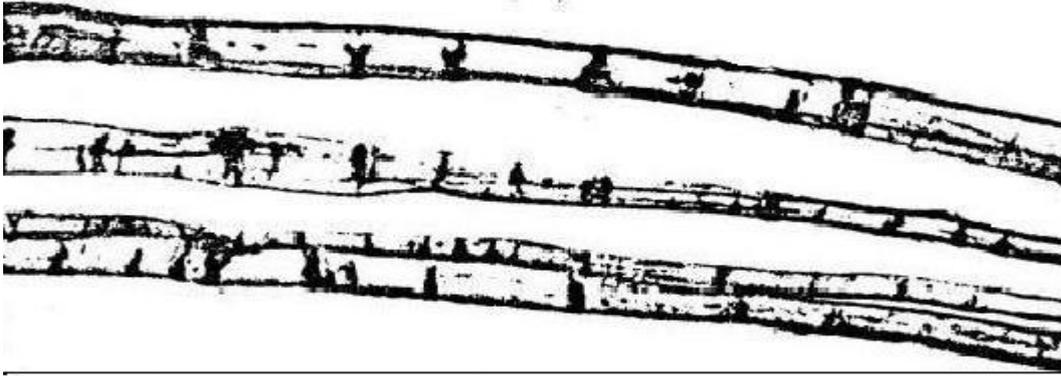
**Figura 11a). Akund. Vista longitudinal, base de la fibra a 500 aumentos.  
Figura 11b). Kapok. Vista longitudinal; base de la fibra a 180 aumentos.**



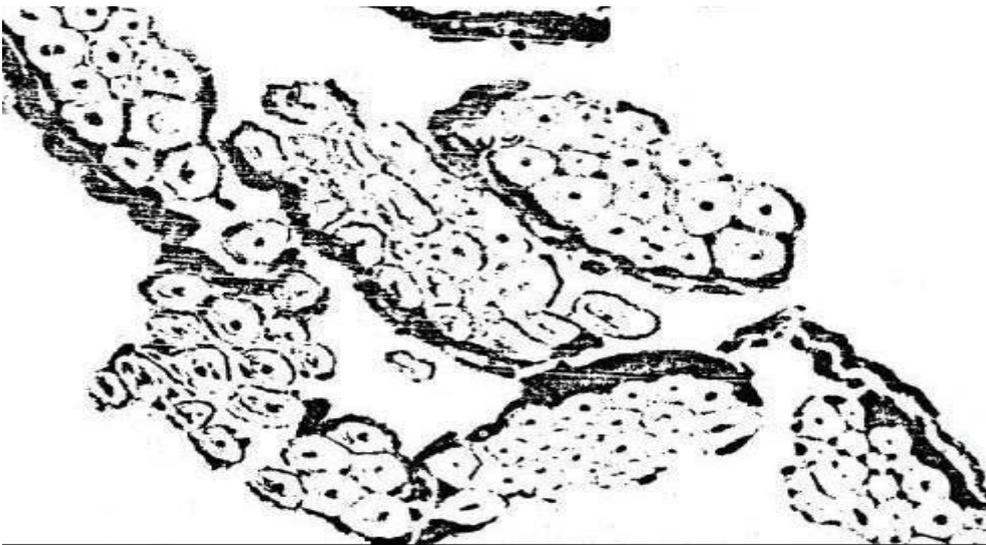
**Figura 12. Kapok. Vista longitudinal a 180 aumentos. La fibra es de pared muy delgada lo cual puede verse por las burbujas del líquido que llena el lumen y también en la sección transversal.**



**Figura 13. Kapok. Sección transversal a 500 aumentos.**



**Figura 14. Lino. (Elementales), vista longitudinal a 180 aumentos. Nótese los puntos de dislocación transversal a intervalos frecuentes a lo largo de la fibra. Estas fibras elementales separadas son típicas del lino algodónizado; alternatively el lino puede ser sometido a un proceso para retener las fibras elementales muy largas en manojos.**



**Figura 15. Lino (manojos) Sección transversal a 340 aumentos. Las fibras elementales se han agrupado junto a los manojos. Nótese la forma poligonal de las fibras elementales.**

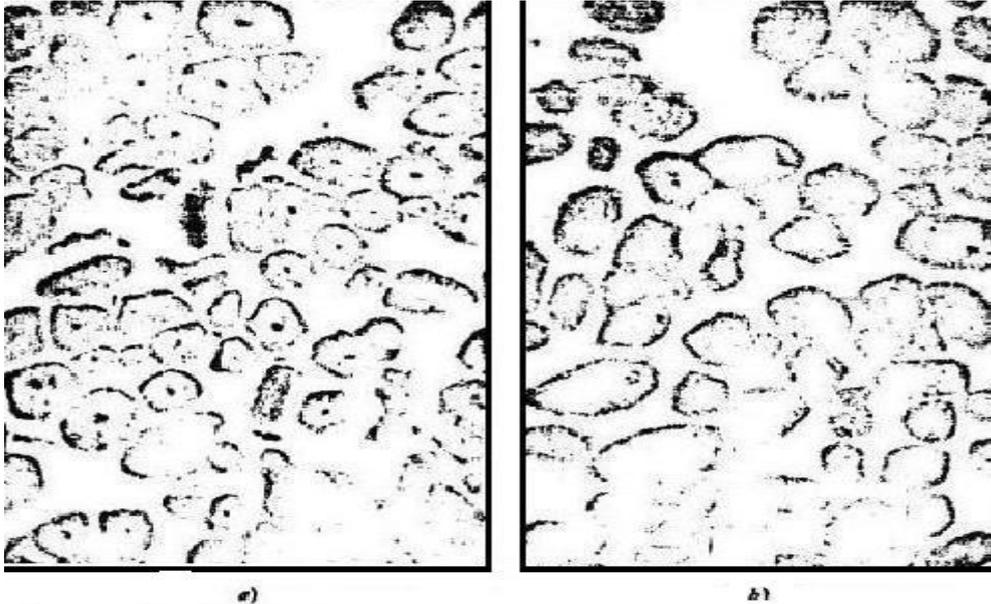


Figura 16 a) y 16 b). Lino blanqueado y lino mercerizado. Sección transversal a 500 aumentos

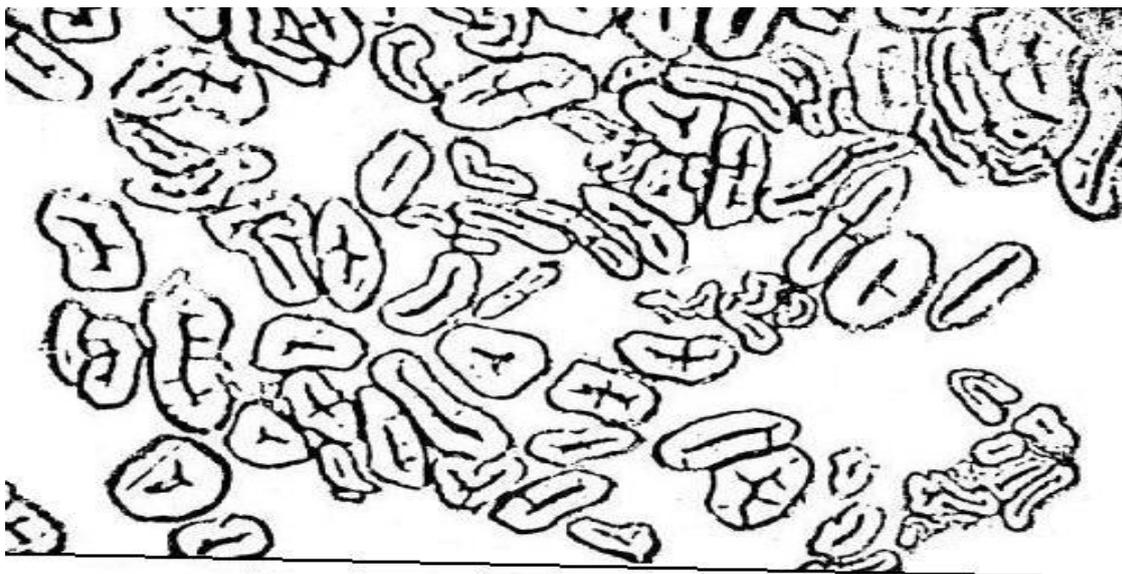
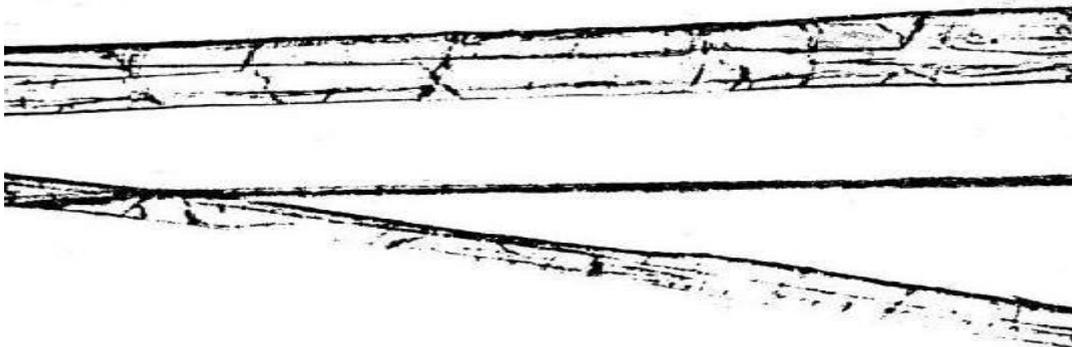


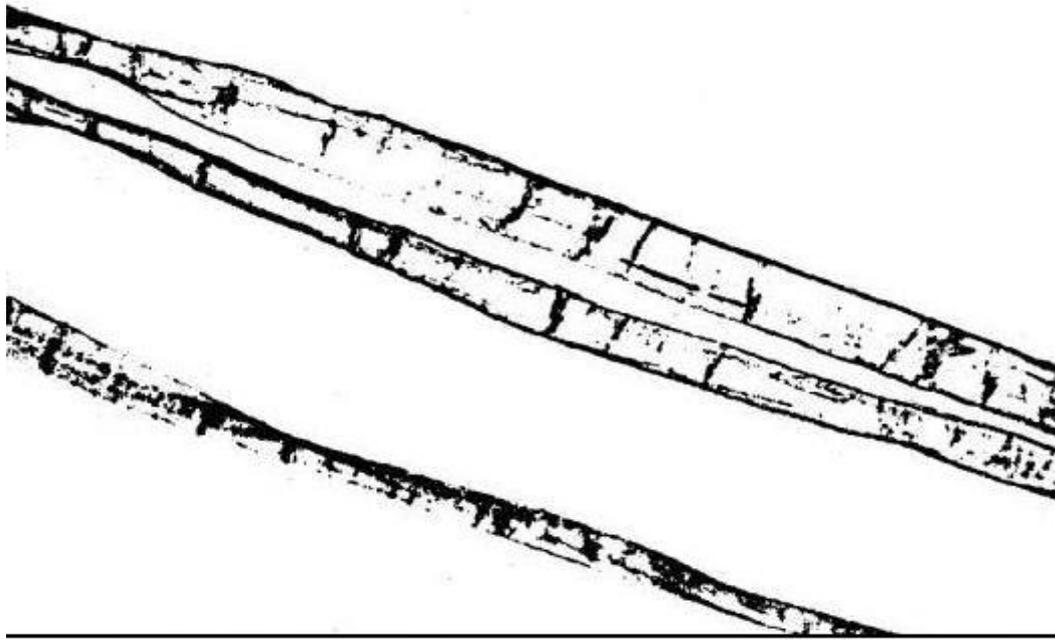
Figura 17. Ramio (fibras elementales), Vista longitudinal a 180 aumentos. Nótese los puntos de deslocalización transversal a intervalos frecuentes a lo largo de cada fibra, y nótese también que estas son fibras elementales separadas de los manojos. Esta separación tiene lugar también durante el desgomado comercial antes del hilado.



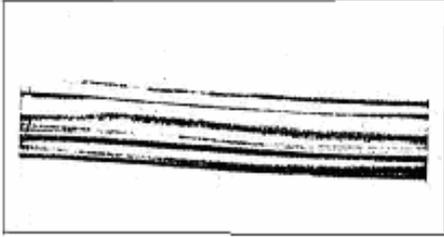
**Figura 18. Fibras Sunn (elemental). Vista longitudinal a 180 aumentos. Nótese las marcas transversales que aparecen en la superficie de las fibras elementales.**



**Figura 19. Ramio (fibras elementales). Vista longitudinal a 180 aumentos. Nótese los puntos de dislocación transversal a intervalos frecuentes a lo largo de cada fibra, y nótese también que estas fibras elementales separadas de los manojo, esta separación tiene lugar también al desgomado comercial, antes del hilado.**



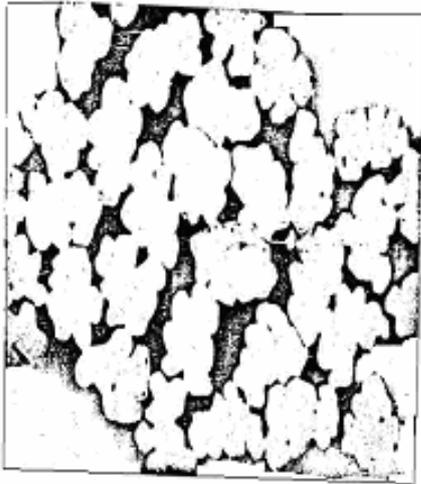
**Figura 20. Cáñamo (fibras elementales). Vista longitudinal a 180 aumentos.**



**Figura 21. Triacetato de celulosa (Tricel) 750 aumentos.**



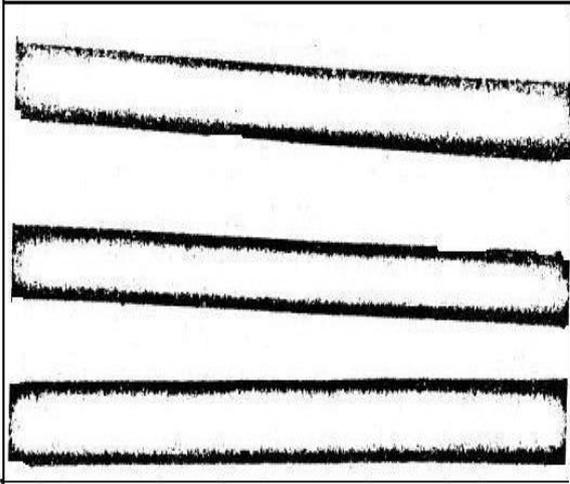
**Figura 22. Alcohol polivinílico (Kuralon) vista longitudinal.**



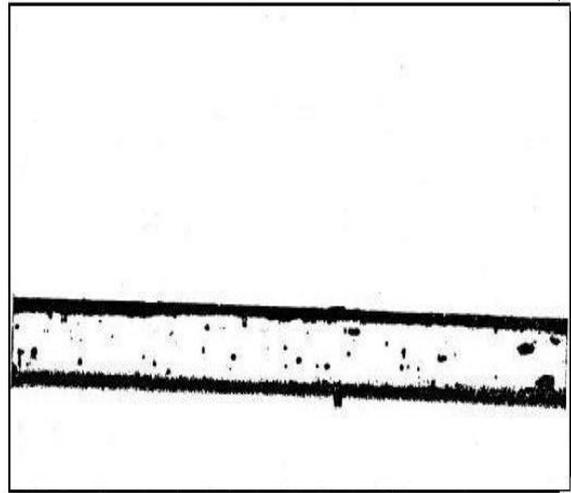
**Figura 23. Triacetato de celulosa (Tricel).**



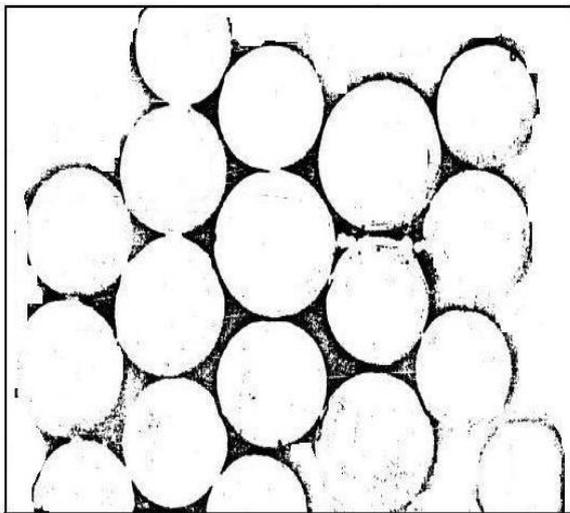
**Figura 24. Alcohol polivinílico (Kuralon).**



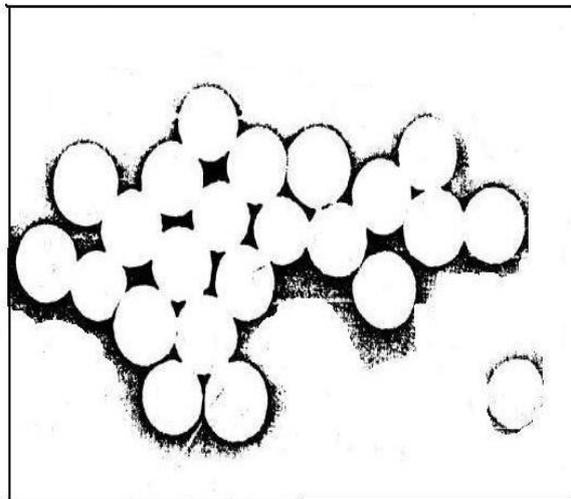
**Figura 25. Polietileno de baja densidad (Courlene) Vista longitudinal a 180 aumentos.**



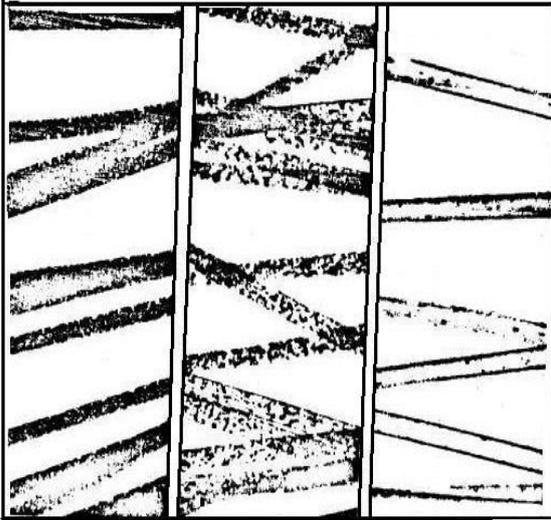
**Figura 26. Poliéster (Terylene). Vista longitudinal a 750 aumentos.**



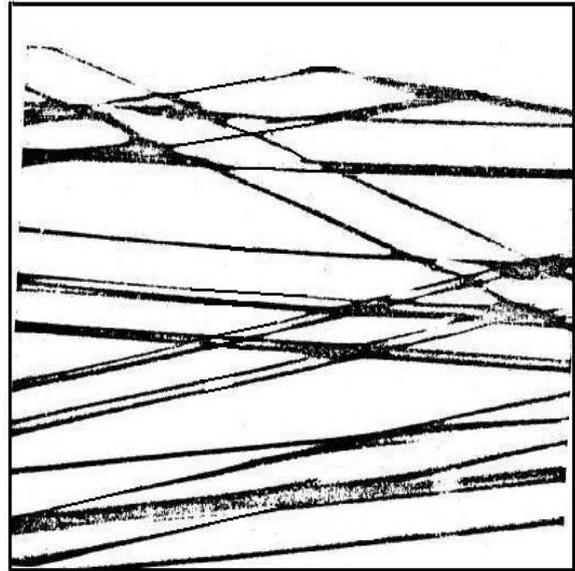
**Figura 27. Polietileno de baja densidad (Courlene) Sección transversal a 500 aumentos.**



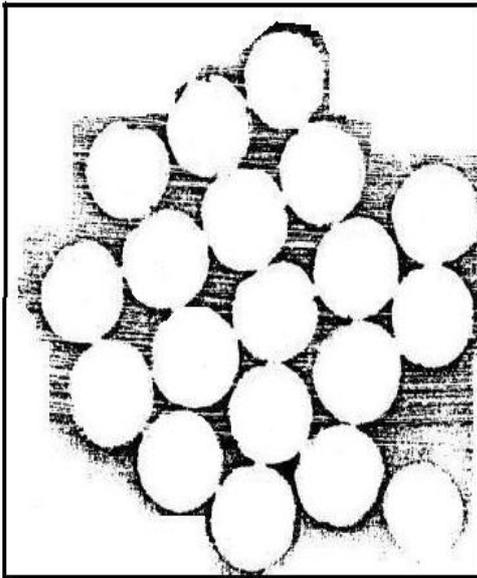
**Figura 28. Poliéster (Terylene). Sección transversal a 750**



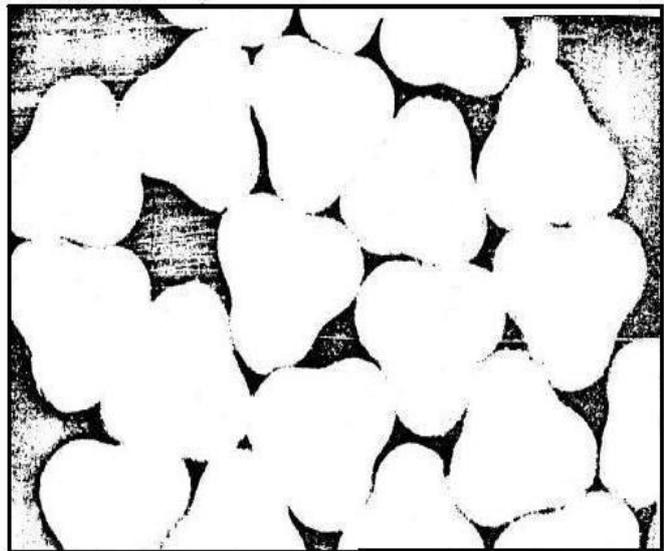
**Figura 29. Poliamida (Nylon 6.6)  
Vista longitudinal**



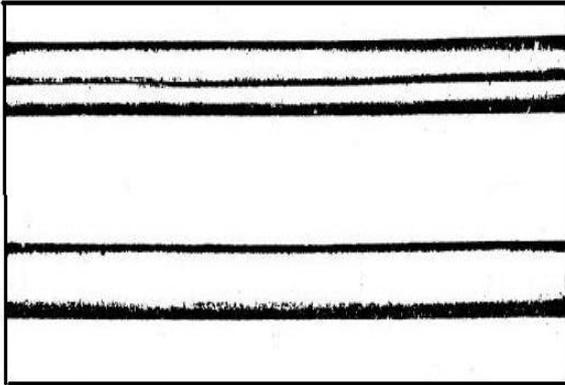
**Figura 30. Poliamida (Nylon 6.6)  
trilobal**



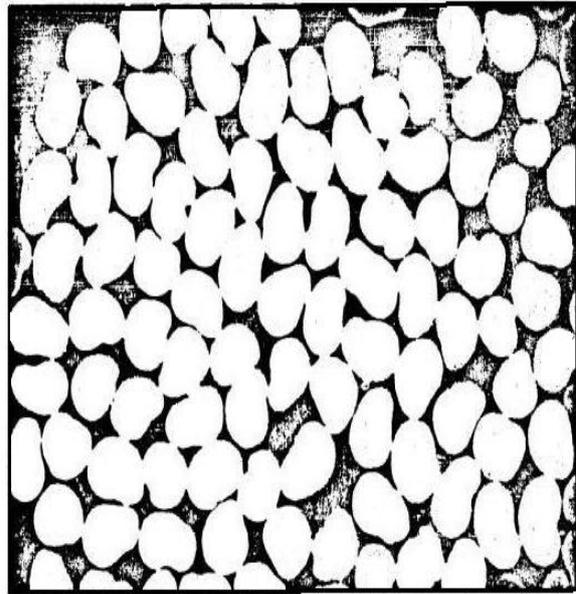
**Figura 31. Poliamida (Nylon 6.6)  
sección transversal.**



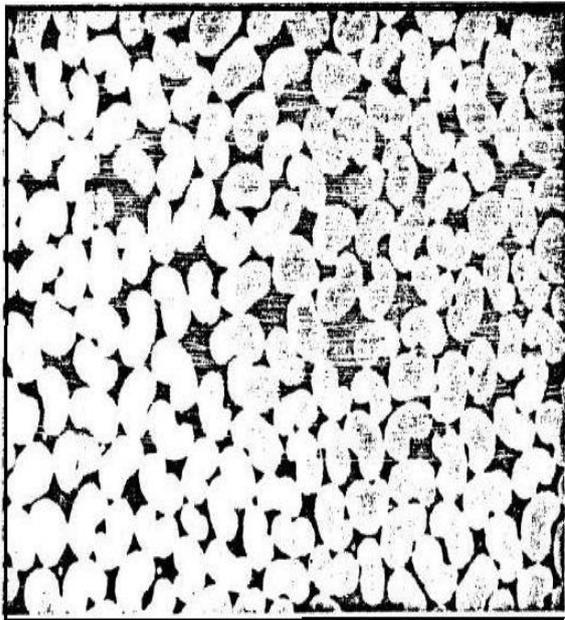
**Figura 32. Poliamida (Nylon 6.6)  
sección transversal.**



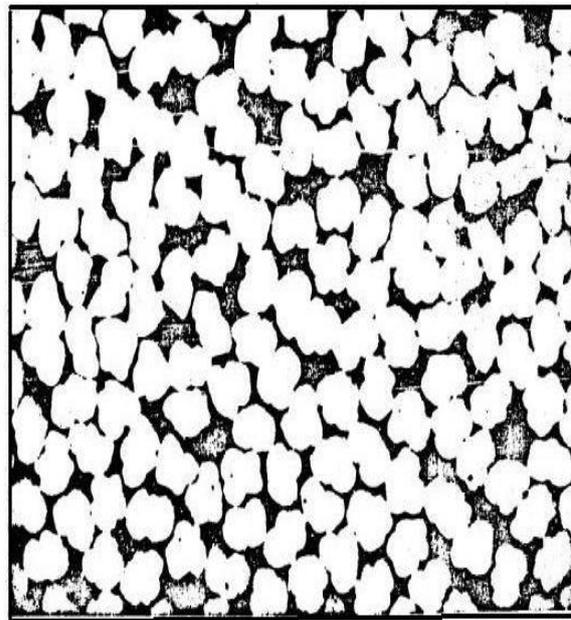
**Figura 33. Rayón de viscosa de alta Tenacidad. (Durafil).**



**Figura 34. Rayón de viscosa de alta tenacidad, en Fibra cortada**

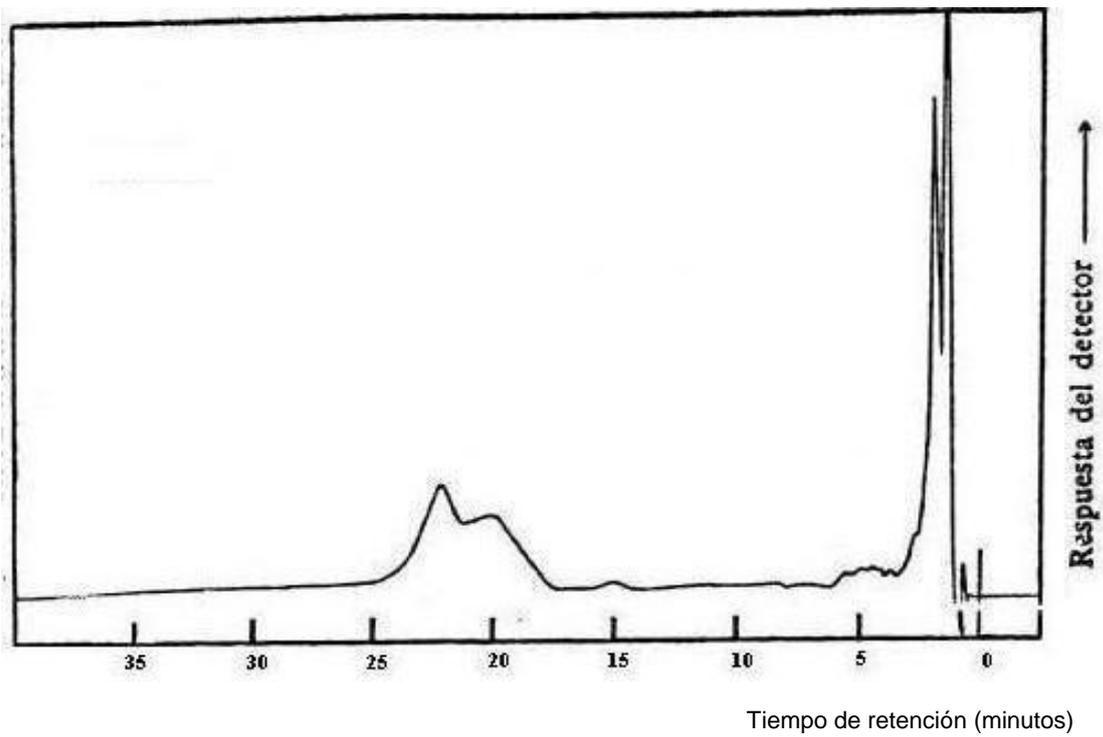


**Figura 35. Rayón de viscosa de alta tenacidad (Tenasco Super 105). estirado**

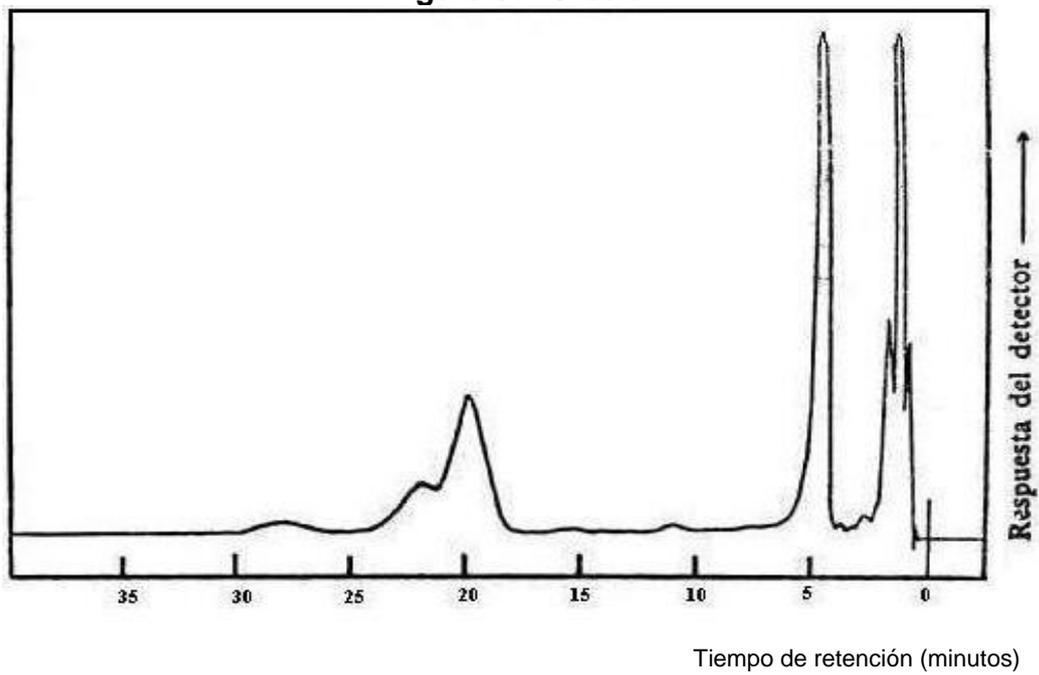


**Figura 36. Celulosa regenerada del tipo de acetato de celulosa (Fortisan).**

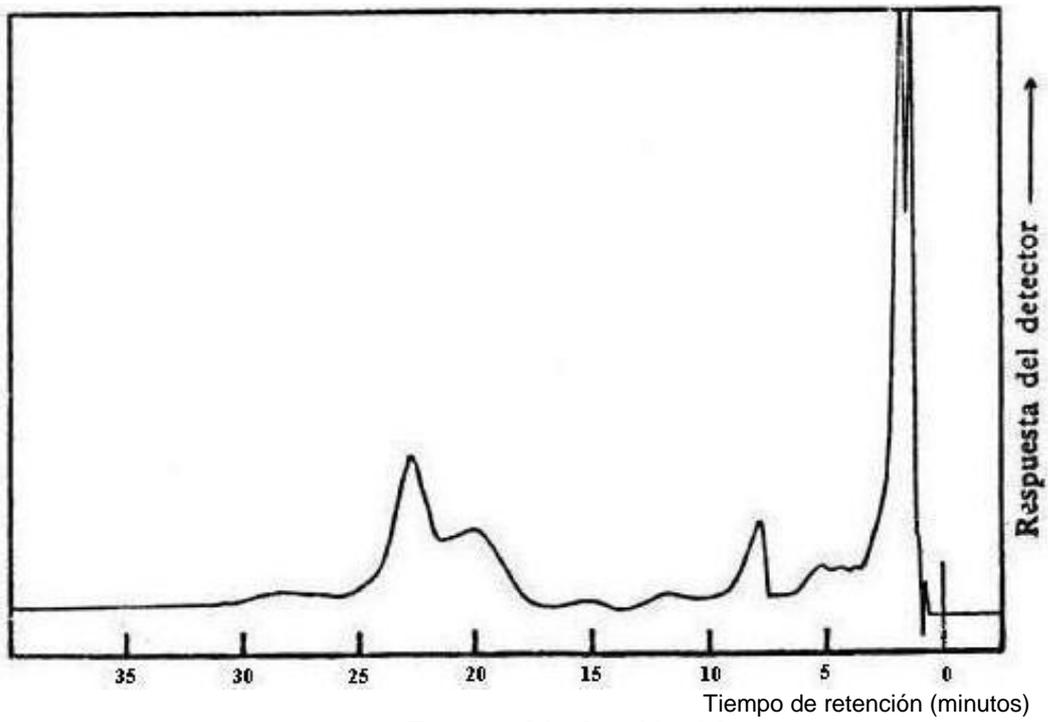
## PIROGRAMAS DE ALGUNAS FIBRAS TEXTILES



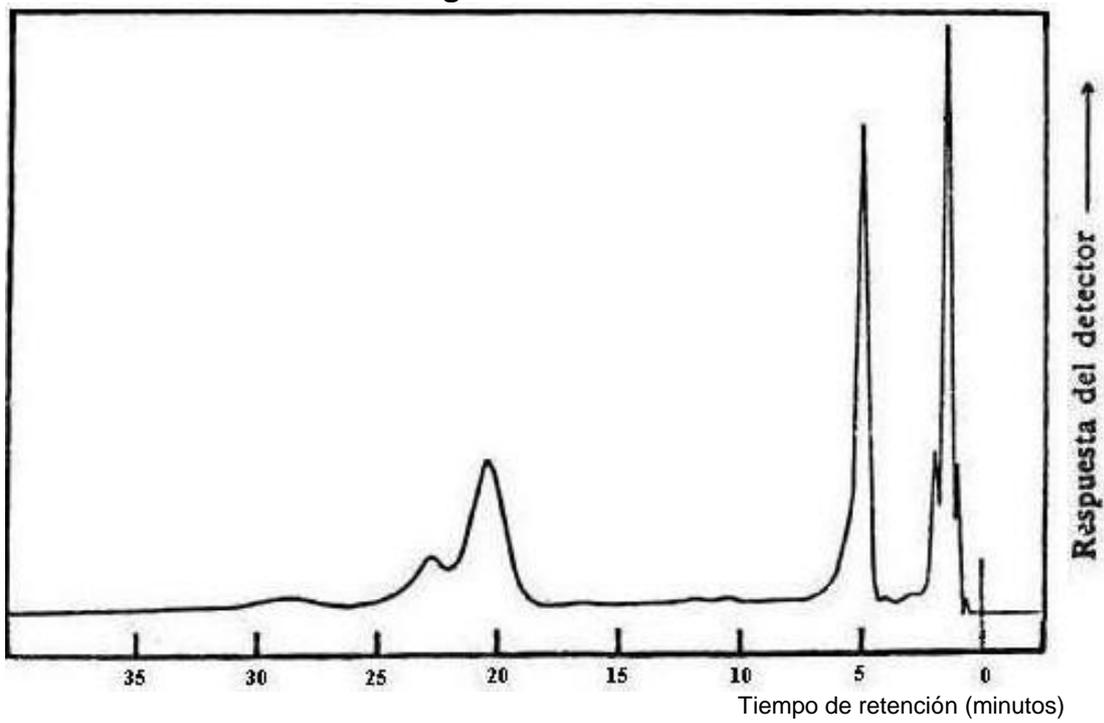
**Figura 37. Creslón**



**Figura 38. Dralón**



**Figura 39. Acrilán 36**



**Figura 40. Redón F**

# IDENTIFICACIÓN DE FIBRAS TEXTILES

## ESPECTROS INFRARROJO

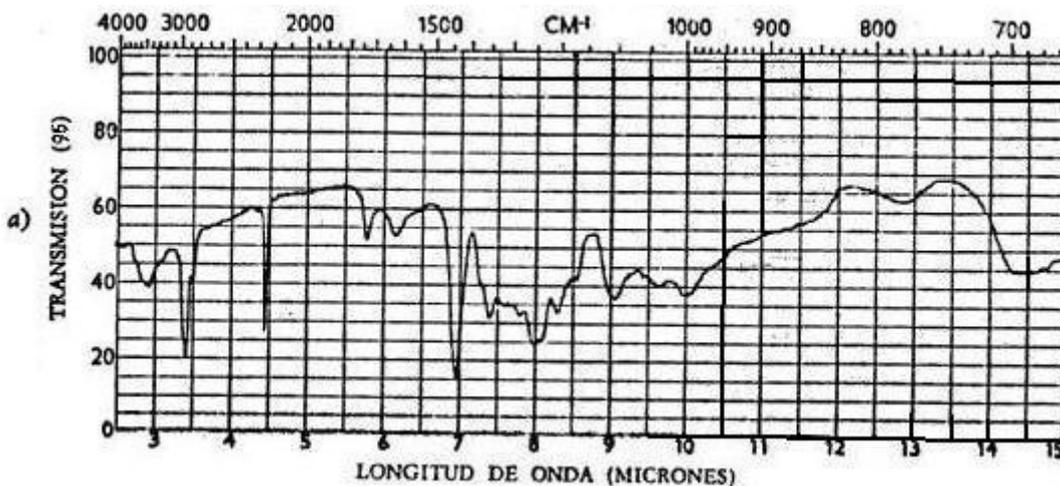


Figura 41. Dinel (modacrílica)

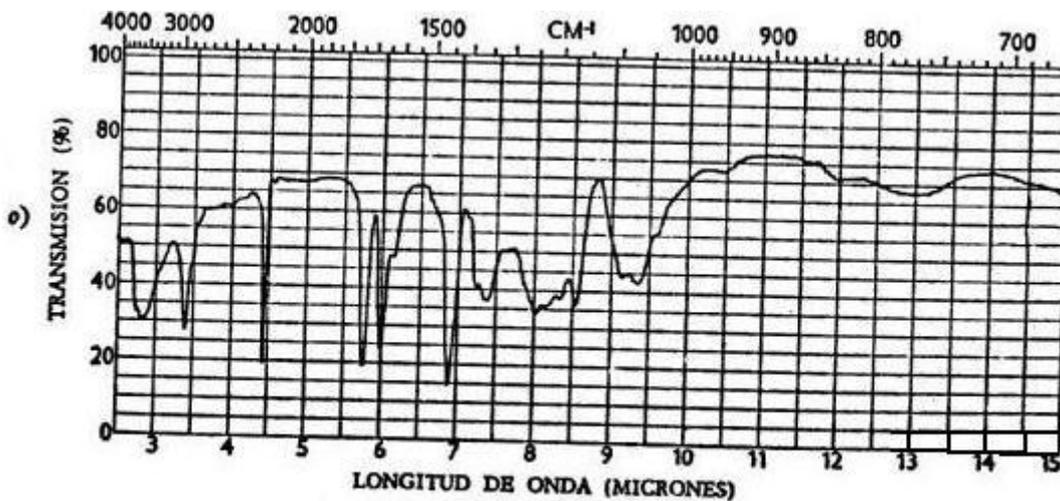


Figura 42. Acrilàn