

89

203



**UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTONOMA DE MEXICO**

FACULTAD DE QUIMICA

**IDENTIFICACION DE COLORANTES EMPLEADOS EN
LA TINCION DE FIBRAS TEXTILES, EN MUESTRAS
ENCONTRADAS COMO INDICIOS EN EL LUGAR DE
LOS HECHOS.**

TESIS MANCOMUNADA

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO
PRESENTAN

MA. DEL CARMEN MELGAR PATLAN
JOSE ESTEHEL ESTRADA ZAMORA

ASESOR: QFB. CESAR ANIBAL DOMINGUEZ CAMACHO



MEXICO, D. F.

1994

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Jurado asignado:

Presidente: Profra. Etelvina Medrano Barra.
Vocal: Prof. César Anibal Domínguez Camacho.
Secretario: Prof. Francisco Hernández Luis.
1er. suplente: Prof. Carlos Pérez Muñoz.
2o. suplente: Prof. Bernardo López Medina.



EXÁMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUÍMICA

Sitio donde se desarrollo el tema: Universidad Nacional Autónoma de México.
Facultad de Química.

Asesor:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'César Anibal Domínguez Camacho'.

QFB. César Anibal Domínguez Camacho.

Sustentantes:

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ma. del Carmen Melgar Patián'.

Ma. del Carmen Melgar Patián.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Esthel Estrada Zamora'.

José Esthel Estrada Zamora.

AGRADECIMIENTOS

Al QFB. César A. Domínguez Camacho, por brindarnos su confianza, apoyo y asesoría en la realización de éste trabajo.

A la QFB. Etelvina Medrano Barra, por su paciencia y esfuerzo durante la revisión de ésta tesis.

A la Profesora Chelina, del departamento de farmacia por la ayuda y facilidades prestadas para la realización del desarrollo experimental de éste trabajo.

A nuestros queridos maestros, por brindarnos sus conocimientos y experiencias a lo largo de ésta carrera.

A nuestra Universidad, por abrirnos sus puertas y permitirnos disfrutar de vivencias inolvidables.

A todas aquellas personas que contribuyeron directa o indirectamente en la realización de ésta tesis.

DEDICATORIAS

A nuestros queridos padres:

*Ma. Estela Patlán de Melgar
Sergio Alexis Melgar Domínguez*

*Ma. del Socorro Zamora de Estrada
Jose Estefel Estrada Gómez*

Por habernos inculcado el amor a Dios, a la vida y a nuestros semejantes, por haber sembrado en nosotros una semilla que con el paso del tiempo creció, se fortaleció y que hoy rinde sus frutos, y que estará con nosotros durante toda nuestra vida, pues esa semilla son los principios, la fortaleza y sagacidad para poder enfrentar y vencer a los embates de la vida; por eso queremos darles las gracias y dedicarles con todo nuestro cariño y respeto éste trabajo, que en gran parte se lo debemos a ustedes.

A nuestros abuelos:

Andrea † y Emiliano †, Carmita y Jesús †

Catalina † y Angel †, Julia y Eutimio †

Por enseñarnos desde niños el amor a nuestros padres y haber inculcado en nosotros el deseo de superación.

A Dios, por habernos dado el Don de la vida y permitirnos haber llegado ha éste momento tan anhelado.

A mi *hermano Sergio*,
con profundo cariño.

A mi *madrina Betty*, por el apoyo
incondicional, paciencia, cariño y
comprensión que me ha brindado
siempre.

A mi *tía Juanita* con todo mi
cariño y admiración.

A todos mis *tíos y primos*,
por el apoyo que de ellos
he recibido.

A todos mis *amigos y compañeros*,
por su valiosa amistad y compañía
durante el maravilloso viaje del
estudio.

A la *Sra. Socorro y Sr. Estefel*, por sus
grandes atenciones.

A *Pepillo (Pepe)*, con todo mi amor
y cariño, por su apoyo, comprensión
y motivación que me brindó a lo
largo de mi carrera, para lograr
juntos una meta más.

Gracias mi amor.

Marycarmen.

A mi *pequeñita (Mary)*:

Por ser una persona increíble que me dió su apoyo, comprensión, cariño y amor durante la carrera; por que fuiste un estímulo muy importante para llegar hasta este momento pues mucho de esto te lo debo a ti, estuviste conmigo SIEMPRE, compartiendo en algunas acasiones momentos difíciles, pero sobre todo muchos momentos gratos; compartimos mucho durante éste tiempo.

A Dios doy gracias por haberte conocido, pues de la Universidad no sólo obtuve una carrera, sino algo que es más importante: un cariño, ese cariño eres tú amor mío, que espero pronto quede unido para siempre, por eso y muchas otras cosas más, te quiero dedicar este trabajo, que es el fruto de nuestros desvelos y que hoy gracias a Dios queda concluido.

A mis *tíos Pancho y Lupe*:

Quiero dedicarles este trabajo, por que durante toda mi vida me han dado consejos muy útiles que ahora son parte integral de mí, por que siempre me apoyaron, me tuvieron confianza, y estuvieron al pendiente de lo que sucedía conmigo, por eso quiero darles las gracias por todo y dedicarles aquí un espacio muy especial.

A mi *padrino Adolfo*:

Por su apoyo durante toda mi vida estudiantil, por sus consejos y en especial por la ayuda prestada para la terminación del trabajo experimental de esta tesis.

A mis demás tios: Nacho, Angel, Ma. Elena, Carlos, Pompe, Pachita, Mary, Lydia. con mucho cariño.

A todos mis *Primos*, con gran afecto.

A mis *AMIGOS Luis y Marielena (Pollo y Tutis)*.

Porque son dos personas excepcionales y ser, sin lugar a dudas, de mis MEJORES y REALES AMIGOS; quiero darles las gracias por todos los momentos que juntos compartimos y sobre todo por aquel Viaje a Ixtapa !!!.

A Carlitos:

Por ser un AMIGO incondicional con el que espero contar siempre, por haberme ayudado en la elaboración de este trabajo.

A Oscar:

Mi AMIGO Oscar, gracias por serlo, eres una persona que piensa que la amistad no sólo es durante un ciclo escolar, sino que trasciende aún más allá, por eso te agradezco y te dedico una parte de este esfuerzo.

A Waldo:

Que te puedo decir AMIGO, no podias faltar tú en esta lista; espero que sigas siendo como eres y le pongas entusiasmo y dedicación a todo lo que emprendas, yo gracias a Dios he terminado una meta, pero sabes, aún faltan muchas más, ojalá estes ahí para compartirlas conmigo.

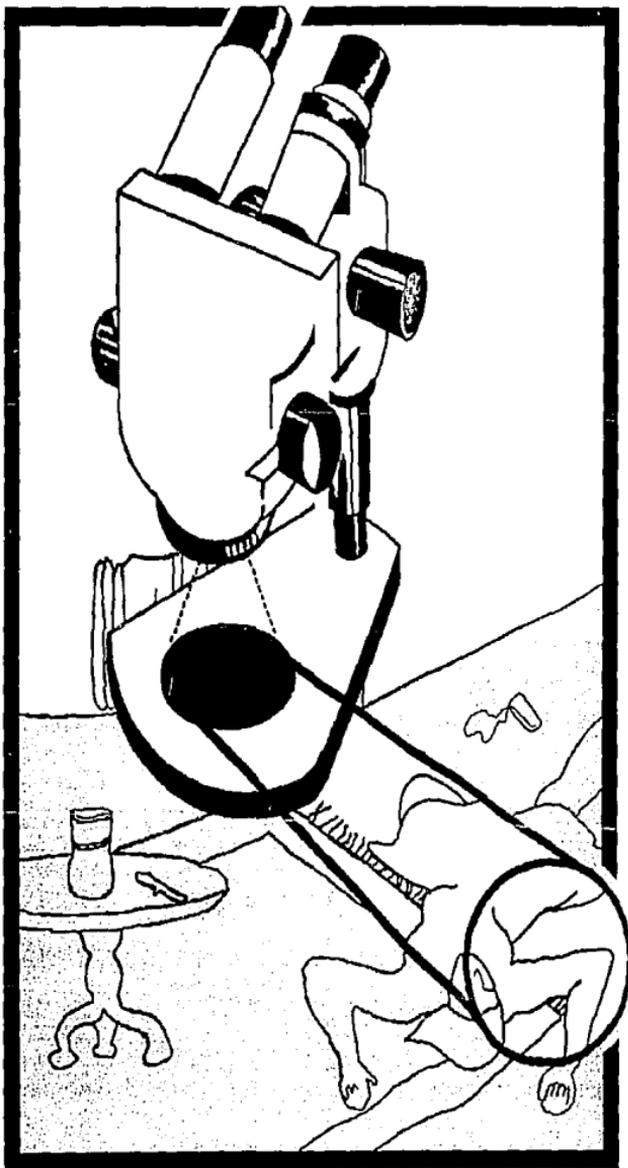
A *Adriana*:

Por los momentos tan divertidos que pasamos en clases y por ser una persona que en el momento que se te necesita estas ahí para tender la mano.

Gracias a todos mis demás *amigos y compañeros*, que por falta de espacio no puedo comentar individualmente, pero sepan ustedes que están en mi mente, pues cada uno de ustedes son personas muy especiales que nunca olvidaré; por lo que también les dedico mi trabajo: *Eduardo, Yuri, Ulises, Manuel, Vicente, Diego, Sergio, Gabi, Juventino, Pepe G., José Luis, Raúl, Ricardo S., Beto Tercero, Valentin, Victor, Luis* y demás miembros del Glorioso BSC.

José Estefiel.

Por último, quisieramos agradecer muy especialmente a nuestros dos buenos amigos: *Erby y Amiga*, por el servicio prestado durante toda la carrera.



INDICE GENERAL

	Página
INDICE GENERAL	x
INDICE DE GRAFICAS	xiii
INDICE DE TABLAS	xviii
OBJETIVOS	xix
CAPITULO I. Conceptos Generales	1
I.1. Antecedentes Históricos	1
I.2. Concepto de Fibra	3
I.3. Concepto de Colorante	3
I.3.1. Clasificación de los Colorantes	4
CAPITULO II. Origen y Tipos de Fibras	10
II.1. Origen de las Fibras	10
II.2. Tipos de Fibras	11
CAPITULO III. Clasificación de las Fibras	12
CAPITULO IV. Importancia de la Clasificación de las Fibras en la Química Legal	16
IV.1. Antecedentes Históricos	16
IV.2. Importancia de las Fibras como indicio	17
IV.3. El Lugar de los Hechos	20
IV.4. La Recolección de la Evidencia	22
IV.5. Lugares en Dónde Buscar Fibras	24

	Página
CAPITULO V. Métodos de Identificación de Fibras	26
V.1. Propiedades Físicoquímicas de las Fibras	26
V.2. Las Muestras en el Laboratorio	32
V.3. Métodos Empleados en la Identificación de Fibras	32
CAPITULO VI. Análisis del Colorante, Desde un Punto de Vista Químico Legal	57
VI.1. Importancia del Exámen del Colorante	57
VI.2. Generalidades	58
VI.3. Extracción y Solventes	59
VI.4. Cromatografía en Capa Fina (CCF ó TLC)	61
VI.4.1. Selección del adsorbente	62
VI.4.2. Cromatoplasmas	63
VI.4.3. Selección del disolvente (eluyente) ..	65
VI.4.4. Realización del Cromatograma	66
VI.4.5. Aplicaciones	67
VI.5. Cromatografía en Papel	68
CAPITULO VII. Desarrollo Experimental	70
VII.1. Material, Equipo y Reactivos	70
VII.2. Procedimiento de Laboratorio	71
CAPITULO VIII. Resultados	79
CAPITULO IX. Interpretación y Análisis de Resultados	104
IX.1. Interpretación de Resultados	104
IX.2. Análisis de Resultados	109

	Página
CAPITULO X. Conclusiones	115
APENDICE A. Recomendaciones	118
APENDICE B. Marcas de Reactivos Empleados	121
APENDICE C. Atlas de la Vista Microscópica de Fibras	123
REFERENCIAS	132
BIBLIOGRAFIA	133

INDICE DE GRAFICAS

	Página
Fig. 1.1.	Colorantes ácidos 5
Fig. 1.2.	Colorantes básicos 5
Fig. 1.3.	Colorantes sustantivos 6
Fig. 1.4.	Colorantes sobre fibra 6
Fig. 1.5.	Colorantes a la tina 7
Fig. 1.6.	Colorantes sobre mordiente 8
Fig. 1.7.	Colorantes reactivos 9
Fig. 3.1.	Representación química de la celulosa 14
Fig. 3.2.	Representación química de un polipéptido 14
Fig. 3.3.	Representación química del acetato de celulosa ... 14
Fig. 3.4.	Representación química del poliéster 15
Fig. 3.5.	Representación química de una poliamida 15
Fig. 3.6.	Representación química de una fibra acrílica 15
Fig. 4.1.	Gráfica de Kenyeres 22
Fig. 5.1.	Distribución medular del pelo animal 27
Fig. 7.1.	Capilar donde se lleva a cabo la extracción 74
Fig. 7.2.	Cromatoplaca 77
Fig. 7.3.	Procedimiento cromatográfico 77
Fig. 8.1.	Colorante de fibra no extraído 80
Fig. 8.2.	Colorante de fibra extraído 82
Fig. 8.3.	Bandas de separación 83
Fig. 8.4.	Cromatoplaca mostrando una separación inadecuada 83
Fig. 8.5.	Mínima cantidad de fibra para la extracción 85

Fig. 8.6.	Corrimiento de dos fibras teñidas con el mismo colorante	87
Fig. 8.7.	Corrimiento de dos fibras teñidas con diferente colorante	89
Fig. 8.8.	Corrimiento de dos fibras diferentes de color rojo	90
Fig. 8.9.	Corrimiento de dos fibras diferentes de color café	91
Fig. 8.10.	Corrimiento de una fibra manchada con grasa de automóvil vs. una no manchada	93
Fig. 8.11.	Interferencia en las bandas de separación en una muestra manchada con lápiz labial	94
Fig. 8.12.	Observación bajo luz U.V. de la fig. 8.11	94
Fig. 8.13.	Corrimiento de una fibra manchada con hierba vs. una no manchada	95
Fig. 8.14.	Corrimiento de una fibra manchada con lodo vs. una no manchada	96
Fig. 8.15.	Interferencia en las bandas de separación en una muestra manchada con tinta de bolígrafo	97
Fig. 8.16.	Interferencia en las bandas de separación en una muestra manchada con sangre	98
Fig. 8.17.	Corrimiento de una fibra manchada con semen vs. una no manchada	99
Fig. 8.18 a y b.	Comparación de las cromatoplasmas de una muestra manchada con lápiz labial antes y después de un tratamiento de lavado	101
Fig. 8.19.	Fibra manchada con tinta de bolígrafo.....	102
Fig. 8.20.	Lavado de la fibra manchada con tinta de bolígrafo	102
Fig. 8.21 a y b.	Comparación de las cromatoplasmas de una muestra manchada con tinta de bolígrafo antes y después de un tratamiento de lavado	102

Fig. 8.22.	Comparación de las cromatoplasmas de una muestra manchada con sangre antes y después de un tratamiento de lavado	103
Fig. 9.1.	Número de bandas en un corrimiento cromatográfico	105
Fig. 9.2.	Bandas extras en un corrimiento	106
Fig. 9.3.	Distancia entre las bandas	107
Fig. 9.4.	Forma de las bandas	108

VISTA MICROSCOPICA DE LAS FIBRAS.

Fig. 1.	Algodón crudo. Vista longitudinal	123
Fig. 2.	Algodón crudo. Sección transversal	123
Fig. 3.	Algodón mercerizado. Vista longitudinal	123
Fig. 4.	Algodón mercerizado. Sección transversal	123
Fig. 5.	Cáñamo. Vista longitudinal	123
Fig. 6.	Cáñamo. Sección transversal	123
Fig. 7.	Fibra de corteza de coco. Vista longitudinal	124
Fig. 8.	Fibra de corteza de coco. Sección transversal	124
Fig. 9.	Fibras de lana peinada. Vista longitudinal	124
Fig. 10.	Fibras de cinta de lana. Sección transversal	124
Fig. 11.	Lino (fibras elementales). Vista longitudinal	124
Fig. 12.	Lino (manojos). Sección transversal	124
Fig. 13.	Mohair. Vista longitudinal	125
Fig. 14.	Mohair. Sección transversal	125
Fig. 15.	Ramío (fibras elementales). Vista longitudinal	125
Fig. 16.	Ramío. Sección transversal	125
Fig. 17.	Seda cruda. Vista longitudinal	125
Fig. 18.	Seda cruda. Sección transversal	125
Fig. 19.	Seda desengomada. Vista longitudinal	126

Fig. 20.	Seda desengomada. Sección transversal	126
Fig. 21.	Sisal (fibras elementales). Vista longitudinal	126
Fig. 22.	Sisal (manejo). Vista longitudinal	126
Fig. 23.	Sisal. Sección transversal	127
Fig. 24.	Asbesto	127
Fig. 25.	Yute (manojos). Vista longitudinal	127
Fig. 26.	Yute (manojos). Secciones transversales	127
Fig. 27.	Fibra de alginato de calcio. Vista longitudinal	128
Fig. 28.	Fibra de alginato de calcio. Sección trasversal ..	128
Fig. 29.	Acetato secundario de celulosa. Vista longitudinal	128
Fig. 30.	Acetato secundario de celulosa. Sección transversal	128
Fig. 31.	Fibra acrílica (orlón). Vista longitudinal	128
Fig. 32.	Fibra acrílica (orlón). Sección transversal	128
Fig. 33.	Cloruro de polivinilo. Vista longitudinal	129
Fig. 34.	Cloruro de polivinilo. Sección transversal	129
Fig. 35.	Fibra modacrílica (dnyel). Vista longitudinal	129
Fig. 36.	Fibra modacrílica (dnyel). Sección transversal ...	129
Fig. 37.	Poliéster (terylene). Vista longitudinal	129
Fig. 38.	Poliéster (terylene). Sección transversal	129
Fig. 39.	Fibra de proteína regenerada (fibrolane). Vista longitudinal	130
Fig. 40.	Fibra de proteína regenerada (fibrolane). Sección transversal	130
Fig. 41.	Rayón cuproamoniaco. Vista longitudinal	130
Fig. 42.	Rayón cuproamoniaco. Sección transversal	130
Fig. 43.	Rayón viscosa. Vista longitudinal	130
Fig. 44.	Rayón viscosa. Sección transversal	130
Fig. 45.	Triacetato de celulosa (trichel). Vista longitudinal	131

Fig. 46.	Triacetato de celulosa (tricel). Sección transversal	131
Fig. 47.	Poliámida (nylon 6,6). Vista longitudinal	131
Fig. 48.	Poliámida (nylon 6,6). Sección transversal	131
Fig. 49.	Fibra de vidrio	131

INDICE DE TABLAS

	Página
Tabla 5.1.	Sección de las fibras textiles más comunes 36
Tabla 5.2.	Solubilidad de las fibras 39
Tabla 5.3.	Reacciones de coloración de las fibras 41
Tabla 5.4.	Punto de fusión de las fibras más comunes 42
Tabla 5.5.	Densidad específica de las fibras 44
Tabla 5.6.	Aglutinantes más utilizados en la determinación del índice de refracción 47
Tabla 5.7.	Índice de refracción de las fibras 48
Tabla 5.8.	Espectrofotometría en el infrarrojo de fibras artificiales 52
Tabla 7.1.	Métodos de limpieza aplicables a muestras de fibras manchadas antes de llevar a cabo la extracción 72
Tabla 8.1.	Determinación de la cantidad óptima de líquido extractor 84

OBJETIVOS

- 1.-Determinar la importancia de las fibras textiles encontradas como indicios en el lugar de los hechos.
- 2.-Estandarizar un método, de alta eficiencia y bajo costo, que permita la identificación de colorantes empleados en la tinción de fibras textiles, en muestras encontradas como indicios en el lugar de los hechos.
- 3.- Conjuntar toda la información técnica sobre métodos de extracción y separación de colorantes de fibras textiles, a fin de obtener una metodología que permita extraer de las fibras todo tipo de colorantes presentes en éstas, a fin de llevar a cabo una identificación comparativa de las mismas sin afectar química y físicamente la integridad de la fibra, para poder emplearla en análisis complementarios.
- 4.- Realizar una separación completa de los colorantes que tiñen a las fibras textiles, para poder llevar a cabo una comparación con patrones de bandeo conocidos que permitan la identificación de dichos colorantes.
- 5.- Encontrar la mínima cantidad de muestra necesaria para llevar a cabo satisfactoriamente el análisis, es decir, la longitud mínima de fibra textil necesaria para efectuar una adecuada extracción del colorante que permita la obtención de patrones de bandeo claramente observables.
- 6.- Comprobar si las fibras textiles manchadas con sustancias provenientes del lugar de los hechos, pueden ser utilizadas tal y como fueron encontradas para llevar a cabo el análisis comparativo, sin que éste se vea afectado.
- 7.- Comprobar la efectividad de la metodología encontrada, en un sin número de casos concretos.

CAPITULO I

CONCEPTOS GENERALES

1.1. ANTECEDENTES HISTORICOS.

En los inicios de la humanidad, el hombre siempre se vió en la necesidad de cubrir su cuerpo para combatir las inclemencias del medio ambiente del lugar en el que habitaba. Para ésto, el hombre recurrió a todo aquello que la naturaleza le proporcionaba a su alrededor (hojas de vegetales, piel de animales, etc.), razón por la cual las primeras fibras utilizadas fueron las llamadas fibras naturales⁽⁵⁾.

Con el tiempo, desarrolló técnicas que le permitirían aprovechar mejor las pieles y emplear las fibras de origen animal y vegetal de que disponía, ya que conocía el modo más o menos rudimentario de obtener materiales tejidos o hilados, y dominaba en mayor o menor grado la técnica de su teñido mediante el empleo de colorantes naturales de las más diversas procedencias^(5,7).

Entre las primeras civilizaciones que emplearon las fibras naturales encontramos a los habitantes de los lagos circundantes de Suiza (año 10,000 a.C.), éstos utilizaron la linaza para la fabricación de sus prendas. Hacia el año 3,000 a.C. se inició el uso de la lana en Mesopotamia; ya para el año 2,640 a.C. China era conocida por los pueblos y ciudades circundantes como la primera productora de seda, de la misma manera en la India para el año 1,500 a.C. se tuvo el primer indicio de una industria algodonera en el mundo⁽⁴⁾.

A finales del siglo XIX en Inglaterra, a partir del descubrimiento de la polimerización química in vitro (de sustancias de bajo peso molecular), se inventó el proceso de fabricación del rayón viscoso, lo cual marcó una nueva época en la producción de prendas tejidas; pero no fué sino hasta principios del siglo XX cuando los Estados Unidos (en 1910), comenzaron a producir de

manera industrial el rayón, iniciándose así la era de las fibras artificiales o semisintéticas la cual perdura hasta nuestros días^(4,5).

De igual manera, al avanzar la tecnología para el mejoramiento y formación de nuevas fibras, el hombre se procuró por mejorar el aspecto de los colores naturales de las fibras obtenidas de plantas (algodón, lino, etc.) y animales (cuero, lana, etc.), cambiándolas por tonalidades más policrómicas y brillantes, debido a que las naturales además de ser opacas desaparecían con el tiempo⁽³⁾.

No fué sino hasta la época de los egipcios y aparición de los mordietes (las cuales son sustancias como las bases de sales débiles que se aplican a la fibra antes de su tinción o se mezclan con el colorante a fin de que éste se fije de manera indeleble y duradera), cuando se comenzó el uso de colorantes sobre textiles; los primeros colorantes utilizados fueron obtenidos de raíces, hierbas, corteza de árboles, bayas, nueces y líquenes, así como de insectos (cochinilla) y moluscos (como el *Murex brandaris*, etc)⁽³⁾.

Entre los primeros colorantes utilizados tenemos: la alizarina (obtenido de la planta trepadora granza o rubia, tñe de un hermoso color rojo en conjunción con un mordiente aluminico o en púrpura si el mordiente se realiza con sales férricas), índigo o añil, y púrpura de Tiro el cual procedía del jugo amarillento extraído de un molusco llamado múrice. Sin embargo, aunque muchas sustancias de origen animal y vegetal son capaces de teñir en colores brillantes y duraderos, ofrecen el inconveniente de su variabilidad cromática en matiz y calidad, motivo por el que resultaba casi imposible obtener un color típico o una serie de tonos estabilizados⁽³⁾.

La moderna técnica de los colorantes sintéticos se inició hacia mediados del siglo XIX, cuando el químico inglés W. Perkin descubrió accidentalmente la mauveína; a partir de entonces comenzó a desarrollarse ésta importante industria hasta llegar a la producción actual de cientos de matices que en brillo y duración sobrepasan con amplitud a los mejores productos naturales⁽³⁾.

I.2. CONCEPTO DE FIBRA.

Fibra es la unidad fundamental utilizada en la fabricación de hilos y telas, y está caracterizada por ser flexible, fina y de gran longitud.

Desde un punto de vista químico (sin importar su origen), las fibras pertenecen al grupo denominado como altos polímeros, es decir, son productos macromoleculares orgánicos en cuya constitución molecular se repiten con regularidad ciertos principios estructurales genéricos; éstas sustancias son de elevado peso molecular, generalmente del orden de 10^5 D a 10^8 D, y sus macromoléculas lineales están formadas mediante enlaces químicos covalentes, de una o dos unidades moleculares elementales denominadas monómeros, que en elevado número y determinada secuencia se repiten en la cadena macromolecular, constituyendo la molécula fundamental de la macromolécula polímera_(6,7).

La estructura de una fibra está determinada por su constitución química y por su arreglo molecular, así como por las condiciones de crecimiento (en fibras naturales) y de manufactura (artificiales). Los factores químicos y moleculares son los que determinan las propiedades físicas y químicas de una fibra, las cuales se mencionarán más adelante. Los factores de crecimiento y de fabricación, sólo influyen en la estructura histológica de la fibra y en algunas de las propiedades físicas₍₂₎.

I.3. CONCEPTO DE COLORANTE.

Un colorante es una sustancia soluble que se difunde e incorpora a otra a la que se fija de manera estable coloreándola o tiñéndola (a diferencia del pigmento, el cual es insoluble y simplemente se mezcla con la sustancia que se desea teñir). En su estructura se distingue la parte de la molécula que proporciona el color (grupo cromóforo) y la parte de aquella que posibilita su solubilidad y le proporciona al colorante afinidad por la fibra (grupo auxocromo). El grupo cromóforo presenta en su estructura dobles enlaces que permiten absorber rayos de luz de longitud de onda determinada, lo que hace posible la aparición del color₍₁₎.

Entre los principales grupos cromóforos, tenemos: el azo ($-N=N-$), el carbonilo ($-C=O$), el carbimino ($=C=NH$), el carbino ($=C=N-$), el nitro ($-NO_2$), el nitroso ($-N=O$), el etileno ($=C=C=$), el tioctónico ($=C=S$), el p-quinónico y el o-quinónico. Los grupos auxocromos más importantes son: el amino ($-NH_2$), el fenólico ($-OH$), los amino sustituidos ($-NHR$, $-NR_2$), el carboxilo ($-COOH$) y el sulfónico ($-SO_3H$), éstos dos últimos son también llamados grupos salificables (convierten el colorante, generalmente insoluble en agua, a soluble).

Los constituyentes de la molécula que producen una intensificación del color se llaman grupos batocromos, y los que causan un debilitamiento de aquel, se llaman grupos hipsocromos.

Los colorantes pueden ser de origen vegetal (palo de Campeche, índigo natural, entre otros); animal (cochinilla, moluscos como *Murex brandis*, etc); mineral o sintético (colorantes de alquitrán). Estos últimos son los comúnmente empleados hoy en día.

1.3.1. Clasificación de los colorantes.

Básicamente podemos clasificar a los colorantes desde dos puntos de vista; uno de ellos es el teórico, el cual considera esencialmente su constitución química. Esta clasificación agrupa a los colorantes según su parentesco constitucional, es decir, en relación a los grupos auxocromos y cromóforos presentes en su molécula; de acuerdo a esto los podemos dividir en: azóicos, de trifenilmetano, antraquinónicos, indigoides, indigsoles, quinonimínicos, al azufre, ftalocianínicos y otros.

La otra clasificación, desde un punto de vista más práctico, es en el área de tintorería (uno de los puntos fundamentales de éste trabajo). Aquí se clasifican a los colorantes en:

- *Colorantes ácidos*: Son colorantes aniónicos, solubles en agua, que contienen en sus moléculas grupos ácidos como el sulfónico, el carboxilo o el nitro; y que,

por tanto, pueden teñir las fibras con grupos básicos como la lana y la seda (en las cuales se emplea en un 75 %) y en poliamidas, por formación de sales coloreadas. También se emplean en la coloración de fibras animales, al combinarse (en soluciones aciduladas) con proteínas anfóteras de las mismas.

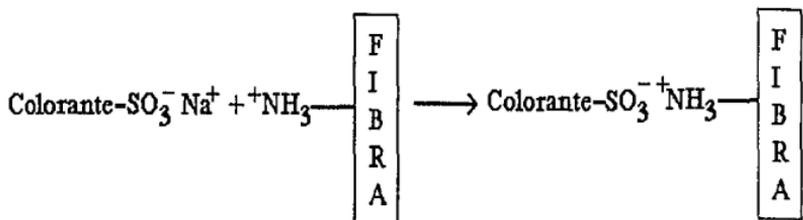


Fig. 1.1. Colorantes Ácidos.

- *Colorantes básicos*: Son colorantes catiónicos, solubles en agua, que contienen en sus moléculas grupos básicos, como el amino, mostrando por ello afinidad con las fibras que poseen grupos ácidos, como la lana, la seda, el algodón, poliacrilonitrilo, cuero y pieles a los que tiñen directamente. Las fibras celulósicas son teñidas solamente por los colorantes básicos tras mordentado previo con sustancias ácidas, como los taninos.

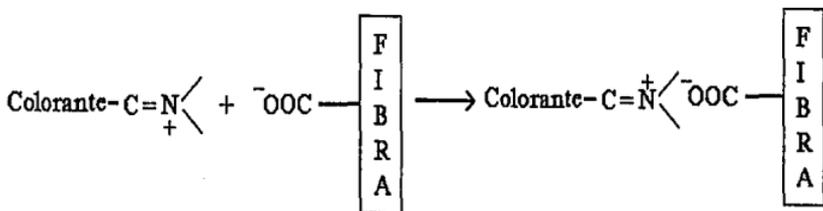


Fig. 1.2. Colorantes Básicos.

- *Colorantes sustantivos*: Tiñen directamente las fibras celulósicas y en parte también las proteínicas. Contienen radicales sulfonio en forma de sal sódica, potásica o amónica. Son solubles en agua, por lo que dan tintes de limitada solidez al lavado. Se emplean también para teñir algodón y lana.

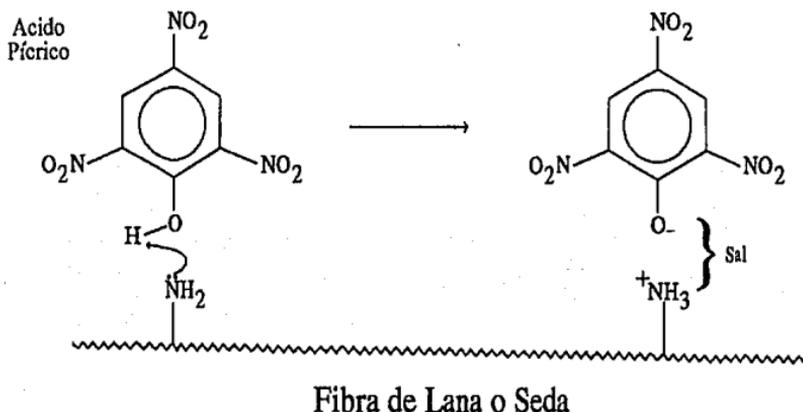


Fig. 1.3. Colorantes Sustantivos.

- *Colorantes sobre fibra*: Son colorantes insolubles en agua que se producen por reacción química sobre la fibra misma a partir de sus componentes solubles incoloros o poco coloreados. Se aplican principalmente sobre el algodón; su solidez es tan extraordinaria, que en la actualidad se están desarrollando sistemas para su aplicación a la lana, seda y acetato de celulosa.

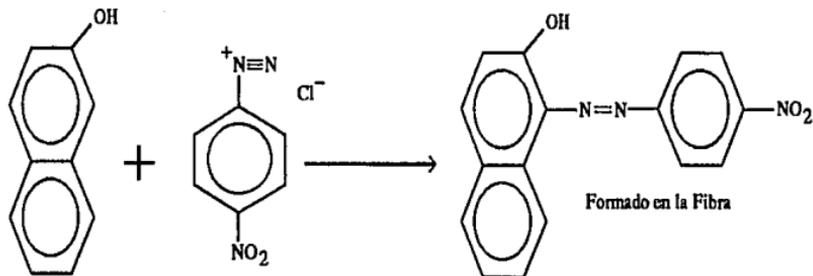


Fig. 1.4. Colorantes sobre Fibra.

- *Colorantes a la tina*: Son insolubles en medio acuoso, pero por reducción se les transforma en la sal soluble, la llamada "tina", con la cual se impregna la fibra, y al exponer ésta al aire o bien por la acción de un agente oxidante, tiene lugar la reoxidación del colorante sobre la fibra a su forma inicial insoluble, sólida al lavado. Se usan principalmente para el teñido de fibras celulósicas, ya que la fuerte alcalinidad de sus tinas, excluyen su empleo para teñir lana.

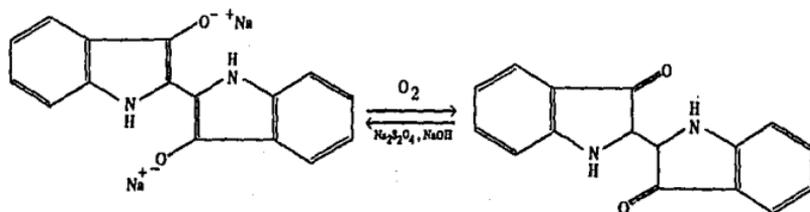


Fig. 1.5. Colorantes a la Tina.

- *Colorantes de complejo metálico*: Estos colorantes tienen la propiedad de formar con disoluciones de sales metálicas complejos insolubles. La formación del quelato puede tener también lugar en la fibra misma. Se emplean para teñir lana, pero la abundante cantidad de ácido sulfúrico que se precisa para realizar la tintura es el principal inconveniente de su utilización.

- *Colorantes sobre mordiente*: Se aplica principalmente a la lana. La fijación sobre la fibra tiene lugar por formación de una laca insoluble entre el colorante y la fibra previamente mordentada; como mordiente se emplean sales de bases débiles que en disolución acuosa están hidrolizadas, o bien metales como el cromo, hierro o aluminio. Son capaces de teñir cualquier tipo de fibra: lana, seda, algodón, viscosa, etc. Si no se ha tratado previamente la fibra con un mordiente (empleando ya sea una sal o metales), éstos colorantes no teñirán la fibra en absoluto.

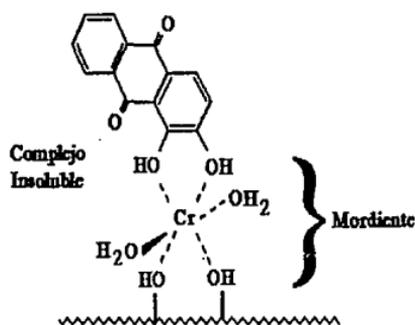


Fig. 1.6. Colorantes sobre Mordiente.

- *Colorantes de pigmentación*: Son sustancias insolubles que por no presentar afinidad con las fibras requieren para su fijación el empleo de aglutinantes o sustancias adhesivas. En las fibras sintéticas pueden también incorporarse directamente en la masa plástica de hilar.

- *Colorantes de dispersión*: Son sustancias poco solubles en agua, pero solubles en solventes orgánicos, que sirven para teñir fibras artificiales y sintéticas a partir de sus suspensiones acuosas finamente divididas. La fibra extrae el colorante de la dispersión acuosa, formando una disolución sólida. Se emplean principalmente para teñir acetato de celulosa, nylon, poliéster y fibras de poliacrilamida.

- *Colorantes reactivos*: Estos colorantes poseen en su molécula un grupo reactivo mediante el cual se unen a la fibra con un enlace químico. Así por ejemplo, en las fibras de celulosa (en las que se emplea principalmente) se fijan por esterificación o eterificación.

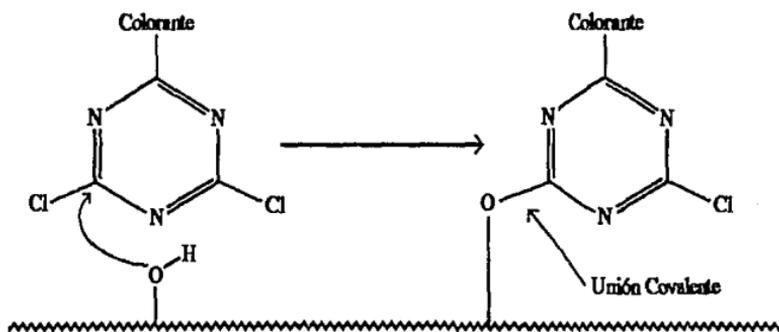


Fig. 1.7. Colorantes Reactivos.

CAPITULO II

ORIGEN Y TIPOS DE FIBRAS

II.1. ORIGEN DE LAS FIBRAS.

El origen de las fibras puede dividirse en cinco grandes grupos:

a) **Origen animal:** Proviene de la piel de los animales (específicamente el pelo, que tiene una longitud limitada), o de los productos de secreción glandular, como la seda (de gusanos o moluscos).

Las fibras obtenidas son largas, continuas, brillantes y muestran una superficie externa regular, con fisuras transversales y pliegues.

b) **Origen vegetal:** Procedentes de los pelos vegetales de las semillas, fibras de los tallos, hojas, raíces y en ocasiones de los frutos de plantas (tanto monocotiledóneas como dicotiledóneas).

c) **Origen mineral:** En esta categoría estarían las de asbesto y metálicas, pero por lo general estas fibras no se emplean solas, sino en combinación con otras clases.

d) **Origen semisintético:** Son aquellas en las que la materia prima preexiste en la naturaleza y el hombre sólo le ha conferido la configuración fibrilar por medio de procesos químicos.

e) **Origen sintético:** Son aquellas en las que la materia prima son polímeros, los cuales, como tales, no existen en la naturaleza, y por tanto son obtenidos mediante complejos procesos de síntesis química.

II.2. TIPOS DE FIBRAS.

Existen principalmente dos tipos de fibras:

a) Discontinuas: Son aquellas que presentan una longitud determinada por las condiciones normales de crecimiento a las que han sido sometidas; ésta longitud puede variar entre 0.5 y 25 cm.

b) Filamentosas: En éste punto podemos englobar a todas las fibras artificiales, queriendo indicar que su longitud es prácticamente ilimitada, ya que depende tan sólo de las condiciones de fabricación empleadas. La seda es la única fibra natural que pertenece a éste grupo.

Las fibras filamentosas pueden cortarse hasta que presenten un tamaño similar al de las discontinuas; en éste estado se le denominan fibras cortadas.

Las fibras filamentosas pueden dividirse a su vez en multifilamentosas o monofilamentosas, de acuerdo al número de filamentos que las compongan.

CAPITULO III

CLASIFICACION DE LAS FIBRAS.

Las fibras pueden clasificarse por su origen en dos grandes grupos: las naturales y las artificiales; las primeras básicamente son aquellas que provienen de fuentes naturales renovables, mientras que las artificiales, son las que se producen por combinación con fibras naturales, modificación de características de sustancias que en su estado natural no presentan rasgos filiformes o por síntesis de compuestos químicos.

I.- NATURALES:

A) Origen animal:

- a) Lana: Regular o merina, mezclas con pelos finos (cachemira, mohair).
- b) Secresiones glandulares: Seda de moluscos o gusanos.
- c) Pelo: Camello, llama, alpaca, vicuña, pelo de conejo y liebre, marta, zorro común, angora, mink.

B) Origen vegetal:

- a) Semillas: Algodón, algodón de ceiba, capoc.
- b) Hojas, tallos y raíces: Sisal; cáñamo, yute, lino, ramlo, abaca, henequén, ixtle; raíces de plátano.
- c) Fruto: Coco.

C) Origen mineral: Asbesto, amiantos.

II.- ARTIFICIALES:

A) Semisintéticos:

- a) Inorgánicas: Vidrio, cerámica, metálicas, carbón, alúmina, etc.
- b) Regeneradas:

- b.1) Derivados de celulosa:
 - b.1.1) Rayones: Viscosa, cuproamónio, seda Chardonet o artícela.
 - b.1.2) Esteres:
 - b.1.2.1) Acetato: Dixel.
 - b.1.2.2) Triacetato: Arnel, trixel.
 - b.1.3) Otros: Carboximetilcelulosa.
- b.2) Proteínicas:
 - b.2.1) Derivados de caseína: Lanital, fibrolane, aralac, caslen.
 - b.2.2) Derivados de prolamina (maíz o semilla de soya): Vicara, azlón.
 - b.2.3) Derivados del cacahuete: Ardil.
- c) Miceláneas: Hule y alginato de calcio.

B) Sintéticas:

- a) De poliésteres: Dacrón, terlenka, tergal, fortrel, terylene, vycrón, kodel.
- b) Olefínicas:
 - b.1) Derivados de polipropileno: DPL, meraklón, merkalón, herculón, plana.
 - b.2) Derivados de polietileno: Courlene.
- c) Polimetánicas: Likra, spándex, vyrene.
- d) Derivados del etileno:
 - d.1) Vinilos: Sarán, vinyón, vectra.
 - d.2) Acetonitrilos:
 - d.2.1) Acrílicos: Acrilán, orlón.
 - d.2.1) Modacrílicos: Dynel, verel.
- e) Poliamidas: Nylon 6 (celón, perlón L), nylon 6,6 (Bri-nylon, perlón T), nylon 11 (rilsán), cantrece.

A continuación se muestran las fórmulas químicas desarrolladas de algunas de las fibras más comunes:

Algodón (Celulosa):

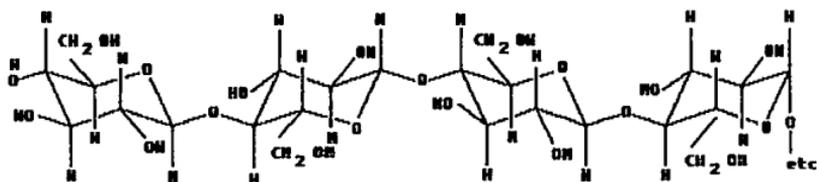


Fig. 3.1. Representación química de la celulosa.

Lana (Polipéptido):

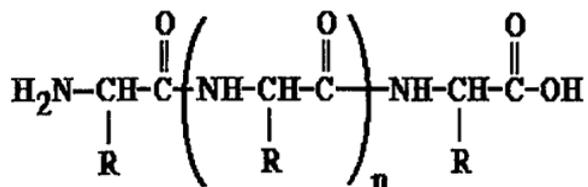


Fig. 3.2. Representación química de un polipéptido.

Acetato (Acetato de Celulosa):

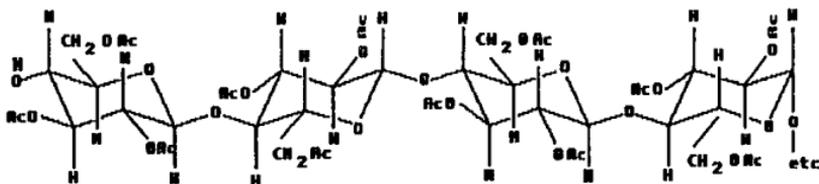


Fig. 3.3. Representación química del acetato de celulosa.

Dacrón (Poliéster):

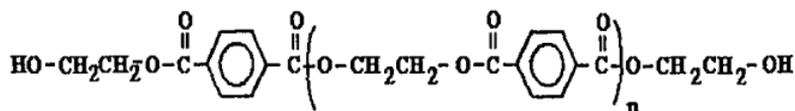


Fig. 3.4. Representación química del poliéster.

Nylon (Poliámid):

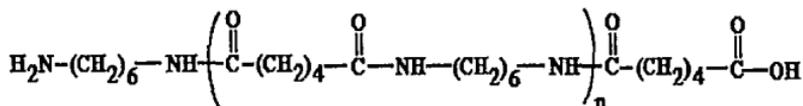


Fig. 3.5. Representación química de una poliámid.

Orlón (Acrilica):

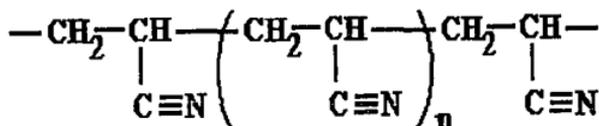


Fig. 3.6. Representación química de una fibra acrílica.

CAPITULO IV

IMPORTANCIA DE LA IDENTIFICACION DE LAS FIBRAS EN LA QUIMICA LEGAL.

IV.1. ANTECEDENTES HISTORICOS.

El valor de las fibras como indicio en casos delictivos es de suma trascendencia. Dicha importancia se remonta al año de 1908 cuando el químico George Popp encontró la presencia de fibras de algodón en el barro de la suela de un sospechoso y posteriormente, llevar a cabo una comparación con fibras encontradas en la occisa.

Para el año de 1950, el Dr. Max Frei-Sulzer desarrolló diversas técnicas de microscopía para el estudio de fibras. Otro de los investigadores notables en el estudio de fibras fué Paul L. Kirk de la escuela de criminalología de Berkeley, Cal.; quien puso de manifiesto la facilidad de transferencia de los elementos filiformes en las prendas de un lugar a otro. En Canadá el contable A. K. Bergh del laboratorio de la Real Policía Montada fué el precursor de las investigaciones de las fibras artificiales.

La pericia y sagacidad de éstos y muchos otros investigadores, han logrado que hoy en día sea posible llevar a cabo una investigación criminalística completa de un supuesto delincuente, e incluso, yendo más lejos aún, ha servido para la determinación de suicidios. Cabe recordar un caso en el que se encontró una víctima ahorcada supuestamente asesinada, pero después de un minucioso análisis de las manos del cadáver, se descubrieron restos de la cuerda con la que fué suspendido; ello apoyó la hipótesis de que no fué asesinato sino suicidio.

IV.2. IMPORTANCIA DE LAS FIBRAS COMO INDICIO.

Actualmente las fibras tienen un papel fundamental como indicio, debido a que constantemente estamos en contacto con ellas, ya que en todos los sitios que un individuo frecuenta, se encuentra una gran cantidad de fibras, por ejemplo: en la ropa con la que se viste él y las personas que lo rodean, zapatos, alfombras, tapices, pelucas, cordones, etc., en fin, una gran cantidad de fibras que en lo único en que se diferencian es en su origen.

Cuando un individuo entra en contacto con éstos elementos, existe una muy alta probabilidad de que se le adhieran debido a sus características de contacto y frotamiento, dando por resultado fibras extrañas presentes en cualquiera de las prendas del individuo, razón por la cual al llevarse a cabo un análisis criminalístico completo de ella, podemos, en un momento dado, inculpar a dicho individuo.

Una fibra o series de fibras para que sean consideradas como evidencia deben tener por lo menos tres características semejantes indispensables al compararse con el material encontrado en el cuerpo, ropa, zapatos, en el automovil ó en el hogar del sospechoso; éstas características son: el material, el color, es decir, teñidas por el mismo colorante y características morfológicas iguales al ser vistas bajo el microscópio.

Las fibras, dependiendo de su origen, tienen menor o mayor capacidad de ser adheridas a otras superficies, así por ejemplo, las fibras naturales, ofrecen menor resistencia al contacto que las artificiales, lo cual facilita su desprendimiento y transferencia desde un punto de vista golpe-contacto.

No debemos olvidar que cuando se transfiere una fibra existe la posibilidad de que ésta se quede o no adherida permanentemente. En el caso de las fibras artificiales, las cuales se encuentran cargadas electrostáticamente, existe una mayor probabilidad de que permanezcan por más tiempo adheridas que las naturales, debido a la presencia de dichas cargas; sin embargo algunas fibras naturales pueden quedar también adheridas por las características de su

estructura superficial (cutícula con presencia de espículas). De ello se deduce que la ausencia de fibras de cierta procedencia no necesariamente significa falta de contacto.

Otro aspecto valioso que tienen las fibras como indicio es la gran variedad de sustancias constituyentes y de colores disponibles en la actualidad; ésto les confiere a las fibras cierta característica de individualidad, de tal manera, que el valor de ésta como evidencia radica, por lo tanto, en su composición, hechura y longitud. En el caso de que se tenga la suerte de contar con un trozo de tela, se puede determinar, incluso al fabricante, dependiendo de que el trozo presente borde o no.

El hecho de que las fibras posean un tamaño muy pequeño, en algunas circunstancias ocasionan que pasen desapercibidas para el ojo no entrenado, por ejemplo delincuentes cuidadosos generalmente limpian todo rastro de evidencia que los pueda implicar (huellas digitales, restos de lápiz labial, colillas de cigarro, pisadas, sangre propia, etc.), sin embargo las fibras textiles al ser tan pequeñas, existe una alta probabilidad de que no sean retiradas y por tanto, un ojo entrenado (peritos especializados) puedan hallarlas como evidencia.

En los diferentes lugares del mundo, existe una gran diversidad de prendas de vestir dependiendo de las condiciones geográficas y climatológicas que en un determinado lugar imperen; además, el nivel socioeconómico y la zona habitacional influyen en la calidad de las fibras que constituyen a la ropa. Por lo consiguiente, los métodos que se emplean en la identificación de fibras tomarán en cuenta las más comunes del lugar (zona geográfica y habitacional) en el cual se lleve a cabo la investigación, considerando que existe la posibilidad de encontrar fibras no comunes procedentes de otros lugares, y que por tanto también deben ser estimadas dentro de la marcha de investigación.

Para llevar a cabo una buena identificación de una fibra, es necesario realizar un estudio comparativo, entre una fibra problema (encontrada en el lugar de los hechos), y una fibra proveniente del sospechoso, através de diferentes

metodologías basadas en sus propiedades, tanto físicas como químicas, dentro de éstas últimas se incluye el análisis del colorante con que está teñida. Por lo tanto, mediante un examen sistemático de las fibras, podemos efectuar, en un gran número de ocasiones, 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.

Así como existen fibras de un gran valor como indicio, existen otras que por ser tan comunes y corrientes, además de encontrarse en gran cantidad, no pueden ser consideradas esencialmente como evidencia, tal es el caso del algodón blanco y la lana blanca. Por otro lado, también se debe tomar en cuenta que existen fibras que pueden depositarse en la ropa de individuos no necesariamente por contacto y frotamiento, ya que en un ambiente en donde se encuentren fibras en el aire, éstas tenderán a adherirse, y no por eso representan ser una evidencia. Por consiguiente para que una fibra pueda ser considerada como evidencia, ésta deberá ser ajena y poco común al sitio donde fué encontrada.

Antiguamente se utilizaba como criterio de identificación (para reconocer el sexo de la persona de la que provenía la fibra) el color de la misma, ya que se acostumbraba que los varones se vistieran con colores oscuros (conservadores) en tanto que las damas acostumbraban los colores claros, brillantes y llamativos; pero en nuestros días ésto es inusual ya que tanto hombres como mujeres utilizan indistintamente los colores claros u oscuros. Esto mismo se aplica también con el tipo de material con el que se fabrica la prenda.

Es muy importante que el investigador criminalista se encuentre actualizado en la producción de nuevas fibras del sitio en el cual desempeña sus actividades, y de ésta manera modifique las técnicas que utiliza, de tal modo que éstas nuevas fibras sean consideradas en las marchas de investigación.

IV.3. EL LUGAR DE LOS HECHOS.

La labor más importante de un químico legista, es llevada a cabo en el lugar de los hechos. El éxito de una investigación radica en una correcta búsqueda, selección, recolección y empaque de la muestra, así como también de un buen análisis, y en gran parte del interés por parte el investigador en aquellas ocasiones en que se le dificulte encontrar indicios; además debe estar consciente de que no va a tener una segunda oportunidad de llevar a cabo el análisis de la muestra, debido a la mínima cantidad que de ella existe y que pueda ser utilizada como indicio en el lugar de los hechos.

Por lo anterior, es necesario mantener el lugar de los hechos completamente aislado y protegido de curiosos o gente ajena al lugar, de tal manera, que la acción de éstos pueda en un momento dado, modificarlo impidiendo realizar un trabajo adecuado. Todos los objetos que puedan emplearse para la búsqueda de pistas deberán de manipularse con el máximo cuidado, nunca deberá moverse un objeto (directamente relacionado con el hecho) so pretexto de protegerlo sin antes haber realizado las investigaciones parciales previas (en presencia del ministerio público o de un representante).

Cuando al lugar de los hechos arriban primeros los policías, éstos no deberán tocar absolutamente nada, y en caso de hacerlo, comunicarlo inmediatamente al llegar el perito encargado de llevar a cabo la investigación previa.

En el caso de que el delito se lleve a cabo en un lugar cerrado, éste deberá ser aislado por completo; por otra parte, si el hecho se lleva a cabo en la vía pública se deberá aislar inmediatamente evitando el contacto directo con aire, agua, polvo y curiosos. En aquellos lugares oscuros y que carezcan de energía eléctrica, la inspección deberá llevarse a cabo con lámpara eléctrica de bolsillo y nunca con una vela o similar, ya que en un momento dado ésta puede escurrir cera y manchar la evidencia; aún en los lugares en los que exista iluminación suficiente, es recomendable el empleo de una lámpara de bolsillo para la investigación de superficies lisas, ya que la luz oblicua resalta indicios en la superficie (huellas digitales, pelos fibras, etc.)

Una vez protegidas todas las muestras, es conveniente determinar la extensión del área a investigar, para posteriormente registrarla fotográficamente; ésta última se lleva a cabo en varios pasos: primeramente se realiza una "fotografía general" del área, cuyo número varía dependiendo de la extensión del lugar, y posteriormente se van tomando fotografías de puntos clave hasta obtener la imagen de un objeto que presente alguna evidencia e incluso de la misma evidencia (huellas, fibras en algún sitio determinado, trazas hemáticas, pelos, orificio de bala, herida por arma punzocortante, etc.), a la cual se le denomina fotograma; éstas minúsculas pruebas materiales, orgánicas e inorgánicas reproducidas y ampliadas proporcionan el medio de prueba técnico más abrumador y decisivo.

Sin embargo, éste tipo de fotografía, en un momento dado, no proporciona con exactitud la posición y dimensiones reales de los objetos; para esto es utilizada la fotografía de Bertillon, la cual permite señalar o determinar fácilmente las dimensiones de un objeto o de una herida, así como establecer un plano geométrico exacto de los lugares.

Para llevar a cabo una veraz fijación del lugar de los hechos, es necesario realizar una descripción escrita del mismo, en la cual se narre detalladamente objetos, posición de los mismos, presencia de colillas de cigarrillos, marcas de vasos, etc., así como todo aquello que se considere importante para tener una amplia visión del aspecto del lugar.

Por otro lado, es importante apoyarnos en la planimetría y dibujo forense; mediante ésta técnica se dibuja un plano con medidas aproximadas de todo el lugar de los hechos, plasmando todo el mobiliario, objetos presentes (cosas ajenas al mobiliario, como ropa, utensilios, pistolas, cadáveres, etc.), y lo más importante, su posición.

El método de planimetría más utilizado es el de Kenyeres, en el cual se abren las paredes y se levanta el techo, como se muestra en la siguiente figura:

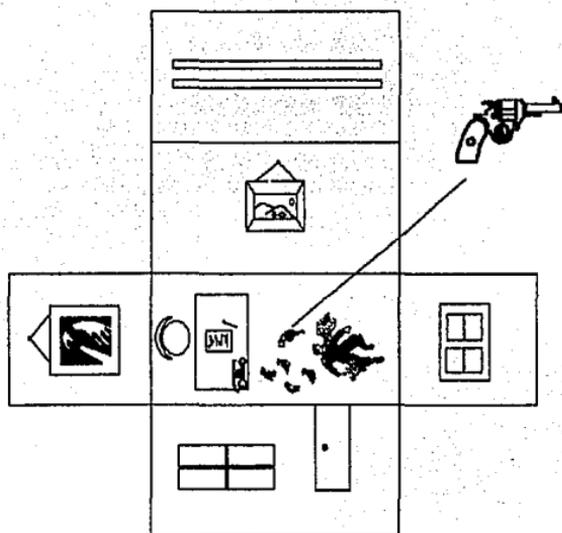


Fig. 4.1. Gráfica de Kenyeres.

Otra metodología que se aplica para la fijación del lugar de los hechos, es el moldeado, éste consiste en la realización de maquetas en la que se plasma una copia fiel del lugar.

IV.4. LA RECOLECCION DE LA EVIDENCIA.

La transferencia de fibras, se lleva a cabo generalmente cuando existe un contacto y frotamiento, éstos pueden ser con otra persona, o bien con algún objeto que se encuentre en el lugar de los hechos. El primer caso se efectúa cuando existe forcejeo, en el cual puede haber arañazos, desgarramiento de la prenda, etc.; el segundo puede ocurrir de múltiples maneras, tales como desgarre de la ropa del individuo provocado por algún filo presente (alambres,

bordes metálicos, roces con astillas de madera, etc.), contacto con muebles, alfombras, cortinas entre otros.

Estas fibras ajenas al lugar en el que se encuentran, son consideradas como evidencia potencial; ésta potencialidad radicará en el buen manejo que de ella se tenga, es decir, su correcta recolección y los cuidados que se tomen posteriormente para asegurar su integridad por parte de los peritos que realizan la investigación. Si se tomaron en cuenta todas las consideraciones anteriores, entonces es posible estimarlas como evidencia ante la corte.

Se debe de tomar en cuenta que las fibras encontradas como indicio, serán sometidas a un análisis físico y químico, los cuales destruirán parte de la muestra, por lo que se debe, en lo posible, recolectar la mayor cantidad de evidencia, con el fin de proporcionar el material suficiente al químico investigador para llevar a cabo un análisis completo de ella. Si la muestra se toma con pinzas, se debe verificar que ninguna se haya quedado adherida a las mismas, y que todas las fibras se hayan dispuesto en el lugar adecuado y separadamente evitando, de ésta manera su alteración (arrugamiento, fragmentación, decoloración, etc.).

Todas las muestras recolectadas, deberán ser marcadas de inmediato, tomando en cuenta que éstas no deben de alterarse al llevar a cabo éste proceso. En el caso de las fibras, por ser muestras sumamente pequeñas y no poder marcarse directamente, será necesario almacenarlas por separado en bolsitas o cajitas de píldoras que deberán estar perfectamente bien selladas (de tal manera que éste sello tenga que romperse al ser abierto), y marcadas con una etiqueta la cual deberá contener toda la información necesaria de la muestra (que conteste las siguientes preguntas: ¿qué?, ¿donde?, ¿quién? y ¿en qué condiciones?), así como un código que no deberán ser ni letras ni iniciales sino un número de serie consecutivo de un orden preestablecido (número de caso o inventario). Este proceso es muy importante, debido a que los juicios criminalísticos se llevan a cabo muchos meses después de haber sido recolectada la muestra, por lo que un investigador que tomó adecuadamente los datos y los anotó en su libreta, recordará dicha información en el momento que lo citen a declarar.

Un aspecto que no se debe olvidar, es el de mantener una continuidad de posesión de la evidencia, ésto quiere decir, que se deberá registrar ampliamente todas y cada una de las personas que hayan tenido en su poder la muestra, para que si en un momento dado la corte preguntase sobre el proceso de su investigación, se pueda responder quién, cuando, donde, en qué hora tuvo posesión de la muestra y qué le realizó, evitándose así que la integridad de la muestra se ponga en duda, y por tanto, se pierda la admisibilidad de la evidencia en la corte.

IV.5. LUGARES EN DONDE BUSCAR FIBRAS.

Los crímenes más comunes en los cuales es más factible encontrar restos de fibras, son aquellos en los que se lleva a cabo un proceso de violencia, como asaltos, homicidios, secuestros, violaciones, etc., es decir, en todos aquellos que involucren un contacto personal. En éstos casos podemos encontrar fibras en las ropas tanto del delincuente como de la víctima, de igual manera en sus manos (las cuales se tornan principales sitios de búsqueda en los casos de violación y crímenes sexuales), o en el arma empleada por el delincuente, en la cual suelen adherirse fibras procedentes de la víctima.

En aquellas situaciones en las que existan manchas de sangre, es muy factible encontrar restos de fibras en ellas, debido a la facilidad que tienen éstas de pegarse a la sangre; por otro lado, todas las sustancias pegajosas como son el aceite, la grasa de automóviles, secreciones, sustancias melosas entre otras, tienen la capacidad de adherir fibras, pelos y polvo, por lo que éstas manchas son las que tienen mayor prioridad.

También es posible encontrar fibras depósitadas en puertas, ventanas, paredes, cortinas, sillones, camas, sábanas, encerados de baño y en el piso del lugar de los hechos; éstas fibras, como se mencionó anteriormente, deberán tomarse con suma precaución, almacenándolas por separado y marcando el sitio de donde fueron tomadas.

Ahora bien, el hecho de que se encuentre una fibra ajena en una prenda o mueble, no indica necesariamente que existió contacto, ya que según Burd y Kirk deben de existir por lo menos cinco fibras para que se pueda afirmar que hubo un contacto. Esta aseveración puede ser aplicada aún en nuestros días, pero no debemos olvidar que actualmente las prendas desprenden menos fibras, debido al mayor empleo de fibras artificiales. Existen ciertos aspectos que deben tomarse en cuenta, pues éstos pueden alterar los resultados, tales como las prendas en un guardarropa, contactos casuales con otras prendas, o bien, el contacto que tuvieron las prendas con otras telas al ser fabricadas.

Para realizar la toma de muestra cuando de ropa y telas se trata, se utilizará un filtro de succión, o bien un cepillo, de ésta manera obtendremos una gran cantidad de fibras iguales (provenientes de la tela) y otras en menor cantidad que podrán ser distinguidas fácilmente. Uno de los métodos más indicados es el empleo de una pequeña aspiradora con un filtro especial, por medio de la cual podemos obtener una gran cantidad de fibras de variadas superficies, pero su mayor limitación es la carencia de selectividad; por ésta razón un colector de evidencia astuto, en la mayoría de los casos utiliza unas pinzas. Otros investigadores prefieren la utilización de cinta adhesiva transparente (cinta Scotch), con éste método la recolección es muy eficiente y muy precisa, pues se pueden trabajar áreas perfectamente definidas; sin embargo éste metodo tiene ciertas desventajas: el adhesivo es difícil de remover de los materiales fibrosos y si éste no es removido, muchos exámenes son imprácticos.

Una vez llevada a cabo toda la labor de búsqueda, recolección y embalaje correcto de éstos indicios, deberán de ser trasladados lo más rápidamente posible al laboratorio de criminalística a fin de que a través de un análisis exhaustivo de los mismos puedan determinarse si dicho indicio es en realidad una evidencia.

METODOS DE IDENTIFICACION DE FIBRAS.

Como ya se mencionó anteriormente, la importancia de las fibras radica principalmente en su tamaño e individualidad, ésta última está basada en las propiedades fisicoquímicas de cada una de ellas, las cuales están dadas primordialmente por su origen.

V.1. PROPIEDADES FISICOQUIMICAS DE LAS FIBRAS.

Entre las propiedades fisicoquímicas más importantes de una fibra se encuentran:

A) Estructura: Todas las fibras están caracterizadas por diversos acomodamientos de sus macromoléculas a nivel microscópico dependiendo de su clase, por ejemplo tenemos que las fibras naturales están caracterizadas por un crecimiento histológico dirigido, mientras que las semisintéticas se caracterizan por una deformación hidrodinámica y por último las sintéticas por un estirado y tensión al cual han sido sometidas durante su fabricación. Este carácter propio influye directamente en la estructura microscópica, dando ciertos aspectos superficiales muy marcados que las diferencian de otras clases, entre éstos podemos encontrar la existencia simultánea de zonas amorfas (constituídas por cadenas moleculares de bajo grado de ordenación) y cristalinas (formadas por agrupación paralela de macromoléculas lineales), huecos y poros intermicelares, gran superficie interna entre otros. En el caso de que una fibra tenga exceso de estructuras cristalinas, hace a la fibra rígida y quebradiza.

La estructura física de una fibra incluye longitud, diámetro, superficie, ondulación y forma. Estas propiedades ayudan a determinar la rugosidad, suavidad y resistencia de una tela.

En las fibras naturales animales (pelo), se puede observar un canal medular el cual está constituido por células poliédricas dispuestas en una o dos filas con granulaciones gruesas y heterogéneas que constituyen la sustancia medular, el canal medular se caracteriza por ser casi tan ancho como el pelo y puede presentar diferente distribución medular; además de presentar en su superficie espículas dispuestas separadamente entre sí.

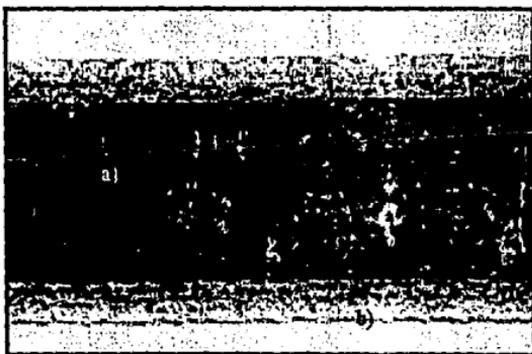


Fig. 5.1. Diferente distribución medular, lo que sugiere pelo animal. En él se observan claramente: a) canal medular y b) superficie con espículas separadas entre sí.

La superficie de las fibras artificiales son más o menos lisas y brillantes que las naturales.

B) Torsión: En el caso de la fabricación de una prenda, generalmente está compuesta por hilos, y éstos a su vez por fibras. Estas fibras, se encuentran unidas entre si mediante lo que comúnmente se denomina patrón de torcido. La torsión depende de las propiedades friccionales de las fibras individuales; así, las fibras con una superficie rugosa necesitarán menor torsión (caso de la lana). Las fibras filamentosas, aunque presentan una superficie muy suave no requieren de una elevada torsión para darles cohesión a causa de su gran longitud. Un hilo fino precisa mayor torsión que uno grueso, ya que éste tiene un mayor número de fibras en su diámetro.

C) Color: El color que presenta una fibra puede ser de dos tipos: natural y tinción artificial. Generalmente las fibras naturales animales (pelo), debido a sus colores característicos (blanco, gris, negro, café o rojizo), en la mayoría de las ocasiones se utilizan sin teñir; aunque en ciertas ocasiones se pueden encontrar teñidas artificialmente. Las fibras artificiales al igual que las fibras naturales provenientes de plantas, en la mayoría de los casos se encuentran teñidas, teniéndose colores más brillantes que las de origen animal, en ocasiones ciertas fibras, como el algodón la lana blanca se encuentran sin teñir.

D) Densidad específica: Se define como densidad específica a la masa de un cuerpo contenido en un determinado volumen. En la mayoría de los casos, ésta disminuye al aumentar la temperatura. Generalmente la densidad de las fibras es superior a la del agua (1 g/ml), sin embargo existe una fibra cuya densidad es menor: la del polipropileno (0.91 g/ml); mientras que la de mayor densidad es la de la fibra de vidrio (2.4 g/ml). La densidad específica es una propiedad que además de ayudarnos a la identificación de una fibra, nos ayuda a saber el grado de pureza de la misma.

E) pH: El pH se define como el logaritmo inverso de la concentración de iones hidrógenos contenidos en una disolución. A través de la determinación del pH podemos saber el nivel de acidez o basicidad de una determinada fibra.

F) Solubilidad: Mediante los ensayos de solubilidad en diversos medios orgánicos e inorgánicos, puede efectuarse una separación e identificación aproximada de tejidos simples o mezclas de fibras. Por la solubilidad en medios básicos y en ácidos inorgánicos puede lograrse especialmente una separación de las fibras por grupos. Al llevar a cabo una disolución, se lleva a cabo una degradación, y el producto final en la solución no es el polímero en sí, sino los productos de degradación de éste. Una disolución sin degradación es muy difícil de obtener en las fibras naturales; en la mayoría de los casos el acetato, rayón y fibras sintéticas son solubles en muchos solventes de naturaleza orgánica sin llevar a cabo descomposición. La aplicación racional de las distintas solubilidades en diferentes medios, permite

la separación y caracterización aproximada de las fibras componentes de un material textil.

G) Características térmicas: Todas las fibras al ser sometidas a una fuente intensa de calor, presentan un comportamiento muy específico. Además del punto de fusión, que como sabemos es propio de cada fibra, al ser puesta en contacto directamente con la flama, la fibra arderá de manera característica, dando un color específico a la flama, desarrollando o no humo, y en algunos casos olor: todo lo anterior dependerá del origen de la fibra.

H) Resistencia química: La reactividad química de cada fibra depende del arreglo de los elementos moleculares así como también de los grupos reactivos que contenga. Los solventes, jabón, detergentes sintéticos, blanqueadores, rayos solares y gas atmosférico pueden causar degradación en algunas de las fibras.

Existen otras características fisicoquímicas de las fibras que no son importantes para el desarrollo de técnicas de análisis criminalístico, como son:

I) Resistencia: La resistencia de una fibra es una propiedad que depende esencialmente de la estructura en las regiones amorfas. La resistencia mecánica a la rotura, es un dato característico de una fibra, la medida de ésta propiedad se puede expresar como tenacidad y representa los granos por *denier* que provocan una rotura, o bien los kilómetros de hilo cuyo peso hace que una fibra se rompa. El *denier* es el sistema de numeración de hilos de seda y filamentos sintéticos que representa el peso de 9.000 m de un hilo o filamento; se usa como sistema de numeración estándar para filamentos de seda, rayón, acetato de celulosa, nylon y otras fibras artificiales. Un hilo es tanto más fino cuanto menos deniers tenga. Atendiendo a la tenacidad, el orden decreciente de ésta propiedad en una serie de fibras es la siguiente: fibra de vidrio, ramlo, nylon, terylene, seda, lino, algodón, yute, vinyón, rayón viscosa, rayón acetato y lana.

El alargamiento a la rotura es la longitud máxima que puede alargarse una fibra antes de que se rompa; se expresa en tanto por ciento de la longitud

inicial. Lo ideal es que una fibra tenga una gran resistencia, junto con un elevado alargamiento.

2) Elasticidad: La elasticidad de una fibra es su capacidad de recuperar inmediatamente su forma después de una deformación. El grado de elasticidad de una fibra, depende de la naturaleza de las fuerzas intermoleculares (fuerzas de Van der Waals y puentes de hidrógeno o azufre) y de la conformación espacial de las macromoléculas en el contexto fibroso, por otro lado, el comportamiento elástico de las fibras textiles es influido por su contenido de humedad con excepción de aquellas fibras sintéticas que no absorben apenas agua o vapor de agua.

La fibra más satisfactoria para fines textiles, será la que no se deforme mucho con cargas pequeñas, de manera que durante su bobinado no se alargue de modo apreciable.

3) Resiliencia: Es la habilidad de una fibra o tela, de recuperar su tamaño en un periodo determinado de tiempo después de haber sido sometida a una deformación por compactación, estiramiento, etc.

4) Plasticidad: Las fibras sintéticas y las de rayón acetato se consideran como fibras plásticas, es decir, se ablandan a elevadas temperaturas. Las fibras proteínicas no son plásticas, aunque, en determinadas condiciones, presentan ciertas propiedades de plasticidad; por ejemplo, cuando la lana se humedece y se somete a presión, puede adoptar cierta forma, en especial cuando se somete conjuntamente a la acción del calor.

5) Propiedades eléctricas: En general, las fibras no son buenas conductoras de electricidad. Algunas de ellas son muy buenos aislantes, pero tienen tendencia a originar electricidad estática al someterlas a frotamiento, circunstancia que origina gran número de problemas en su fabricación. Las fibras sintéticas y la seda constituyen un ejemplo de esto último.

6) Absorbencia: Es la capacidad de una fibra para mantener cierta humedad, se expresa en porcentaje de humedad referida a peso seco y recibe el nombre

de *reprise* o tasa de humedad. Se denomina *reprise estándar* a la cantidad de humedad absorbida por las fibras bajo unas condiciones de humedad atmosférica del 65 % y 20 °C de temperatura.

Todas las fibras absorben humedad del medio ambiente en mayor o menor proporción. El agua es capaz de entrar en las fibras y alojarse entre las micelas. Debido a éste efecto las micelas se separan entre sí, tanto transversal como longitudinalmente, provocando un efecto de hinchamiento, que da lugar a una pérdida de cohesión y, por tanto, de resistencia, la cual en estado húmedo puede alcanzar hasta un 50 % que la del estado seco. Una excepción la constituyen las fibras celulósicas, las cuales en estado húmedo son más resistentes que en estado seco (caso del algodón, ramio, lino, etc.). El agua caliente además de provocar hinchamiento, suele ocasionar encojimiento (fibras sintéticas). Todos los fenómenos antes mencionados se incrementan al tratar las fibras con vapor. Sin embargo, en condiciones controladas de temperatura, presión y humedad, puede conseguirse un pliego permanente en las fibras de lana.

Los álcalis débiles (tipo carbonato sódico) en solución fría, provocan un efecto de hinchamiento similar al del agua, aunque algo más acentuado. A temperaturas cercanas a las de ebullición, las fibras proteínicas y el rayón acetato se hidrolizan y pierden la mayoría de sus características. La lana se vuelve dura y quebradiza, y la seda se torna áspera. Las fibras sintéticas prácticamente no son afectadas por los álcalis débiles. En general puede decirse, que los fenómenos tanto de hinchamiento como hidrolítico se acentúan al tratar con álcalis fuertes, especialmente en elevada temperatura; por consiguiente se observa una pérdida de resistencia mecánica.

En general los ácidos se comportan de modo opuesto a los álcalis; es decir, los ácidos atacan más fuertemente las fibras celulósicas que las proteínicas. Las poliamidas, el rayón acetato y las sintéticas en general son sensibles a un tratamiento con ácidos, tanto orgánicos como inorgánicos.

V.2. LAS MUESTRAS EN EL LABORATORIO.

Cuando una muestra llega por primera vez al laboratorio, se procede a identificarla y registrarla detalladamente. Posteriormente se deberá tomar una fotografía la cual **siempre** deberá ir acompañada de una cintilla métrica, los datos referentes a la identificación de la misma, al expediente con que está relacionada y la fecha en la cual se lleva a cabo el estudio.

Una vez realizado lo anterior, se procederá a clasificarlas de acuerdo a su color e intensidad (apoyándonos con un microscopio estereoscópico), anotando cuidadosamente en la libreta de control los datos referentes a cada una de las muestras, como son: longitud, color, apariencia y textura, así como adherencias que puedan tener (grasa, pegamento, comida, basura, pintura, harina, arsénico, lodo, vidrios, fluidos biológicos (sangre o semen), huevecillos de parásitos, etc), las cuales se estudian separadamente.

A continuación se determina si la muestra en cuestión es un hilo o una fibra simple, entendiéndose por fibra la unidad más simple de un hilo, el cual a su vez está constituido por haces de fibras que han sido hilados, torcidos o trenzados. Si se encuentra que la muestra analizada es un hilo, entonces se deberá establecer el diámetro del mismo, el número de fibras que lo componen, el patrón de torcido (a favor o en contra de las manecillas del reloj), número de torceduras por centímetro, coloración y patrón de teñido.

V.3. METODOS EMPLEADOS EN LA IDENTIFICACION DE FIBRAS.

En un laboratorio de Química Legal, donde se llevará a cabo un análisis criminalístico de fibras, se debe tomar en consideración que debido a las pequeñas dimensiones con que cuenta una fibra y a la poca cantidad de muestra en la que en la mayoría de los casos se descubren, se deberán escoger métodos que sean específicos y que nos proporcionen la mayor cantidad de información posible empleando la mínima cantidad de muestra, y que además, utilicen el equipo y material con que se cuenta en el laboratorio.

Por la poca cantidad de fibras con las que se cuenta para llevar a cabo un análisis, es recomendable en primera instancia, el uso de pruebas que no destruyan la integridad de la muestra; una vez que se ha obtenido toda la información posible, se procederá al empleo de pruebas destructivas.

De acuerdo a las propiedades fisicoquímicas de las fibras, existen métodos de análisis (desde un punto de vista químico legal) útiles en su identificación. Esta investigación puede ser llevada a cabo en dos fases:

a) Fase preliminar: En ésta se determina si la fibra es de origen natural o artificial. Para llevar a cabo ésta identificación, utilizamos las pruebas de solubilidad, pirólisis, así como un exhaustivo análisis al microscópio.

b) Fase confirmatoria: En ésta fase se busca la determinación de la composición química mediante un amplio estudio de las propiedades fisicoquímicas de la muestra. Los métodos utilizados en ésta fase comprenden: reacciones de coloración, determinación de punto de fusión, de la densidad específica, índice de refracción, espectrofotometría en el infrarrojo, cromatografía, etc.

En el caso particular de las fibras artificiales, la magnitud de la información que se pueda obtener del examen, está en relación directa con el tamaño de la muestra, ya que una escasa cantidad de material disponible sólo permitirá determinar la clase genérica a la que pertenece la fibra, por otro lado una muestra abundante, hace posible la determinación también de la subclase.

Los métodos más empleados en la identificación de fibras son:

A) MICROSCOPIA

Como se mencionó anteriormente, un aspecto muy importante es la configuración de la superficie externa, pues ésta, en muchos casos está íntimamente relacionada con sus propiedades físicas y químicas, de tal manera que si se tiene un buen análisis al microscópio, es posible determinar a grandes rasgos la naturaleza de las fibras; y apoyándonos con las demás técnicas alternativas podemos llevar a cabo un mejor análisis.

Los microscópios más utilizados en el laboratorio de química legal para éstos fines son:

- Microscópio estereoscópico de bajo aumento,
- Microscópio compuesto con luz transmitida,
- Microscópio con alto poder de resolución,
- Microscópio de fluorescencia y
- Microscópio de comparación.

El análisis microscópico se inicia con una observación entre 20 y 40 aumentos en la cual se observa la apariencia general y se determina si se trata de uno o varios elementos iguales, características físicas que presenten en su superficie así como la presencia de adherencias.

En el caso de que se trate de fibras naturales, éstas presentan características muy bien definidas bajo el microscópio, entre las cuales podemos citar:

a) Origen animal:

- Generalmente se presentan aisladas,
- Tienen superficie irregular (presentan espículas),
- Longitud de varios centímetros,
- Presentan canal medular (excepto la seda y pelos delgados),
- Se observan células cuticulares de formas variadas,
- Zona cortical con estructura celular,
- Presentan granos de pigmento,

b) Origen vegetal:

- Se encuentran unidas en haces,
- Son de escasas proporciones,
- Superficie lisa,
- Presentan canal medular.

c) Origen artificial:

- Tienen apariencia de barra,
- Superficie lisa o con estrías longitudinales las cuales pueden presentar pequeñas inclusiones de polvo o deslustrador.
- No presentan estructura celular, gránulos de pigmento ni canal medular.

En el caso de que las fibras se encuentren sucias, es posible limpiarlas con una solución jabonosa con carbonato de calcio al 10 % o con una mezcla de éter-alcohol en partes iguales; de ésta manera y aun aumento entre 100 y 500, es posible estudiar el estado de la superficie. Para ayudarnos en la observación, se recomienda el uso de alcohol amílico, yoduro de metileno o nugal.

En el siguiente listado se agrupan las diferentes fibras textiles de acuerdo a su aspecto de superficie:

1) Lisa: Acrílicas

Nylon

Poliéster

Poliétileno

Rayón cupramonio

Vícara

Vidrio

Vinilos

2) Estrías transversales con nódulos: Cábamo

3) Cinta con torciones y superficie granular: Algodón

4) Estrías longitudinales paralelas: Acetatos

Acrílicas

Modacrílicas

Rayones

5) Superficie áspera con marcas transversales y escamas superficiales: Lana y otros pelos animales.

- 6) Superficie lisa con nódulos y sin estrías longitudinales: Lino
Seda

Para llevar a cabo un estudio de la sección transversal de las fibras, se recomienda el empleo de una placa de acero inoxidable del tamaño del portaobjeto con un grosor de entre 1 ó 2 mm; posteriormente se realiza un orificio en el centro de la placa de 1 mm de diámetro. La fibra por estudiar se coloca entre varios filamentos de algodón negro los cuales se retuercen e introducen por el orificio, de manera que los extremos sobresalgan por ambos extremos de la placa; consecutivamente se cortan los filamentos al ras de cada una de las caras de la placa y se observa la preparación entre 250 y 500 aumentos.

TABLA 5.1. SECCION DE LAS FIBRAS TEXTILES MAS COMUNES.

Fibras Naturales

Algodón	Forma tubular con elementos generalmente colapsados.
Lana	Redonda o casi redonda.
Seda	Triangular con ángulos redondeados. En otros casos de forma y tamaño irregulares.

Fibras artificiales

Acetato	Forma irregular y contorno aserrado.
Acrílica	Redonda o casi redonda, en ocasiones bilobulada, gusano o como hongo.
Nylon	Redonda o trilobulada.
Poliéster	Redonda o trilobulada.
Rayón	Forma irregular con perfil aserrado.

B) PIROLISIS.

Esta es una prueba sumamente destructiva, que se lleva a cabo en el análisis preliminar en la identificación de una fibra. La única restricción que se tiene al aplicar ésta metodología, es la cantidad de muestra con la que se cuenta; de tal manera, que si no se tienen suficientes fibras lo conveniente es no realizarla.

La pirólisis es una prueba muy específica, por lo que no es recomendable en el caso de tejidos mixtos, pues en la mayoría de los casos, ésta falla.

La manera por medio de la cual se puede identificar una fibra, a través de la pirólisis, es por el aspecto de la fibra al arder, el color de la flama, el desarrollo de humo y el olor generado, los cuales son característicos para cada tipo de fibra.

En el caso de las **fibras vegetales**, éstas arden limpia y rápidamente sin olor desagradable; continúan ardiendo con flama limpia al ser retiradas de la llama y las puntas quemadas se observan afiladas.

Las **fibras de origen animal**, se queman con dificultad, produciendo un olor característico a queratina quemada (cuerno quemado), su llama no es limpia y no tan viva, los extremos se muestran engrosados en forma de masa y con inclusión de burbujas aéreas, es decir, con cierto punto de carbonización.

Finalmente, las **fibras artificiales** arden lentamente con mucho desprendimiento de humo y con olor a azufre, al quitarla del fuego la fibra sigue ardiendo con chisporroteo y la punta que estuvo en contacto con la llama se observa notablemente engrosada (bolita plástica de color negro y dura).

C) PRUEBAS DE SOLUBILIDAD.

Esta es otra prueba que se realiza en la fase preliminar de la identificación de una fibra. Se trabaja con las mismas recomendaciones que en la prueba anterior, por tratarse también de una prueba destructiva.

Mediante los ensayos de solubilidad en diversos medios, ya sea orgánicos o inorgánicos, es posible identificar parcialmente las fibras de tejidos simples o mezclas de fibras. Por la solubilidad en ácidos y en medios básicos inorgánicos, puede lograrse una separación de las fibras por grupos.

Para llevar a cabo ésta prueba, es necesario contar con el siguiente material: microscópio estereoscópico, portaobjetos, cubreobjetos, placas excavadas, una fuente de calor y una batería de solventes.

El procedimiento se lleva a cabo de la siguiente forma:

- Se pone la muestra entre el porta y cubreobjetos, y por capilaridad se le adiciona el solvente.
- Se observa al microscópio durante un tiempo (entre 5 y 10 min), si después de éste lapso la muestra no se disuelve, se proseguirá a secar dicha preparación con un papel filtro; una vez seco, se procederá a utilizar un nuevo solvente.
- En el caso de que el solvente deba actuar caliente (como en el caso del metacresol y dimetilformamida), la muestra se pondrá entonces en la placa excavada y posteriormente en contacto con la fuente de calor.
- Una vez transcurrido el tiempo (5 a 10 min), se procederá a observar bajo el microscópio.

Mediante una tabla, se muestra a continuación la solubilidad de algunas fibras en diferentes medios:

TABLA 5.2. SOLUBILIDAD DE LAS FIBRAS.

FIBRA	ACETONA	CLOROFORMO	DIMETIL- FORMAMIDA	HCl (15.5 %)	HCl (38 %)	HNO ₃ (70 %)	H ₂ SO ₄ (86 %)	m-CRESOL (caliente)
Acetato	S	X	S	--	S	S	S	S
Triacetato	X	S	S	--	X	S	S	S
Acrílicas								
(Orlón)	--	--	C-S	--	--	S	--	--
Modacrílica								
(Dynel)	X	--	S	--	--	S	--	X
(Vere)	--	--	S	--	--	X	--	S
Nylon								
(6)	--	--	C-X	S	S	S	S	S
(6,6)	--	--	C-X	--	S	--	S	S
Poliéster								
(Dacrón)	--	--	C-S	--	--	X	--	S
(Fortrel)	--	--	C-S	--	--	X	--	S
Poliétileno	--	--	--	--	--	--	--	--
Poliuretano	--	--	C-S	--	--	--	--	--
Rayón								
(Cuproamonte)	--	--	--	--	S	X	--	--
(Viscosa)	--	--	--	--	S	X	--	--
Vicara	--	--	--	--	--	--	--	--
Vidrio	--	--	--	--	--	--	--	--
Algodón	--	--	--	--	--	--	S	--
Lana	--	--	--	--	--	X	--	S
Seda	--	--	--	--	S	X	S	--

S = Soluble

X = Poco soluble

C = Calentar hasta hervir.

D) REACCIONES DE COLORACION.

Las reacciones de coloración o prueba colorimétrica, únicamente se aplican sobre fibras naturales o artificiales **no teñidas, de colores claros o bien decoloradas**. Lo anterior se debe a que el color presente en las fibras teñidas puede interferir en la coloración que se produzca al aplicar los reactivos, y por lo tanto, dar falsos resultados.

Estas pruebas son muy sencillas y rápidas de realizar, lo único que se necesita es: un microscópio estereoscópico, portaobjetos, cubreobjetos y los reactivos necesarios.

La tinción se lleva a cabo colocando la fibra sobre el portaobjetos, adicionando posteriormente el colorante y dejando reposar unos cuantos segundos; el exceso de colorante se retira con un papel filtro y se coloca el cubreobjetos. En el caso de que se tenga que teñir con un segundo colorante, éste se adicionará por capilaridad inmediatamente después de haber puesto el cubreobjetos. Finalmente se observa al microscópio.

Los reactivos más utilizados son:

- *Reactivo de cloroyoduro de zinc:*

Solución A: Cloruro de zinc	20.0 gr
H ₂ O destilada	10.0 ml
Solución B: Yoduro de potasio	2.1 gr
Yodo	0.1 gr
H ₂ O destilada	5.0 ml

- *Reactivo con mercurio:*

Mercurio	1.0 ml
HNO ₃ (94 %)	9.0 ml
H ₂ O destilada	10.0 ml

Nota: El HNO₃ se diluye primero en el H₂O destilada, y posteriormente se adiciona el mercurio.

- *Reactivo de Vetillard:*

Solución A:	Yoduro de potasio	3.0 gr/60 ml H ₂ O destilada.
	Yodo	1.0 gr/10 volúmenes de H ₂ O dest.
Solución B:	Glicerina	2.0 volúmenes.
	H ₂ O destilada	10.0 volúmenes.
	H ₂ SO ₄ conc.	3.0 volúmenes.

En la siguiente tabla, se muestran las reacciones de coloración para diferentes fibras:

TABLA 5.3. REACCIONES DE COLORACION DE LAS FIBRAS.

MUESTRA	REACTIVO		
	Cloroyoduro de Zn.	Hg	R. de Vetillard.
<i>Fibras naturales</i>			
Algodón	Rojo violeta	-----	Azul
Cáñamo	-----	-----	Verde azul
Lino	-----	-----	Azul
Lana	-----	-----	Amarillo
Seda	Amarillo	Rojo	Café
<i>Fibras artificiales</i>			
Acetato	Amarillo (disolución)	-----	Amarillo
Acrílicas	-----	-----	-----
Modacrílicas	Amarillo café	-----	Café
Nylon	Amarillo café	-----	Amarillo
Poliéster	-----	-----	-----
Rayón	Azul violeta	-----	Azul violeta

E) PUNTO DE FUSION.

Esta prueba se realiza cuando se dispone de muestra abundante y se cuenta con testigos, ya que es un examen destructivo. Esta determinación es útil sólomente para fibras artificiales.

Para llevarse a cabo es necesario contar con un aparato de Fisher-Johns, el cual permite observar directamente la acción del calor sobre la fibra examinada.

Para realizar la determinación del punto de fusión, se coloca la fibra a examinar entre dos cubreobjetos, los cuales se depositan sobre la placa de calentamiento del aparato, observando a través de la lupa integrada a él. El punto de fusión será entonces la temperatura a la cual la fibra se funde.

Existe otra manera de determinar el punto de fusión, en la cual en lugar de utilizar cubreobjetos, la muestra se deposita en capilares de vidrio de 1 mm de diámetro por 5 cm de longitud; sin embargo esto no es muy utilizado en química legal, ya que es necesario trabajar con una mayor cantidad de muestra.

TABLA 5.4. PUNTO DE FUSION DE LAS FIBRAS MAS COMUNES.

FIBRA	TEMPERATURA (°C)
Acetato	245-260
Triacetato	290-300
Acrilica	-----
Modacrilica	180-210
Nylon 6	215-220
Nylon 6,6	250-260
Poliéster	250-270
Polietileno	110-138
Rayón	-----
Vinilica	125-135

Otros puntos que se deben tomar en cuenta al llevar a cabo la medición del punto de fusión son:

- Temperatura a la que se completa la fusión,
- Temperatura en la que hay cambio de color,
- Temperatura de dilatación y
- Pirólisis.

F) DENSIDAD ESPECIFICA.

En un líquido de igual densidad que un determinado material, en éste caso una fibra, ésta tiende a no subir a la superficie ni a bajar al fondo, de tal manera, que si se prepara una serie de líquidos de densidades graduadas, es muy fácil determinar la densidad de la fibra, la cual será la del líquido en el cual quede suspendida.

Este es el principio por medio del cual se lleva a cabo la determinación de la densidad (método de flotación). Para aplicarlo es necesario contar con una serie de tubos de ensayo que contengan una mezcla de dos líquidos en diferentes proporciones y cuya densidad se ha ajustado con hidrómetros (éstos son unos flotadores pequeños de vidrio de 2-3 mm de diámetro y calibrados previamente).

Los líquidos más empleados son:

LIQUIDO	DENSIDAD (gr/ml)
Xileno	0.90
Tetracloruro de carbono	1.63
Bromoforno	2.88

Las mezclas más comúnmente utilizadas son:

- Xileno/ CCl_4
- Xileno/Bromoforno.

Para llevar a cabo el examen, coloca la muestra dentro de los tubos de ensayo que contienen la mezcla con diferentes densidades que van desde 0.9 a 1.7 gr/ml (a intervalos de 0.05 gr/ml), y se lleva a cabo la determinación.

Cuando la misma fibra se examina en los diferentes tubos, es necesario, que después de que haya sido introducida en un tubo sea limpiada con un papel filtro para así poder colocarse en el tubo siguiente.

Las mezclas de fibras pueden examinarse cortándolas en pequeñas longitudes, de manera de que las fibras se separen unas de otras. Estas fibras separadas son difíciles de ver con luz ordinaria, pero pueden hacerse fácilmente visibles usando polaroides cruzados delante y detrás del tubo respectivamente.

Al hacer pasar la luz a su través la doble refracción de las fibras las hará parecer brillantes sobre un fondo oscuro.

NOTA: El gradiente de densidad no es permanente, y la columna debe ser recalibrada de vez en cuando y renovada cuando sea necesario.

Otros métodos alternativos para llevar a cabo la medición de la densidad son: el método del picnómetro y el método de empuje con la balanza de Mohr-Wesphal.

TABLA 5.5. DENSIDAD ESPECIFICA DE LAS FIBRAS.

Muestra	Densidad (gr/ml)
<i>Fibras naturales</i>	
Conejo de Angora	1.16
Algodón	1.51-1.53
Lana	1.31-1.33
Seda	1.24-1.26
Yute	1.45
Cáñamo	1.49-1.50
Lino	1.50
Ramío	1.51-1.55

Conejo de Angora	1.16
Asbesto	2.10-2.80
Amianto	2.30-2.60

Fibras artificiales

Vidrio	2.50-2.80
Acetato de celulosa	1.31-1.33
Triacetato de celulosa	1.30
Rayón	1.51-1.53
(cuproamontiacal)	1.53
(viscosa)	1.53
Fibrolane	1.29
Vicara	1.20-1.30
Alginato de calcio	1.72
Poliéster	1.22-1.40
(kodel)	1.22
(terylene)	1.38
(vicrón)	1.38
Polietileno	0,92
Polipropileno	0.91
Licra	1.15
Vyrene	1.30
Vinílicas	
(Sarán)	1.70
(Vinyón)	1.30-1.40
Acrílicas	1.12-1.20
(Orlón)	1.14-1.17
(Acrlán)	1.17
Modacrílicas	1.20-1.37
(Dynel)	1.31
(Verel)	1.37
Nylon	1.10-1.20
(Rilsán o nylon 11)	1.10
(Perlón L o nylon 6)	1.13
(Bri-nylon o nylon 6,6)	1.14

G) INDICE DE REFRACCION

Esta técnica es utilizada para determinar la modificación que sufre la luz polarizada al atravesar una fibra de acuerdo a su arreglo molecular, a esto se le denomina Índice de Refracción. Este método requiere sólo una pequeña muestra, no es destructivo, pero consume mucho tiempo.

Los factores que condicionan el índice de refracción son:

- Naturaleza química de las moléculas de la fibra,
- Disposición física de las moléculas,
- Longitud de onda de la luz incidente,
- Contenido de humedad y
- Otras sustancias que puedan aparecer en la fibra.

El índice de refracción regula la visibilidad de todos los objetos de color o transparentes, y es una de las condiciones principales para seleccionar el medio aglutinante. De todas las determinaciones para investigar el tipo de fibra, ésta prueba es de las pocas que puede ser determinada con exactitud.

Para lograr mediciones exactas, es necesario usar luz polarizada en condiciones controladas en cuanto a temperatura y humedad relativa. Además, es conveniente el uso de luz amarilla de mercurio (578 μm) de preferencia a la luz del sodio (589 μm), debido a que puede aislarse convenientemente una fuente intensa con una lámpara de vapor de mercurio a alta presión. Por otro lado, es útil aplicar a las muestras el "tratamiento de relajación" que reduce la variabilidad de los valores de las diferentes fibras en la misma muestra, probablemente por la eliminación de impurezas locales; éste tratamiento se lleva a cabo sumergiendo las muestras en agua a 95° C y secadas en aire a 65 % de humedad relativa.

Cuando una fibra es examinada en el aire, el índice de refracción relativamente alto de la fibra hace que aproximadamente el 5 % de la luz incidente sea reflejada, y que los rayos transmitidos sean marcadamente refractados. Estos efectos producen fuertes sombras que oscurecen pequeños detalles de la estructura de las fibras. Para reducir el grado de contraste en las regiones

oscuras, las fibras se colocan en un medio con índice de refracción adecuado. Si las fibras se aglutinan con un medio de índice de refracción similar, las características de la superficie son prácticamente invisibles, pero la estructura interna y la presencia de huecos o inclusiones tales como pigmentos se revelan muy claramente. Cuando se desee examinar los detalles de la superficie, debe seleccionarse un medio aglutinante de índice de refracción marcadamente diferente; puede ser indistintamente más alto o más bajo que el de la fibra.

Las características que un aglutinante debe tener son:

- Ser relativamente estables.
- Ser líquidos no volátiles y
- No reaccionar con los polímeros normales usados para las fibras.

El aglutinante más usado es generalmente la parafina líquida, la cual da un contraste satisfactorio para todas las fibras excepto el acetato y el triacetato de celulosa, para los cuales se recomienda el n-decano.

TABLA 5.6. AGLUTINANTES MAS UTILIZADOS EN LA DETERMINACION DEL INDICE DE REFRACCION.

	INDICE DE REFRACCION (n_{20}^D)
Agua	1.330
n-heptano	1.390
n-decano	1.410
Estearato de butilo	1.445
Parafina líquida	1.470
Aceite de cedro	1.513
Aceite de inmersión ALP 1	1.524
Bálsamo de Canadá	1.530
Fosfato de tricresilo	1.556

Para llevar a cabo la determinación, la muestra se sumerge en un líquido de índice de refracción conocido (aglutinante) y con un refractómetro se determina la desviación que sufre la luz polarizada vibrando en forma paralela y perpendicular al eje longitudinal de la fibra. El índice de refracción de la fibra

se calcula restando al índice de la sustancia aglutinante, el índice obtenido al adicionar la fibra (lectura del refractómetro).

Esta técnica se emplea preferentemente en fibras artificiales. La mayoría de éstas presentan birrefringencia, a excepción de la de vidrio y la de arnel (triacetato).

Por medio de la determinación del índice e refracción, es posible también identificar los granos de deslustrador y pigmentos presentes.

TABLA 5.7. INDICE DE REFRACCION DE LAS FIBRAS.

Fibra	$n_{\text{paralelamente}}$	$n_{\text{perpendicularmente}}$
Tricel	1.469	1.469
Acrilán 36	1.511	1.514
Orlón 42	1.511	1.515
Dynel (no relajado)	1.535	1.533
Nylon 11 (Rilsán)	1.553	1.507
Nylon 6 (Celón)	1.575	1.526
Nylon 6,6 (Perlón T)	1.578	1.522
Terylene	1.706	1.546
Courlene X3 (Polietileno)	1.574	1.522
Rayón viscosa		
Tenacidad normal	1.542	1.520
Alta tenacidad	1.544	1.505
Rayón cuproamonio	1.553	1.519
Fibrolane	1.538	1.537
Lana	1.557	1.547
Algodón	1.577	1.529
Seda (desengomada)	1.591	1.538
Ramio	1.594	1.532
Lino	1.595	1.528

H) ESPECTROFOTOMETRIA EN EL INFRARROJO.

Sin duda alguna, la espectrofotometría en el infrarrojo es el método más útil para llevar a cabo la identificación de las fibras artificiales y polímeros en general; sin embargo, dado que la mayoría de las muestras bajo el examen forense presentan un tamaño reducido, su aplicación es restringida. No deberá ser utilizada cuando dos o más fibras sintéticas derivan del mismo monómero básico, ya que puede ser difícil distinguirlos cualitativamente por examen infrarrojo. Una gran ventaja que ofrece esta metodología, es que el espectro obtenido depende de la constitución química y no de la fórmula, cuyas variaciones pueden afectar a los resultados en las pruebas de coloración y de solubilidad.

El principio de esta metodología se basa en que cuando pasa una radiación infrarroja a través de una sustancia, se transmiten algunas frecuencias y se absorben otras. La espectroscopía infrarroja consiste en determinar las frecuencias en las cuales tienen lugar la absorción y obtener una representación gráfica de porcentajes (en aparatos modernos) de radiación absorbida frente a las frecuencias; de tal manera, que el espectro obtenido es específico para cada molécula, lo cual nos ayuda en el laboratorio de química legal para llevar a cabo análisis comparativos.

Existen numerosos métodos empleados para la preparación de la muestra, y su empleo está en función del tamaño de la misma.

Las técnicas más empleadas para llevar a cabo este examen son:

a) *Técnica de pastilla a presión:* En esta técnica es posible obtener espectros de partículas muy largas. El método consiste en mezclar la fibra finamente dividida con bromuro potásico ($n_D = 1.56$) pulverizado; la mezcla se pasa a través de un tamiz de 120 mallas y es retenido en el de 200 mallas, posteriormente se comprime en un pequeño disco de 1 mm de espesor en una prensa de vacío a una presión de 75,000 lb/in² (516,750 N/m²). Se seca a 400 °C durante más de dos horas antes de usarlo para después almacenarlo en una

botella especial dentro de un desecador, debido a que el KBr es muy higroscópico.

Las desventajas que presenta ésta metodología son las bandas falsas que se pueden dar debido a la humedad y la distribución desigual de la fibra en el medio, ésta irregularidad de distribución puede solucionarse pulverizando la muestra y sometiéndola a homogeneización en un molino vibratorio. Sin embargo, la ventaja más importante es que pueden examinarse muestras extremadamente pequeñas.

b) *Películas moldeadas con disolvente*: La aplicación de éste método es un poco más complicada que en caso anterior, ya que no puede utilizarse de manera general, pues se necesita tener un conocimiento previo de la identidad de la fibra para poder utilizar el disolvente adecuado.

El disolvente escogido debe de cumplir con las siguientes condiciones:

- No debe reaccionar con la fibra y
- No deberá dejar residuo alguno al evaporarse (sino puede eliminarse al evaporar, es necesario preparar un testigo en el cual se incluya el solvente pero no la fibra).

Los disolventes más útiles incluyen:

- Acetona (Acetatos, dynel, verel),
- Cloroformo (Vinyón)
- Dimetilformamida caliente (Dacrón, Iikra, acrilán, orlón, vycrón),
- Dioxano caliente (Sarán),
- Metacresol caliente (Nylon)
- Metasilicato caliente (Kodel),
- Tolueno (Polipropileno).

La metodología consiste en hacer una solución aproximadamente del 5 % de la fibra en el disolvente caliente. Se vierte la cantidad suficiente para cubrir una superficie de 5 x 2.5 cm 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 éste 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 haya solidificado, se calienta a una temperatura más alta, preferentemente al vacío para evitar el disolvente que pudiera quedar. La película se puede separar de la placa de cristal simplemente levantando un borde con una navaja de afeitar; ayuda a ello el mojarla con agua si la película está adherida.

c) *Pastas*: El líquido con el cual se lleva a cabo la preparación de la pasta, no deberá absorber radiaciones en el intervalo de 2 a 15 μm ni tampoco ser volátil. El líquido más utilizado es el nugol, produciendo bandas de absorción a 3.4, 6.9 y 7.3 μm ; existen otros agentes para formación de pastas que no absorben en los intervalos en que lo hace el nugol, entre éstos podemos encontrar al hexaclorobutadieno y aceite de perfluorocarburo.

La ventaja que ofrece éste método es que la mezcla se prepara por medio de una operación única, frotando el material entre dos placas de vidrio esmerilado, produciéndose así una acción abrasiva más intensa. Estas placas se preparan a partir de vidrio de 0.8 cm de espesor, cortado a un tamaño adecuado. Entre las paredes de éstas placas se coloca carborundo de 200 mallas hasta producir una rugosidad uniforme, entonces se frota uno contra otro usando unas gotas de nugol, como lubricante, hasta que ya no se obtiene más polvo de vidrio. Se forman de ésta manera pequeñas áreas planas con bordes cortantes sobre la superficies de las placas.

Los hilos textiles o tejidos se cortan a pequeñas longitudes, por ejemplo, de 0.5 a 2.0 mm y éstos se trituran un poco cada vez, añadiendo a intervalos más hilos y nugol. La pasta debe tener una consistencia parecida a la vaselina, cuya consistencia correcta se juzga por el aspecto que ofrece y la fricción de las placas. Finalmente se separan las placas y se pasa la mezcla a placas de monocristales de cloruro sódico o cloruro potásico para su examen infrarrojo.

d) *Solvente universal*: Esta técnica ofrece una ventaja enorme, ya que para su realización no es necesaria la identificación previa de la muestra. Para esto se recomienda como solvente una solución de fenol en cloroformo (10 % peso/volumen); la pastilla se prepara de la siguiente manera: en una placa excavada, y bajo observación en el microscópio, se disuelve la muestra; en caso de que se requiera de una disolución más rápida, la muestra puede ser pulverizada previamente con el fondo de un tubo de ensayo; de la misma manera, el calentamiento de la placa sobre una plancha caliente ayuda notablemente. La solución se mezcla gota a gota con el KBr; el cual se pone a secar sobre una estufa (100 °C por 1 hora) para evaporar el solvente. Debe prepararse un testigo con KBr y el solvente, pero sin fibra.

Interpretación del espectro: La interpretación más fácil es llevada a cabo mediante comparaciones con espectros de archivo; es muy recomendable que el archivo haya sido realizado en el mismo aparato en el cual se realicen normalmente las mediciones, ya que esto ofrece ciertas ventajas, como por ejemplo, el no hacer ningún descuento para las diferencias del poder de resolución o de calibración de la longitud de onda. Cuando el espectro no puede compararse con los archivos propios, es posible realizar la comparación utilizando un espectro reportado en la bibliografía, recordando que se deben efectuar las correcciones necesarias.

En la siguiente tabla se muestran las bandas obtenidas para las diferentes fibras, aplicando ésta metodología:

TABLE 5.8. ESPECTROFOTOMETRIA EN EL I.R. DE FIBRAS ARTIFICIALES.

Muestra	Absorción (cm ⁻¹)
Acetato brillante	1240, 1750, 1050, 1375
Acrilán brillante (acrílica)	1680, 2250, 1750, 1450, 1230, 1090, 2920
Dacrón (poliéster)	1700, 720, 1130, 1270, 1020, 870
Dynel (modacrílica)	1450, 1700, 1360, 1220, 2900, 630, 2240, 1000 530, 700
Fibrolane (caseína)	2900, 700, 1620, 1020, 750

Kodel (poliéster)	730, 1720, 2990, 2850, 1110, 1270, 1020, 960, 980, 870, 600, 500
Lyra (poliuretano)	1120, 2850, 2920, 1220, 1520, 1300
Nylon 6 (poliamida)	1550, 1640, 2920, 2850, 1275, 1200, 940, 700, 680
Nylon 11 (poliamida)	2920, 1660, 3310, 1530, 2850, 1470, 1030
Orlón (acrilica)	1650, 1450, 2220, 1740, 2920, 1100, 1170, 660 1250
Rayón viscosa	700, 3400, 2900, 1625
Verel (modacilica)	1620, 1220, 1070, 2900, 2950, 1500, 1420, 1350, 3270, 650, 530
Vinyón (vinilica)	1720, 1420, 2900, 3000, 2800, 600

I) CROMATOGRAFIA GAS-LIQUIDO.

Este método se emplea solamente en fibras artificiales. La cromatografía gas-líquido es un examen sumamente destructivo, aunque rápido y sensible, si bien un tanto menos específico que la microscopía. Una de las ventajas de éste método es que emplea muy poca cantidad de muestra (inferior a los 100 microgramos).

Una separación cromatográfica se consigue mediante la distribución de los componentes vaporizados entre dos medios de separación: uno, el medio estacionario, es decir, un líquido no volátil conocido como fase líquida estacionaria, contenido en una película delgada sobre una columna de un soporte sólido inerte (por ejemplo tierra de diatomáceas); el segundo medio, conocido como fase móvil, es un gas que burbujea a través de la columna.

Un aparato de cromatografía gas-líquido consiste en una fase móvil (gaseosa) adecuada a lo que se quiere separar, generalmente se utiliza nitrógeno, helio o argón; en una columna y en un aparato para inyectar la muestra en la columna (gas o líquido). La muestra al ser inyectada, se volatiliza en una antecámara anterior a la columna, de ahí es arrastrada junto con la corriente

de gas para después separarse en la columna. Esto se lleva a cabo 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 muestra que se desea analizar (en éste caso fibras), deberá ser estable a la temperatura de una columna y suficientemente volátil. Se considera adecuada una presión de vapor no menor de 2 mm de Hg. Los polímeros y resinas no satisfacen generalmente éste criterio, y no puede, por lo tanto, estudiarse directamente; por lo cual es necesario llevar a cabo una pirólisis previa en una atmósfera inerte, de ésta manera el polímero se rompe dando otros fragmentos volátiles fáciles de analizar. Si las condiciones de pirólisis se controlan de una forma lo suficientemente precisa, los productos volátiles de la pirólisis característicos del polímero se obtienen fácilmente, los cuales al separarse, producen un cromatograma distintivo del mismo.

La pirolisis puede llevarse a cabo de multiples maneras, la primera consiste en una bobina de alambre delgado suspendida en la columna cromatográfica, la muestra se carga encima del hilo que se calienta por paso de corriente eléctrica durante 10 seg Otro método estriba en el uso de los aparatos de pirólisis de microrreactor o microhorno, en tales aparatos, la muestra (aprox. 0.1 mg) se piroliza en una zona precalentada uniformemente a 700 °C aproximadamente; éste método produce condiciones de pirólisis más reproducibles y más exactamente conocidas que las del alambre caliente.

Una columna cromatográfica para usos generales puede estar compuesta por aceite de silicona, ftalato de dinonilo o escualeno como fase líquida estacionaria.

Un aspecto importante a tomar e cuenta es la temperatura de la columna, ya que de ésta depende que se lleve a cabo una buena separación de los componentes, por lo que se recomienda llevar a cabo una cromatografía gaseosa a temperatura programada, la cual consiste en ir aumentando la temperatura en valores constantes cada determinado tiempo. Se recomienda un programa que vaya de 20 a 200 °C con un incremento de 3 a 5 °C durante cada minuto.

La forma del pirograma, para una muestra determinada, depende de la pirólisis así como también de las condiciones de la cromatografía (tales como temperatura, dimensiones de la columna, fase líquida estacionaria, soporte inerte, velocidades de flujo, etc.), condiciones que pueden variar de un laboratorio a otro, por lo cual es necesario mantener un archivo propio para llevar a cabo las comparaciones.

J) RASTREO CON LUZ DE ANGULACION CORTA (SALS ó LASER).

En comparación con técnicas anteriores, éste método ofrece innumerables ventajas, como son rapidez, sensibilidad, economía y lo más importante de todo (en química legal) que la muestra no es destruida.

El análisis se basa en la dispersión de la radiación electromagnética en función del arreglo molecular del objeto bajo estudio. Para llevar a cabo ésta técnica, se utiliza un laser de helio y neón, el cual atraviesa la muestra y posteriormente imprime una placa fotográfica.

En la placa fotográfica es posible observar los diferentes patrones de dispersión de la radiación, los cuales son específicos para cada fibra, debido a que están en función de las propiedades anisotrópicas de ésta, así también como en las fluctuaciones de su densidad.

K) EXAMEN DEL COLORANTE.

El examen de un colorante se lleva generalmente a cabo por dos metodologías, una de ellas mediante espectrofotometría en el ultravioleta y la otra, tal vez la más utilizada por su rapidez y facilidad, es la cromatografía en capa fina.

A través de la cromatografía en capa fina, es posible separar todos los componentes de un colorante mediante la utilización de solventes adecuados, y comparar los cromatogramas obtenidos con los que se tenga en archivo; realizando, por consiguiente, una plena identificación.

Más adelante se abordará el tema con más detalle, puesto que es el objetivo principal de éste trabajo.

Existen otras pruebas conocidas con el nombre de "pruebas de apoyo", éstas se aplican cuando exista duda en cuanto a la naturaleza del elemento. Sin embargo éstas pruebas no se llevan a cabo en el laboratorio de química legal, debido a que se necesita gran cantidad de muestra para llevarla a cabo, además de que requiere equipo especial.

Las pruebas de apoyo son:

- Características eléctricas,
- Resistencia a la tracción,
- Resistencia a la flexión,
- Resistencia a la torsión,
- Resistencia al roce o desgaste,
- Ensayos de fatiga o continuos,
- Compresión y recuperación elástica (resiliencia) y
- Alargamiento o elongación.

CAPITULO VI

ANALISIS DEL COLORANTE EN FIBRAS TEXTILES, DESDE UN PUNTO DE VISTA QUIMICO LEGAL.

VI.1. IMPORTANCIA DEL EXAMEN DEL COLORANTE.

Un aspecto importante en la identificación química de una fibra, es la determinación del colorante con que fué teñida, ya que el identificar una fibra sólo tomando en cuenta su origen y tipo, no es suficiente cuando se trata de casos legales, debido a que mientras más pruebas se realicen a una fibra sospechosa y éstas coincidan con una fibra de origen y características conocidas, podremos afirmar sin temor a equivocarnos si se trata de la misma fibra o no; por tanto, al tener todas las características completamente confirmadas es posible utilizar a ésta fibra como una evidencia clara y concisa en un juicio penal o simplemente asegurar que se trata de una falsa evidencia.

Existen diferentes puntos de vista con respecto a la determinación de un colorante; el primero de éstos está dado desde un punto de vista textil, el cual consiste en llegar a una completa identificación del mismo, esto es, determinar exactamente el nombre del colorante con el cual está teñido una fibra. El otro punto de vista, del cual nos ocuparemos en éste trabajo, está dado en el área de Química Legal; en éste caso la identificación del colorante sólo se basa en estudios comparativos, es decir, se realiza la extracción del colorante y por medio de métodos cromatográficos (bajo condiciones estándares) se efectúa una comparación de los espectros cromatográficos obtenidos tanto de las fibras problema como de las patrón, pudiendo de ésta manera determinar si se trata del mismo colorante o no, sin importar su nombre comercial.

Lo primero que se lleva a cabo en la identificación de un colorante, es la extracción del mismo, de la fibra que lo soporta. Los colorantes que están

presentes en una fibra, se encuentran generalmente en una forma insoluble, conteniendo además sustancias como mordientes, anilinas, aprestos, etc. Todo ésto hace que el colorante no sea fácilmente removido con el lavado, por lo que para removerlo es necesaria una sustancia específica capaz de disolverlo.

Lo más conveniente cuando se requiere remover un colorante es saber de que tipo de colorante se trata, pues existen sustancias específicas que disuelven cada tipo de colorante y por lo tanto, es más fácil y rápido removerlo; pero en ocasiones ésto no puede ser llevado a cabo en química legal, puesto que no se sabe a ciencia cierta que tipo de colorante es. En éstos casos nos podemos dar una idea de qué tipo de colorante se trata al saber qué fibra es la que se estudia, debido a que existen colorantes específicos para cada tipo de fibra, permitiéndonos, de ésta manera, llevar a cabo la extracción del colorante.

Sin embargo, muchas veces, debido a la escases de tiempo con que se puede contar en ciertas ocasiones para emitir un resultado, como por ejemplo que el sospechoso pretenda huir y para poder atraparlo sea necesario una orden de aprehensión basada en una prueba "X", es posible emplear el examen del colorante para emitir un fallo presuntivo; de tal manera que si el colorante de la fibra sospechosa coincide con el obtenido de una fibra proveniente del sospechoso, así como la identificación plena de ambas fibras, se puede emplear el resultado anterior como prueba incriminatoria. Para realizar el examen del colorante, en las circunstancias citadas anteriormente, es conveniente utilizar una sustancia que sea capaz de disolver a la mayoría de los colorantes más comunes. sin saber aún de que tipo de fibra se trata. No obstante, es adecuado realizar primero todas aquellas pruebas rápidas que nos indiquen el origen y tipo de fibra (de preferencia exámenes no destructivos), de tal manera que se nos facilite el estudio.

VI.2. GENERALIDADES.

Entre los métodos de identificación de fibras, tanto la Cromatografía en Capa Fina como la Cromatografía en Papel han tomado reciente importancia debido a

su rapidez, facilidad y resolución. Por otro lado, ambos procedimientos no son destructivos, dejando intacta la muestra para análisis posteriores.

Estas técnicas involucran procesos como extracción, separación y comparación de los colorantes con fibras similares.

Tanto en la cromatografía sobre papel como en la de capa fina, podemos utilizar, para realizar la separación, la técnica ascendente o descendente. En la primera, el solvente se mueve hacia arriba, mientras que en la segunda lo hace hacia abajo. El método más conveniente para correr cromatogramas en capa fina es la técnica ascendente. La técnica descendente puede ser más conveniente con la cromatografía sobre papel (a pesar de que, por supuesto, también se puede emplear una técnica ascendente).

Los colorantes extraídos son separados, dando patrones específicos para el colorante, los cuales son posteriormente comparados con patrones de colorantes conocidos. Los colorantes textiles no son compuestos puros, y generalmente se separan en varios compuestos coloridos de menor intensidad; una separación exitosa dependerá del alto grado de resolución de los sistemas de disolventes empleados.

VI.3. EXTRACCION Y SOLVENTES.

Una de las dificultades que se presentan al remover un colorante del soporte en el cual se encuentran (en este caso fibras), es en sí la naturaleza del mismo colorante, la cual en muchas ocasiones, complica la extracción.

Por otra parte, aunque la fibra contenga aprestos, gomas, acabados y otras sustancias (como almidón, gelatina, gomas de cera, resinas de melanina-formaldehído, betún, etc), éstas no interferirán en la determinación cromatográfica, ya que si en un momento dado aparece una banda de dichas sustancias en la cromatografía de la fibra estudiada, ésta también deberá aparecer en aquella con la cual estamos comparándola.

Existen varios métodos generales por medio de los cuales se puede realizar una extracción:

En el primer método, se lleva a cabo un calentamiento en un tubo de ensayo, que contenga agua destilada y la muestra de la cual se requiere extraer el colorante; si éste no es extraído, se adiciona amoníaco y se continúa el calentamiento. Un calentamiento posterior con piridina es el siguiente tratamiento, y finalmente con etilendiamina. El colorante tiene que ser removido por alguno de éstos solventes; el exceso de la solución es evaporado a una cantidad pequeña, y el residuo es utilizado para la cromatografía en capa fina.

Un segundo método involucra la extracción del colorante dentro de un tubo capilar, que contiene la fibra de la cual se desea extraer el colorante y una mezcla de piridina-agua (4:3). Los extremos del capilar son sellados por medio de calor. Posteriormente se deja 30 minutos a temperatura ambiente y luego se calienta a 90 °C durante 15 minutos. Mediante éste proceso, hay una alta posibilidad de que el colorante sea extraído, esto puede ser comprobado directamente mediante la observación del capilar bajo un microscópio; en caso de que la extracción sea negativa, la fibra será tratada con ácido oxálico al 2 % durante 20 minutos y posteriormente sometido a la acción de la piridina y agua.

Estos tratamientos, **se tienen que llevar a cabo de la misma manera** tanto para el problema como para la fibra con la cual se quiera comparar.

Por otro lado, pueden emplearse diferentes solventes de acuerdo a la naturaleza química del colorante, de la cual podemos orientarnos conociendo el origen y tipo de la fibra, ya que para cada una de éstas existen grupos de colorantes específicos.

Entre los solventes más utilizados podemos citar:

- *Dimetilformamida*: Se lleva a cabo una extracción en Soxhlet, la cual desmonta muchos colorantes azóicos y algunos colorantes tina de la celulosa.

- *Monoclorobenceno*: Puede utilizarse también a una temperatura no superior a los 100 °C para eliminar colorantes dispersos de las fibras de acetato de celulosa. La extracción en Soxhlet elimina muchos colorantes dispersos de las fibras de poliéster.

- *Cloruro de metileno-benceno (1:1)*: A temperatura ambiente elimina muchos colorantes dispersos, aunque pueden ser necesarias aplicaciones repetidas.

- *O-Clorofenol*: A ebullición elimina muchos colorantes de tina y azóicos. La eliminación se facilita si las fibras de celulosa se hinchan por ebullición en urea acuosa al 10 % durante 1 minuto. El o-clorofenol, es un disolvente de nylon. por lo que debe tener mucho cuidado en el uso de ésta sustancia.

- *Alcohol al 10 %*: La mayoría de los colorantes básicos pueden ser extraídos de las fibras teñidas empleando ésta solución. Entre las fibras que emplean éste tipo de colorantes están la lana, la seda, el algodón, cuero, pieles, poliacrilonitrilos y fibras celulósicas.

VI.4. CROMATOGRAFIA EN CAPA FINA (CCF O TLC).

Una vez que se llevó a cabo la extracción del colorante del soporte que lo contiene (fibra), se procede a la separación de sus componentes, mediante cromatografía en capa fina (CCF).

La separación se basa en el hecho de que todas las sustancias se disuelven en diversos solventes a diferentes grados. Una mezcla compleja puede ser separada en una fracción lipofílica y en una fracción hidrofílica, las cuales, mediante la aplicación posterior de procedimientos de separación adecuados, es posible obtener subfracciones. Es aquí donde la cromatografía tiene su papel más importante.

La CCF ha incrementado su empleo, primeramente en trabajos exploratorios y subsecuentemente para análisis más exactos. La posibilidad de variar la capa fina y el solvente (eluyente), vence muchas de las dificultades que puedan presentarse en una separación. No debemos olvidar que éste método no es aplicable en todos los casos, especialmente en aquellas mezclas complejas, las

cuales tienen más de 20 fracciones por separar; en éstos casos es recomendable una pre-separación.

En una CCF, la separación se lleva a cabo en una capa fina (adsorbente) de un material poroso (como silica gel o alúmina) dispuesto sobre un plato de vidrio (portaobjetos, placas de vidrio, etc.) o sobre hojas de plástico inerte. Una pequeña cantidad de la mezcla a separar (extracto del colorante) es puesto en una localización específica cerca de uno de los extremos del plato u hoja, de tal manera que ésta pueda estar en contacto con el eluyente (adecuado), el cual es absorbido por la capa, produciendo la migración de los componentes de la muestra a lo largo de la placa. Los diferentes constituyentes de la muestra son transportados a diferentes distancias, de tal manera que se observan zonas perfectamente definidas.

VI.4.1. Selección del adsorbente.

Hay varios factores que deben de tenerse en cuenta en la elección de un adsorbente para una separación cromatográfica determinada. Desde luego, debe ser insoluble en el disolvente que se va a utilizar para la separación y no debe reaccionar con las sustancias que se van a separar, ni debe actuar como catalizador de su descomposición, transposición o isomerización. Ha de tener una composición uniforme, prescindiendo de su origen, y debe ser incoloro cuando se han de localizar zonas correspondientes a compuestos coloreados.

Teóricamente, cuanto menor sea el tamaño de las partículas del adsorbente, mayor será el grado de separación de la mezcla tratada. Sin embargo, desde un punto de vista práctico, se debe tener en cuenta que cuanto menor sea el tamaño de las partículas, menor será la velocidad con que corra el disolvente o la solución.

El poder adsorbente de un producto determinado depende no sólo de su naturaleza, sino también del disolvente utilizado, en la preparación del cromatograma. Por tanto, no es posible establecer una clasificación rigurosa del poder adsorbente relativo de las distintas sustancias que se puedan utilizar.

Sin embargo, se puede establecer aproximadamente la siguiente clasificación:

- Adsorbentes muy activos: Alúmina con poco contenido de agua, carbón activado y arcilla.
- Adsorbentes intermedios: Gel de sílice, ácido silícico, carbonato de calcio, fosfato de calcio, magnesita y cal apagada.
- Adsorbentes débiles: Sacarosa, inulina, almidón y talco.

La actividad del adsorbente influye así mismo en el grado de migración del soluto. Los adsorbentes más activos establecen "ligaduras" relativamente intensas con las moléculas de soluto, de forma que el grado de migración del soluto a lo largo de la superficie de tales adsorbentes es relativamente lenta,

Dependiendo del tipo de cromatografía que se requiera, será necesario utilizar un adsorbente adecuado. Entre los tipos que podemos encontrar están: celulosa microgranular o microcristalina (utilizada para cromatografía de partición), sílica gel (para cromatografía de partición y adsorción) y, finalmente, alúmina (sólo para adsorción).

VI.4.2. **Cromatoplasmas.**

Las propiedades particulares de los diferentes adsorbentes, están directamente relacionadas con el tiempo en el cual se lleve a cabo la separación de la muestra y con la calidad de la separación misma.

Existen dos tipos de capas que se pueden utilizar: *capa sólida*, la cual se adhiere al soporte por las cualidades adherentes del material mismo, o bien, por la adición de un agente ligante incorporado a él. El otro tipo de capa, conocido como *capa suelta*, sólo es usada para determinar la actividad de los adsorbentes y una que otra aplicación especial.

Capa sólida: Un aspecto importante que se debe tomar en cuenta antes de aplicar la mezcla de adsorbente a los cromatoplatos, es que éstos deben estar perfectamente bien limpios; para lograr esto, es necesario guardarlos en una

solución fuertemente limpiadora y desengrasante (alcohol, entre otros), y posteriormente enjuagarlos con agua abundante antes de usarlos.

Es esencial para obtener óptimos resultados asegurarnos que la solución formadora de la capa esté uniforme. El tamaño de la partícula, estructura de la superficie y adhesivos deben estar perfectamente bien controlados para obtener resultados reproducibles, por lo que se recomienda comprar adsorbentes comerciales.

Si el adsorbente con el que está hecha la capa fina no se adhiere con facilidad al soporte, el uso de agentes ligantes es recomendable, como por ejemplo el sulfato de calcio en pequeñas cantidades. Si éste no ha sido adicionado a la solución, ésta puede ser almacenada por tiempo indefinido.

Otros aditivos que se pueden incorporar al adsorbente son agentes fluorescentes, los cuales ayudan para análisis bajo luz ultravioleta.

Las mezclas son hechas normalmente en agua, la cual, en el caso de que se requiera, puede contener ácidos, bases, buffers, etc. El mayor problema en la preparación del adsorbente, es que tenga la consistencia adecuada. Si la mezcla es muy delgada, producirá capas en las cuales el material a separar correrá muy rápido, impidiendo una separación adecuada; si por el contrario, la capa es muy gruesa, la muestra no correrá con facilidad.

Para preparar el adsorbente, en éste caso de sílica gel, es necesario poner 35 gr de sílica gel en un mortero, se adiciona agua destilada lentamente y agitando hasta obtener una crema homogénea y espesa, la cual estará lista cuando fluya libremente por las paredes del recipiente. Antes de extenderla en el soporte, será necesario eliminar los grumos; para llevar a cabo esto, se emplea un homogeneizador (con el cual se obtienen los mejores resultados).

La manera más sencilla de realizar el extendido del adsorbente sobre el soporte, es uniendo dos portaobjetos (limpios) e introduciendo ambos en la mezcla (sosteniéndolos por un extremo entre los dedos índice y pulgar), hasta medio centímetro antes del borde superior.

NOTA: Ambos portaobjetos deberán contener **la misma cantidad de mezcla**, la cual además **deberá estar a la misma altura**, de tal manera que se puedan obtener resultados reproducibles a partir de ellos.

Una vez retirados de la mezcla, los portaobjetos se separarán cuidadosamente, de tal manera que no se dañe la capa de adsorbente y, por último, se dejan secar en posición vertical uno o dos minutos.

VI.4.3. Selección del disolvente (eluyente).

La capacidad de adsorción de los compuestos orgánicos está determinada, en primer lugar por la naturaleza y número de los grupos polares existentes en sus moléculas. No es posible el establecimiento de una relación de las capacidades de adsorción de las distintas clases de compuestos orgánicos, y que sea aplicable a todos los tipos de adsorbentes y disolventes; sin embargo, en la siguiente serie se ha establecido una relación aproximada en orden decreciente de capacidad de adsorción, es decir, los compuestos que se adsorben más fuertemente se mencionan en primer lugar:

- 1.- Ácidos carboxílicos.
- 2.- Alcoholes, aminas y tioles.
- 3.- Aldehídos, cetonas y ésteres.
- 4.- Haluros orgánicos.
- 5.- Hidrocarburos no saturados; cuanto mayor es el grado de insaturación, mayor es su capacidad de adsorción.
- 6.- Hidrocarburos saturados.

La polaridad del disolvente influye en el grado de ascensión del soluto por la capa fina de adsorbente sobre la capa de vidrio. Con un soluto y adsorbente determinado, el cambio de un disolvente menos polar a otro de mayor polaridad, ocasionará una atracción relativamente mayor del soluto por parte del disolvente, y por tanto el soluto ascenderá en mayor grado por el adsorbente en el caso del disolvente más polar.

Los disolventes más frecuentes se pueden ordenar, según su polaridad creciente, de la siguiente forma:

- Eter de petróleo.
- Tetracloruro de carbono.
- Ciclohexano.
- Sulfuro de carbono.
- Eter.
- Acetona.
- Benceno.
- Esteres de ácidos orgánicos.
- Cloroformo.
- Alcoholes.
- Agua.
- Piridina.
- Ácidos orgánicos.
- Mezclas de ácidos o bases con agua.

VI.4.4. Realización del cromatograma.

La muestra a analizar se introduce en un tubo capilar (por efecto de capilaridad); una vez dentro, la muestra se deposita en la capa fina del portaobjetos a un centímetro aproximadamente del borde inferior mediante un simple contacto portaobjetos-capilar. No debe transferirse a la placa una gota demasiado grande. Una vez que el disolvente se haya evaporado de la mancha la placa está lista para su desarrollo.

En un frasco de boca ancha, con tapón roscado, de unos 150 ml de capacidad, que va a servir como cubeta para el desarrollo del cromatograma, se adicionan 5 ml del disolvente o eluyente y se introduce un trozo de papel filtro de 5 cm de ancho, enrollándolo en el interior de la cubeta, pero dejando visible una zona vertical amplia del interior de la misma. Se deja que el disolvente empape el papel con el fin de saturar la atmósfera en la cámara, de tal manera que se evite que los efectos de evaporación perturben el equilibrio de los solventes.

Posteriormente se introduce la placa en el frasco de tal manera que el disolvente no toque la zona en la que se encuentra la mancha. Se enrosca la tapa del frasco y se observa la ascensión del disolvente por la superficie del portaobjetos. Cuando el disolvente ha ascendido hasta un centímetro aproximadamente del final de la placa se extrae ésta de la cubeta, y se marca con la punta de un lápiz el nivel que alcanza el disolvente. Se deja que el disolvente se evapore y la placa se introduce en otro frasco con tapón de rosca, análogo al utilizado como cubeta de desarrollo, que contenga algunos cristales de yodo. En seguida aparecerán manchas (correspondientes a los componentes del colorante) en la capa del portaobjetos al adherirse o disolverse el vapor de yodo en la muestra analizada. Se saca la placa de la cubeta y se trazan círculos pequeños alrededor de las manchas. Es necesario marcar el círculo porque las manchas desaparecen rápidamente al evaporarse el yodo. Se miden, por un lado, las distancias existentes entre la posición de la mancha original y el nivel del frente del disolvente (Y), y por el otro, la distancia entre la mancha original y cada una de las nuevas manchas (X_i). Se calculan los valores de R_f para los diferentes manchas de la siguiente manera: $R_{fi} = X_i / Y$.

El valor de R_f se define como la relación entre la distancia recorrida por el compuesto utilizado como soluto y la recorrida por el disolvente en el mismo tiempo.

VI.4.5. Aplicaciones.

Lo anterior puede ser aplicado satisfactoriamente para la identificación de colorantes en el área de Química Legal.

Entre ejemplos de metodologías, podemos citar:

a) Se aplica la muestra sobre cromatoplacas de alúmina, las cuales se mantienen durante la aplicación en una plancha caliente a 50 °C y bajo un chorro de aire durante 10 min. Posteriormente, se lleva a cabo un corrimiento en una cámara con metanol (2 o 3 min) y se deja secar; al término de éste, se

cambia a un sistema piridina/alcohol amílico/solución acuosa de amoníaco al 10 % (4:3:3), o bien se pueden utilizar otros sistemas como cloroformo/metanol/agua/amoniaco 0.88 (11:7:1:1) y sec-butilo/acetona/amoniaco 0.88 /agua (5:5:2:1). El corrimiento se detiene hasta que el frente del eluyente haya recorrido 5 cm o en proporción de acuerdo al tamaño de la cromatoplaça.

b) Otra metodología utilizada para fibras artificiales (acetato, acrílica, modacrílica, poliamidas y poliéster), emplea la corriente de un secador de pelo bajo el cual se aplica 5 µl en el caso de tintes oscuros, y 10 µl para tintes claros. La placa se seca durante 15 min a 100 °C; se enfría en un desecador y se desarrolla 5 cm de cromatoplaça empleando los siguientes sistemas:

S₁: Cloroformo/metanol/ácido acético glacial (70:20:10).

S₂: Benceno/butanol/metanol/hidróxido de amonio 6 M. (60:10:30:2).

S₃: Hexano/benceno/dietilamina/metanol (56:40:5:3).

S₄: Ciclohexano/tolueno/acetato de etilo/etanol 95 % (80:10:10:10).

El extracto se corre primero en S₁ y si existe separación, una segunda placa se desarrolla en S₂. En caso contrario, cuando las muestras no corren con el frente del solvente S₁, se efectúan corrimientos paralelos en S_a y S_b.

Como los extractos, tanto el testigo como el problema son aplicados en la misma placa, es posible efectuar una comparación directa entre los componentes de los dos colorantes; en el caso de que exista una correspondencia entre los dos corrimientos, podemos afirmar con una alta probabilidad, que se trata de un mismo colorante,

VI.5. CROMATOGRAFIA EN PAPEL.

Una pequeña cantidad de la muestra en disolución se avapora cerca del borde o del ángulo de una tira de papel filtro (Whatman número 1). El cromatograma se desarrolla sumergiendo el borde del papel filtro en una cubeta con un disolvente adecuado que va penetrando al papel por acción capilar. Durante el desarrollo, la tira de papel está suspendida verticalmente colocándose junto

con el disolvente en un recipiente cerrado, de forma que el espacio del mismo quede saturado con vapor del disolvente.

En la cromatografía ascendente, la muestra se coloca en la parte baja del papel, que se sumerge en el disolvente revelador en el fondo del recipiente; en cromatografía descendente, la muestra se coloca cerca del borde de la parte más alta del papel, que se desliza sobre la pared de la cubeta que contiene el líquido revelador (sujeto en la parte alta del recipiente cerrado que aísla a todo el sistema).

A medida que el disolvente se desplaza a lo largo del papel, los componentes de la muestra se extienden y separan en zonas en función de sus adsorbabilidades diferentes sobre las fibras de celulosa. Los componentes separados pueden identificarse sobre el papel mediante reactivos capaces de originar productos coloridos con los componentes de la muestra, o bien, pueden observarse bajo una luz ultravioleta si se trata de sustancias fluorescentes; en el caso de que los componentes sean coloridos éstos podrán observarse sin llevar a cabo ninguna reacción. Sin embargo, para llevar a cabo un mejor revelado, se recomienda la observación en primera instancia bajo luz U.V. y posteriormente realizar el revelado con yodo. Si se desea, puede cortarse el papel en trozos de tal forma que cada uno de éstos contenga un sólo componente para análisis posteriores.

La mejor resolución puede obtenerse por cromatografía *bidimensional*. La muestra se coloca en el ángulo de una hoja de papel de filtro y se desarrolla el cromatograma en una dirección; después de hacer girar el papel en un ángulo de 90 °C se desarrolla el cromatograma de nuevo, a veces con un disolvente diferente.

CAPITULO VII

DESARROLLO EXPERIMENTAL

El objetivo fundamental de ésta tesis, es encontrar una metodología eficaz, rápida y sencilla por medio de la cual sea posible la determinación y comparación del colorante con el cual está teñida una fibra encontrada como indício en el lugar de los hechos. Para lograr lo anterior, primero se realizó un amplio trabajo de investigación bibliográfico, por medio del cual se recopilaron una gran cantidad de experiencias de diferentes autores en relación a extracción, corrimientos, preparación de reactivos etc. para después continuar con un trabajo de laboratorio en el que se llevó a cabo la aplicación de dichas experiencias, y en conjunción de todas ellas lograr la estandarización de un método único que permite obtener resultados satisfactorios en muy poco tiempo.

VII.1. MATERIAL, EQUIPO Y REACTIVOS.

A) Material:

Mechero.	Termómetro de -20 a 150 °C.
SopORTE Universal.	Tubos capilares.
Tela de asbesto.	Vasos de ppdo. de 250 ml.
Triplé.	Vidrios de reloj.
Pinzas con nuez.	Aguja de disección.
Frascos ámbar de varios tamaños.	Espátula.
Pipetas graduadas de 5 ml.	Pinzas de disección.
Pipetas graduadas de 10 ml.	Pinzas.
Portaobjetos.	Regla.
Probeta graduada de 50 ml.	Tijeras.
Probeta graduada de 100 ml.	Plumones indelebles.

B) Equipo:

Balanza granataria.

Cámara fotográfica.

Cronómetro.

Encendedor.

Lámpara de luz U.V.

Microscópio compuesto.

Microscópio estereoscópico.

C) Reactivos químicos:

Acetona.

Acido acético.

Acido oxálico.

Agua destilada.

Alcohol amílico.

Alcohol etílico de 90°.

Alcohol isobutílico.

Cloroformo.

Detergente.

Gasolina.

Hidróxido de amonio.

Hipoclorito de sodio.

Materia grasa.

Metanol.

Peróxido de hidrógeno.

Piridina.

Polvo absorbente.

Silica gel.

Tricloroetileno.

VII.2. PROCEDIMIENTO DE LABORATORIO.

A) MICROSCOPIA.

Para llevar el estudio microscópico de las fibras, es necesaria una observación microscópica entre 20 y 40x, en la cual se analice su apariencia general y se determine si se trata de uno o varios elementos iguales, características físicas que se presenten en su superficie así como la presencia de adherencias; lo anterior se debe realizar tanto para la fibra problema como para la fibra patrón.

Este es un procedimiento fundamental previo a la extracción, por que de él depende que se lleve a cabo un buen análisis. Esto se debe a la gran cantidad de elementos ajenos a la fibra que pueden adherirse a ella, los cuales únicamente pueden ser identificados mediante una observación microscópica, ya que si éstos existen habrá la necesidad de eliminarlos a través de un lavado.

B) LAVADO DE LAS FIBRAS.

Cuando se ha determinado la presencia de adherencias en la superficie de la fibra y en la naturaleza de las mismas, es necesario llevar a cabo un lavado el cual dependerá del tipo de adherencia que se trate.

Existen una gran cantidad de sustancias que dentro del lugar de los hechos pueden ser adheridas a las fibras, de todas éstas hemos encontrado que las más comunes en la mayoría de los delitos en los cuales es posible encontrar fibras son: grasa de auto, lápiz labial, hierba, lodo o polvo, tinta de bolígrafo, semen y sangre; por lo que sólo a éstas enfocaremos nuestro estudio.

**TABLA. 7.1. MÉTODOS DE LIMPIEZA APLICABLES
A MUESTRAS DE FIBRAS MANCHADAS ANTES
DE LLEVAR A CABO LA EXTRACCIÓN.**

Manchas	Fibras vegetales		Fibras animales	Fibras artificiales	
	Blanco	Color	Lana y Seda	Viscosa	Acetato
Grasa Auto	Lavado.	Lavado con detergente o tricloroetileno, después polvo absorbente.	Enjabonado o tricloroetileno, después polvo absorbente.	Lavado con detergente o tricloroetileno, después polvo absorbente.	Tricloroetileno, después polvo absorbente.
Lápiz Labial	Dejarlo ablandar varias horas con materia grasa.			Raspar el exceso y tratar como grasa.	
Hierba	Lavado, después agua con cloro.	Enjabonado, después agua con amoníaco (rápidamente)			
Lodo	Dejarlo secar, cepillar, después agua con ácido acético diluido.				
Bolígrafo	Anies de lavar, emplear alcohol etílico de 90 °				Emplear gasolina.
Sangre, Semen	Agua con amoníaco, después eliminación de la mancha verdusca; o ácido oxálico durante 10 min, después agua oxigenada.				Intentar con agua y amoníaco.

Deben emplearse las siguientes dosis:

Cloro: Emplear una dilución 1:5 de hipoclorito de sodio en agua. Se enjuaga con una solución amoniacal al 10 %.

Amoniaco (hidróxido de amonio): Emplear una dilución 1:5 en agua.

Acido oxálico: 10 gr por litro de agua.

Agua oxigenada: A los 10 volúmenes de oxígeno se emplea pura.

El polvo absorbente empleado como quitamanchas puede ser talco, se utiliza esparcido por encima y debajo de la mancha.

La materia grasa recomendable, en casos de manchas de lápiz labial, es Cold Cream.

NOTA: Se puede utilizar:

- Cloro con tejidos de fibras sintéticas de color blanco (muy diluido para el tergal).
- Agua con amoniaco para fibras sintéticas (muy diluido para el crilor y el orlón).
- Nada de ácido oxálico para el dinel y el orlón. Sustituirlo por ácido cítrico (limón).

C) EXTRACCION.

Para llevar a cabo un estudio completo, se utilizarán varias fibras correspondientes a cada uno de los grupos en que se dividen las fibras textiles, de tal manera que al finalizar el estudio podamos decir que la técnica es aplicable para cualquier tipo de fibra.

Para la realización de la extracción, es necesario preparar una solución con 4 partes de piridina y 3 partes de agua (líquido extrayente).

Se trabajarán fibras de diferentes tamaños para determinar la cantidad mínima de fibra necesaria para llevar a cabo una buena extracción. La fibra en estudio

es depositada en la parte central de un tubo capilar (para microhematócrito sin heparina), posteriormente se introduce el líquido extrayente el cual dependerá de la cantidad de fibra, recordando que a mayor cantidad de extrayente, la concentración del colorante será más diluida. La cantidad mínima necesaria será determinada experimentalmente empleando fibras de diferentes tamaños con volúmenes diferentes de extrayente.

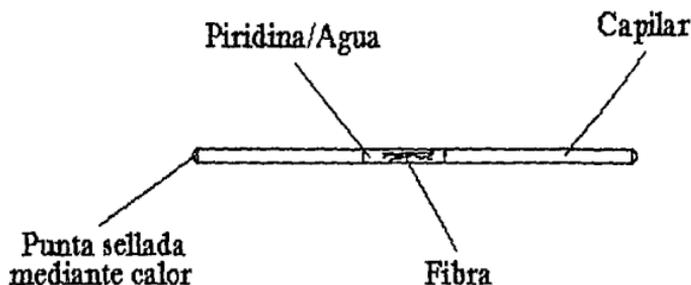


Fig. 7.1. Capilar donde se lleva a cabo la extracción.

Posteriormente se cierran ambas puntas del capilar calentándolas suavemente y en forma circular, empleando para ello un encendedor, teniendo mucho cuidado en que tanto el líquido extrayente como la fibra permanezcan en la parte central del capilar. A continuación se calienta el capilar en baño maría a 90° C durante 30 minutos, terminado éste tiempo se dejará enfriar a temperatura ambiente.

D) CROMATOGRAFIA.

Como se ha mencionado, existen diferentes maneras de llevar a cabo una cromatografía. En el área de química legal, y en específico, para el objetivo de nuestro estudio (determinación del colorante de una fibra), es necesario que los componentes de la cromatografía tengan ciertas características para que los resultados sean más notorios y a su vez más confiables.

A continuación citaremos la forma de preparación de los componentes y reactivos empleados, tomando en cuenta que para llegar a ésta fué necesario realizar un sin número de pruebas para estandarizar el método.

A) Preparación de las placas.

Se utilizará como adsorbente Sílica Gel para cromatografía en capa fina (60GF254 Merck), la cual se prepara tomando en cuenta las siguientes proporciones:

30 gramos de Sílica Gel para 70 mililitros de agua destilada.
(Para obtener 100 ml de gel)

La mezcla anterior deberá tener una consistencia de crema homogénea y espesa, cuyo punto característico es que al introducir un agitador y sacarlo éste quede goteando la mezcla de manera intermitente pero lenta, un hilo continuo indicará una mala preparación de la mezcla (exceso de agua).

Las placas se preparan intruduciendo dos portaobjetos **bien limpios** y unidos entre sí en la mezcla de adsorbente, procurando de que ésta llegue un centímetro antes del borde superior del portaobjetos. Se sacan de la mezcla y se separan para posteriormente dejarse secar. Una vez secos se retira el excedente de sílica gel que se encuentra en los bordes del portaobjetos.

Si se obtienen placas muy gruesas, será necesario adicionar agua destilada en poca cantidad a la mezcla, hasta obtener de nuevo la crema espesa; ésto sucede cuando ya se han preparado una gran cantidad de placas con la misma mezcla, lo anterior se debe a que el agua se evapora con facilidad, aumentando la concentración de sílica gel, produciendo por tanto capas gruesas las cuales ocasionan un difícil corrimiento.

NOTA: La consistencia aguada de la mezcla ocasiona placas sumamente delgadas que producen, al realizar la aplicación de la muestra, un

extendimiento por parte de ésta ocasionando la mezcla de las bandas de corrimiento y por tanto una difícil lectura.

B) Eluyente.

Para cumplir nuestros objetivos, se propone el uso de tres sistemas de elución debido a que los componentes del colorante son desconocidos y por tanto es muy difícil tener un sistema universal, es decir, en ocasiones hay la probabilidad de que el colorante se separe en los tres sistemas, pero en otras ocasiones solamente en uno se lleva a cabo una buena separación capaz de proporcionar un resultado concluyente.

Los sistemas a utilizar son:

I) Piridina / alcohol amílico / amoníaco concentrado (4:3:3).

II) Cloroformo / metanol / agua destilada / amoníaco concentrado (11:7:1:1).

III) Alcohol isobutilico / acetona / amoníaco concentrado / agua destilada (5:5:2:1).

Los eluyentes pueden ser almacenados en frascos bien tapados color ámbar hasta un máximo de tres semanas en un lugar frío y seco, después de éste tiempo no es recomendable su empleo, ya que en los corrimientos se observan manchas amarillas impidiendo una lectura adecuada.

C) Corrimiento.

Con las pinzas de mosco se rompen ambos extremos del capilar en el cual se llevó a cabo la extracción, depositando el extracto en un vidrio de reloj, para posteriormente ser tomado con un capilar con el cual se va a depositar en la placa cromatográfica como se muestra en la figura:

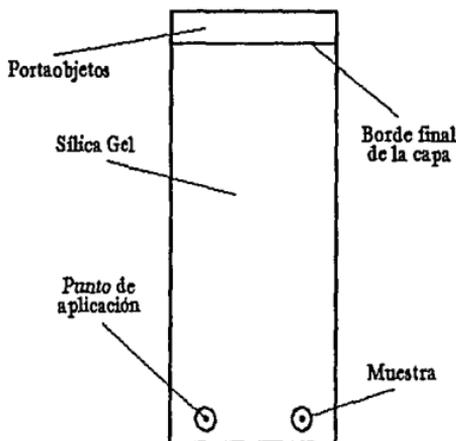


Fig. 7.2. Cromatoplaqa.

Se deja(n) secar la(s) muestra(s) depositada(s) unos cuantos segundos y posteriormente se introduce(n) la(s) placa(s) cromatográfica(s) en la(s) cámara(s) como se muestra en la figura siguiente, dejándose ahí hasta que el corrimiento sea completo (0.5 cm antes de finalizar la capa de sílica gel).

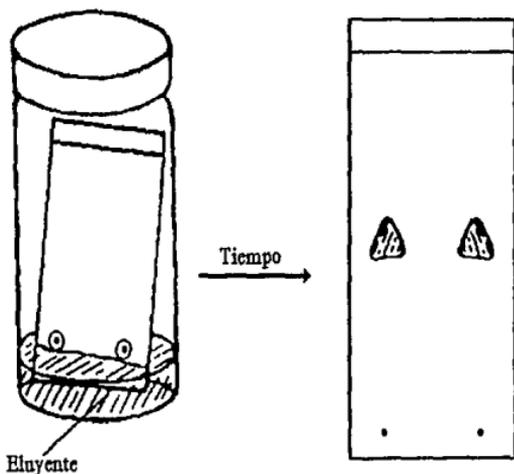


Fig. 7.3. En ésta figura se muestra claramente el procedimiento que se lleva a cabo para la realización de una cromatografía.

Una vez finalizado el corrimiento, se saca(n) la(s) placa(s) cromatográfica(s) y se deja(n) secar, para posteriormente llevar a cabo la comparación de los corrimientos de cada una de las muestras.

El estudio que se llevará a cabo estará dividido en varios puntos (corrimientos cromatográficos), los cuales son:

- a) Fibra color "x" Vs. fibra color "x" (diferente fibra).
- b) Fibra color "x" Vs. fibra color "x" (misma fibra).
- c) Fibra color "x" Vs. fibra color "x" manchada (misma fibra):

- c.1) Fibra manchada de grasa de automóvil.
- c.2) Fibra manchada de lápiz labial.
- c.3) Fibra manchada de hierba.
- c.4) Fibra manchada de lodo o polvo.
- c.5) Fibra manchada de tinta de bolígrafo.
- c.6) Fibra manchada de sangre.
- c.7) Fibra manchada de semen.

d) Fibra de color "x" Vs. fibra de color "x" manchada y posteriormente lavada.

Este punto únicamente se realizará en aquellas fibras cuya mancha afecte el corrimiento, del colorante extraído de la fibra, en la placa cromatográfica.

e) Fibra color "x" Vs. fibra color "y".

NOTA: El procedimiento anterior se llevará a cabo en 10 fibras de cada tipo (fibras vegetales, fibras animales y fibras artificiales).

CAPITULO VIII

RESULTADOS

Esta parte del capítulo estará dividida en dos secciones, a fin de tener una mejor explicación de los resultados obtenidos. Las secciones serán: Resultados obtenidos para la estandarización del método y Resultados obtenidos para las muestras problema.

Debido a lo monótono que sería explicar dentro de éste capítulo 210 o más corrimientos distintos, cuya única diferencia sería la mayor o menor cantidad de bandas a diversas distancias y de colores variados, se decidió por tanto, seleccionar las fibras más representativas, las cuales facilitarán la explicación de los resultados obtenidos en éste trabajo.

Para la estandarización del método se trabajaron 100 fibras de diferente naturaleza y color (origen conocido), de tal manera que abarcáramos por completo los grupos naturales y artificiales de acuerdo a la clasificación mencionada en el capítulo III, para que al trabajar con las fibras problema (110), cuyo origen es totalmente desconocido, se obtengan resultados altamente confiables.

A) Resultados obtenidos para la Estandarización del Método.

Para llevar a cabo la estandarización del método se utilizaron, al inicio de éste trabajo, fibras de 2 cm de longitud con el fin de obtener resultados representativos que nos ayudarán posteriormente a la búsqueda de la cantidad mínima necesaria de fibra para llevar a cabo una buena extracción y, por lo tanto, obtener resultados confiables.

ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Se llevó a cabo la extracción del colorante de cien fibras diferentes utilizando para ello una mezcla de 4 partes de piridina por 3 de agua destilada, en una cantidad proporcional al tamaño de la fibra (2 cm de fibra por 3 cm de la mezcla piridina/agua), encontrándose que en el 96 % de las fibras se obtuvo resultados satisfactorios, es decir, una buena extracción.

En el 4 % restante, se observó que no se llevó a cabo extracción alguna, como se puede observar en la siguiente fotografía:

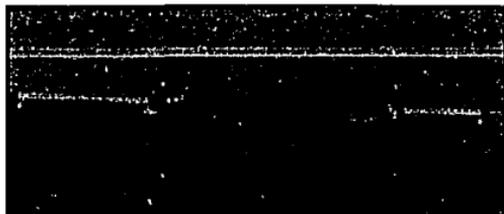


Fig. 8.1. Fibra azul marino 100 % algodón, cuyo colorante no se extrajo con Piridina/Agua.

Debido a lo anterior, se tuvieron que realizar marchas analíticas dependiendo tanto de la naturaleza de la fibra como de su color, para así obtener las extracciones correspondientes.

Las marchas están divididas en dos grandes grupos de acuerdo al origen de las fibras:

a) Fibras de origen animal.

a.1) Para colores amarillos, anaranjados, rojos, azules, verdes y pardos.

1.- Hervir 2 veces con ácido acético al 5%.

- 2.- Si el colorante es poco o nada extraído, hervir dos veces 1 minuto con amoníaco diluido 1:100.
- 3.- Si el colorante es poco o nada extraído, hervir de 2 a 3 minutos con solución de acetato sódico al 5 %.

a.2) Para colores púrpuras, violetas, negros y grises.

- 1.- Hervir 2 veces con ácido acético al 5 %.
- 2.- Si el colorante es poco o nada extraído, hervir dos veces 1 minuto con solución hidroalcohólica de amoníaco (1 ml de amoníaco concentrado, 50 ml de alcohol concentrado y 50 ml de agua destilada).
- 3.- Si el colorante es poco o nada extraído, hervir de 2 a 3 minutos con solución de acetato sódico al 5 %.

b) Fibras de origen vegetal.

b.1) Para colores amarillos, anaranjados, rojos, púrpuras, violetas, azules, verdes y pardos.

- 1.- Hervir con amoníaco diluido 1:100.
- 2.- Si el colorante no es extraído, hervir medio minuto con solución de hidróxido de sodio y cloruro de sodio (5 ml de hidróxido de sodio al 35- 40 % y 5 ml de solución saturada de cloruro de sodio), lavar y hervir dos veces con ácido fórmico diluido 1:100.

b.2) Para colores negros y grises.

- 1.- Hervir con amoníaco diluido 1:100.
- 2.- Si el colorante no es extraído hervir con ácido clorhídrico 1:5.
- 3.- Si el colorante no es extraído, hervir 1 minuto con solución de hidróxido de sodio y cloruro de sodio, lavar y hervir con ácido clorhídrico diluido (1:20).

Después de realizar dichas marchas, se obtuvo que la extracción del 4 % restante, ahora fué 100 % satisfactoria, como lo muestra la fotografía siguiente:

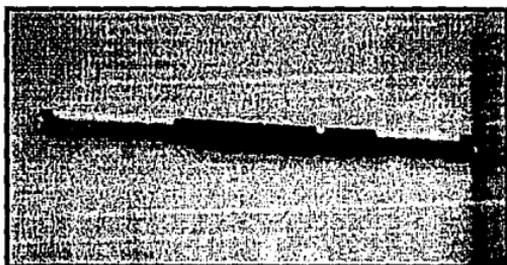


Fig. 8.2. Fibra azul marino 100 % algodón después de llevar a cabo la metodología especial de extracción.

El siguiente paso fué llevar a cabo el corrimiento en cromatoplacas cuya superficie utilizable de sílica gel, en promedio, fué de 6.24 cm; los corrimientos se llevaron a cabo en los sistemas I, II y III (ver capítulo anterior), para los cuales el tiempo de corrimiento en promedio fué:

Sistema	Tiempo (minutos)
I	18.13
II	10.05
III	19.21

Estos tiempos son el resultado de un promedio realizado a todas las muestras con las que se trabajó en cada uno de los tres sistemas, siendo éstos una referencia para saber cual de ellos es el más rápido; se debe tomar en cuenta que éstos tiempos pueden variar dependiendo de la naturaleza del colorante.

Al llevar a cabo el corrimiento de las muestras en los tres diferentes sistemas, se obtuvo siempre, por lo menos, un corrimiento satisfactorio e incluso, en ocasiones, en todos los sistemas se lograron separaciones de excelente calidad.

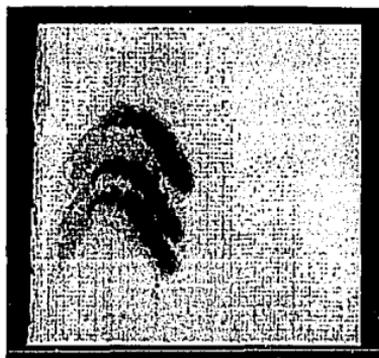
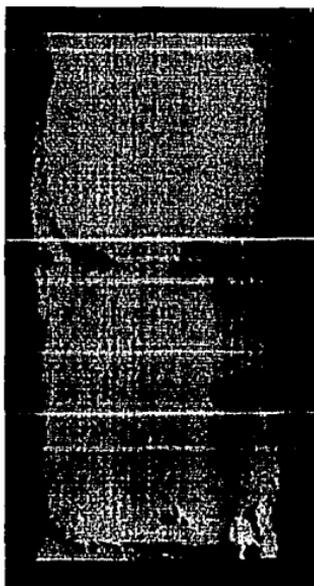


Fig. 8.3. Se muestran claramente las bandas de separación obtenidas en una cromatoplaqa corrida en uno de los tres sistemas.

Como se mencionó anteriormente, también pueden obtenerse corrimientos en los que no es posible lograr una plena identificación, debido a que no hay un claro patrón de bandeo. Lo anterior puede ocurrir en cualquiera de los 3 sistemas, incluso en el sistema II, el cual en la mayoría de las ocasiones, proporcionaba una buena separación de las bandas.

Fig. 8.4. Cromatoplaqa que muestra una mala separación de las bandas, por lo que se recomienda la utilización simultánea de los tres sistemas, a manera de poder obtener en alguno de ellos el mejor patrón de bandeo.



Debido a que en criminalística la cantidad de fibra encontrada como indicio en el lugar de los hechos es sumamente pequeña (la mayoría de las veces), se procedió a la búsqueda de la mínima cantidad de fibra a la que se le puede aplicar ésta técnica. Para ello, se tomó en cuenta que es necesario correr la muestra en los tres sistemas diferentes de eluyentes, por lo que la cantidad mínima de líquido extractor debe ser de 1.5 cm para poder lograr las aplicaciones en las tres placas cromatográficas para los diversos sistemas, ya que cada gota de aplicación es de aproximadamente 0.25 cm además de que se recomienda realizar por lo menos 2 aplicaciones en cada caso, lo anterior se debe a que datos experimentales obtenidos demuestran que una sola gota sólo puede ser confiable cuando se trata de extracciones **muy concentradas** (o de colores fuertes).

Para encontrar la mínima cantidad de fibra utilizable en ésta metodología y tomando en cuenta el concepto anterior, fué necesario probar fibras de diferentes tamaños y de diferentes tipos (fibras de origen animal, vegetal y artificial) de acuerdo a la siguiente tabla:

TABLA 8.1. DET. DE LA CANTIDAD OPTIMA DE LIQUIDO EXTRACTOR

Longitud (cm)	Líquido Extractor (cm)	Resultados
2.0	2.0	1, 4
1.9	1.9	1, 4
1.7	1.7	1, 4
1.5	1.5	1, 4
1.3	1.5	1, 4
1.1	1.5	1, 4
0.9	1.5	1, 4
0.7	1.5	1, 4
0.5	1.5	1, 4
0.3	1.5	2, 5
0.1	1.5	3, 5

n= 15

- Donde en resultados:
- 1) Extracción satisfactoria
 - 2) Extracción tenue
 - 3) Extracción muy tenue
 - 4) Fácil manejo de la muestra
 - 5) Difícil manejo de la muestra.

De acuerdo a la tabla anterior se pudo observar que para las fibras cuya longitud variaba desde 2 cm hasta 0.5 cm es posible llevar a cabo una identificación satisfactoria, puesto que la extracción del colorante de la fibra es lo bastante concentrada para obtener un patrón de bandeado definido; por otra parte, se observó que para fibras menores a 0.5 cm el color extraído es muy tenue, por lo que aún realizando varias aplicaciones, el bandeado obtenido al realizar la cromatografía, no es muy evidente. Sin embargo, para fibras de colores muy tenues se recomienda como mínima cantidad 1 cm.



Fig. 8.5. Se muestra la mínima cantidad de fibra con la que se puede llevar a cabo una buena extracción.

B) Resultados obtenidos para las Fibras Problema.

Se trabajaron 110 fibras problema de las cuales 70 de ellas estaban manchadas con diversas sustancias que por su misma naturaleza pueden adherirse fácilmente a las fibras; las sustancias con las que se mancharon las fibras fueron :

- Grasa de automóvil
- Lápiz labial
- Hierba
- Lodo o barro
- Tinta de bolígrafo
- Semen
- Sangre.

En el lugar de los hechos podemos encontrar éstas y muchas otras sustancias más, por lo que se buscaron las más comunes y representativas de todas las sustancias que son posibles de encontrar en el sitio del delito.

Los resultados de los corrimientos realizados están divididos en los siguientes puntos:

a) Corrimientos efectuados entre fibras del mismo color y origen (la misma fibra).

Lo que se buscó con éste experimento es demostrar la funcionalidad de la metodología como técnica de identidad entre los colorantes de fibras encontradas en el lugar de los hechos, a través de corrimientos entre fibras (patrón y problema) iguales. Para ello se aplicó la hipótesis de que dos fibras, al ser sometidas a ésta técnica y obtener un patrón de bandeo igual para ambas, se confirma que dichas fibras fueron teñidas con el mismo colorante.

Para comprobar la hipótesis planteada anteriormente, se realizaron varios corrimientos entre fibras patrón y fibras problema del mismo color y mismo origen:

CANTIDAD	FIBRA	COLOR
1	Poliéster 100 %	Café oscuro
1	Lino 100 %	Verde olivo
1	Algodón 100 %	Azul claro
1	Acrílico 70 % Lana 30 %	Rojo

1	Lana 100 %	Morado
1	Poliéster 50 % Algodón 50 %	Azul marino
1	Rayón 100 %	Naranja
1	Viscosa 100 %	Vino
1	Algodón 100 %	Rosa
1	Nylon 100 %	Verde bandera

Una vez llevados a cabo los corrimientos anteriores, se pudo comprobar que efectivamente la técnica es funcional para establecer la identidad entre los colorantes con los cuales fueron teñidas las fibras, ya que después de realizar los corrimientos cromatográficos se pudieron observar patrones de bandeo perfectamente bien definidos, como se puede observar en la siguiente figura:

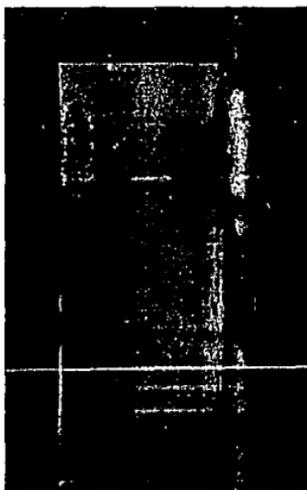


Fig. 8.6. Corrimiento cromatográfico de dos fibras teñidas con el mismo colorante.

Obsérvese el mismo patrón de bandeo (dos manchas) en ambos lados de la cromatoplaaca, lo que corresponde a una plena identidad. (Corrimiento de una fibra 100 % Lino color verde olivo.).

b) Corrimientos efectuados entre fibras de diferente color.

Este segundo punto se realizó como complemento del anterior, ya que a través de éste experimento se comprobó la eficacia del proceso en la identificación de los colorantes de una fibra. Este procedimiento se basó en la hipótesis de que si las fibras están teñidas con diferente colorante, el patrón de bandeado será totalmente distinto.

Para llevar a cabo la comprobación de ésta hipótesis, se corrieron diferentes muestras de fibras de diversos colores:

CANTIDAD	FIBRAS EMPLEADAS EN LOS CORRIMIENTOS
1	Negro 100 % Poliéster vs. Verde 100 % Nylon
1	Flusha 100 % Lana vs. Rojo 100 % Algodón
1	Amarillo 100 % Acrílico vs. Rosa 100 % Algodón
1	Gris 100 % Rayón vs. Morado 100 % Lino
1	Café 100 % Algodón vs. Azul marino 100 % Viscosa
1	Negro 100 % Poliéster vs. Rojo 100 % Algodón
1	Verde 100 % Nylon vs. Flusha 100 % Poliéster
1	Amarillo 100 % Acrílico vs. Morado 100 % Lino
1	Gris 100 % Rayón vs. Rosa 100 % Algodón
1	Café 100 % Algodón vs. Gris 100 % Rayón
1	Azul marino 100 % viscosa vs. Rojo 100 % Algodón
1	Morado 100 % Lino vs. Flusha 100 % Lana
1	Rojo 100 % Algodón vs. Amarillo 100 % Acrílico
1	Verde 100 % Nylon vs. Café 100 % Algodón

Para los corrimientos anteriores se obtuvieron bandas totalmente diferentes, tanto en su número como en el color de las mismas, lo cual es un signo claro de desigualdad, por lo que esto se puede considerar como un parámetro fundamental para afirmar que dos fibras no están teñidas con el mismo colorante; a continuación se muestra un ejemplo de uno de los corrimientos obtenidos:



Fig. 8.7. Gráfica que muestra el corrimiento de dos fibras de distinto color. Nótese el patrón de bandeo diferente para cada una de ellas, lo que sugiere desigualdad de los colorantes. (Corrimiento entre fibra verde 100 % Nylon vs. fibra café 100 % Algodón.).

c) Corrimientos efectuados entre fibras diferentes del mismo color.

Este punto puede ser considerado como uno de los más importantes, puesto que pone a prueba nuestra metodología, ya que aquí se realizaron corrimientos entre fibras de diferente origen, cuyo color a simple vista es totalmente indiferenciable (se aprecia el mismo color). La hipótesis aplicada en éste inciso, es la conjunción de las dos mencionadas anteriormente.

Para realizar ésta prueba, se llevaron a cabo 10 corrimientos de fibras de igual color pero de distinto origen:

CANTIDAD	FIBRAS	COLOR
1	100 % Lino vs. 100 % Lana	Verde
1	50 % Poliéster 50 % Algodón vs. 100 % Lana	Azul marino
1	100 % Viscosa vs. 100 % Algodón	Vino
1	55 % Ramina 45 % Algodón vs. 100 % Lino	Amarillo
1	80 % Poliéster 20 % Rayón vs. 100 % Algodón	Marrón
1	100 % Poliéster vs. 50 % Acrílico 50 % Poliéster	Negro
1	100 % Algodón vs. 70 % Poliéster 70 % Acrilán	Fiusha
1	100 % Nylon vs. 100 % Lino	Morado
1	70 % Acrílico 30 % Lana vs. 100 % Poliéster	Rojo
1	100 % Poliéster vs. 100 % Algodón	Café

En cada uno de los corrimientos anteriores, se obtuvieron cromatogramas que indicaban claramente que los colorantes analizados no tenían la misma composición, esto es, que no eran iguales (aunque aparentemente sí, sobre todo los rojos); la diferenciación fué clara, pues en todos ellos se obtuvieron patrones sumamente definidos, algunos con más o menos bandas pero siempre diferentes entre sí, como se puede observar en las figuras siguientes:



Fig. 8.8. Cromatoplaque que muestra el corrimiento de dos fibras diferentes de color rojo. Nótese el diferente patrón de bandeado en cada una de ellas. (Corrimiento entre fibras de 70 % Acrílico 30 % Lana vs. 100 % Poliéster.).

Fig. 8.9. Corrimiento realizado entre fibras distintas, de color café. Obsérvese el diferente patrón de bandeo para cada una de ellas, lo que indica la diversa composición de los colorantes. (Corrimiento realizado entre fibras de 100 % Algodón vs. 100 % Poliéster.).



d) Corrimientos realizados con fibras manchadas.

En éste punto, se analizó qué tanto pueden verse afectadas las cromatografías cuando las fibras a estudiar se encuentran manchadas. Para ello se efectuaron corrimientos entre una misma fibra (una manchada y la otra no) en una sola cromatoplaça, llevando a cabo una comparación entre los patrones de bandeo obtenidos y determinar, de ésta manera, si en realidad la mancha interfiere en él.

Tomando en cuenta el punto de vista químico legal, la cantidad de manchas que en un momento dado pueden encontrarse adheridas a una fibra o viceversa, puede ser muy grande, por lo que se escogieron las que a nuestro juicio son las más representativas.

Las fibras (manchadas y no manchadas) que se analizaron para cada punto fueron:

CANTIDAD	FIBRAS MANCHADAS Y NO MANCHADAS)	COLOR
1	Lino 100 %	Azul marino
1	Poliéster 100 %	Negro
1	Acrílico 70 % Lana 30 %	Rojo
1	Algodón 100 %	Café
1	Lana 100 %	Verde
1	Acrilica 100 %	Naranja
1	Nylon 100 %	Morado
1	Viscosa 100 %	Vino
1	Poliéster 80 % Rayón 20 %	Marrón
1	Ramina 55 % Algodón 45 %	Flusha

d. 1) Corrimientos de fibras manchadas con Grasa de Automóvil.

El resultado obtenido en éste punto, fué totalmente opuesto a lo que se pensaba conseguir, ya que se esperaba que al realizar la extracción del colorante, la grasa de auto también se extrajera, interfiriendo totalmente en el patrón de bandeo producido por el colorante de la fibra al realizar la cromatografía.

Sin embargo, el resultado fué totalmente lo opuesto, ya que las bandas producidas fueron iguales en coloración y número tanto para la fibra manchada como para la no manchada, no obstante, la única diferencia apreciable entre los dos patrones de bandeo, fué que el producido por la fibra manchada con grasa de automóvil era un poco más tenue que el producido por la fibra no manchada. Como una prueba complementaria, se observó el cromatograma bajo luz ultravioleta, sin que el patrón de bandeo producido por la fibra manchada presentara bandas fluorescentes.

A continuación observaremos un cromatograma en el cual se muestra lo anteriormente expuesto:

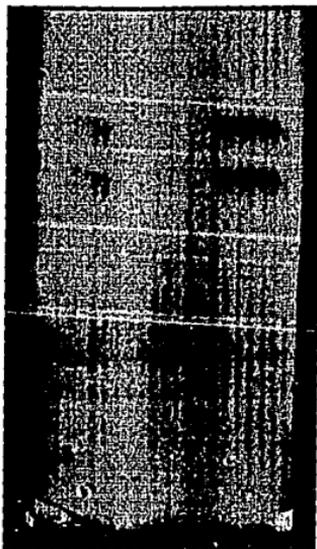


Fig. 8.10. Cromatoplaqa que muestra el corrimiento entre una fibra no manchada (derecha) y una manchada con grasa de automóvil (izquierda). Nótese que la única diferencia es la intensidad de las bandas. (Muestra empleada: Viscosa 100 % color vino).

4.2) Corrimientos de fibras manchadas con Lápiz Labial.

Otro tipo de mancha bastante común, es la de lápiz labial, la cual es generalmente encontrada en sitios en los cuales hubo forcejeo contra una mujer u homosexual maquillados, es por eso que fué una de las elegidas para llevar a cabo el estudio.

Los resultados que se obtuvieron en éste punto, demuestran claramente que el bilé sí afecta notablemente el corrimiento del colorante de una fibra, ya que como se puede apreciar en la figura 8.11. el patrón de bandeado de la fibra no manchada es totalmente diferente al de la manchada, pues en ésta última se presentan bandas de colores sumamente fuertes que opacan y ocultan por completo los colores de las bandas producidas por el colorante en sí. Es importante que se realice una observación bajo luz ultravioleta de las bandas producidas por el lápiz labial, puesto que la presencia de bandas fluorescentes en ellas, proporciona una importante ayuda en el esclarecimiento del caso.



Fig. 8.11. En ésta figura se muestra una placa cromatográfica en donde se observa clamaramente que el patrón de bandeo producido por la muestra manchada (derecha) interfiere totalmente el producido por la muestra no manchada (izquierda). La flecha indica una banda muy tenue la cual es enmascarada totalmente por las bandas producidas por el lápiz labial (lado derecho). (Muestra empleada: Lino 100 % color azul marino).

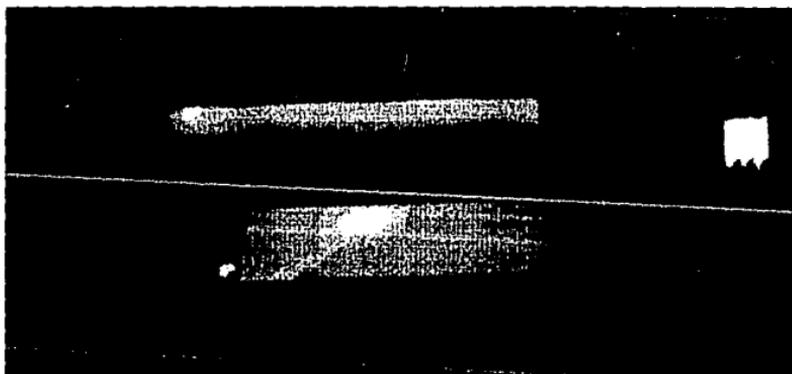


Fig. 8.12. La fotografía muestra la observación realizada de la cromatoplaça de la figura 8.11 bajo una lámpara de luz ultravioleta. Obsérvese la existencia de bandas fluorescentes en el patrón de bandeo producido por el lápiz labial.

d.3) Corrimientos de fibras manchadas con Hierba, Pasto y similares.

Cuando existe forcejeo, arrastre, etc. en lugares donde hay mucha vegetación, es muy común que las ropas tanto de la víctima como las del sospechoso queden impregnadas con restos vegetales, razón por la cual es importante el estudio de éstas manchas en fibras textiles.

Al llevar a cabo los corrimientos de las fibras, de acuerdo a la lista expuesta al inicio de éste tema, se observó que en todos los corrimientos realizados el patrón de bandeo no fué alterado por la presencia de pasto o hierba, es decir, los cromatogramas eran exactamente iguales. Al observar cada cromatograma bajo una lámpara de luz U.V., no se observó banda fluorescente alguna.

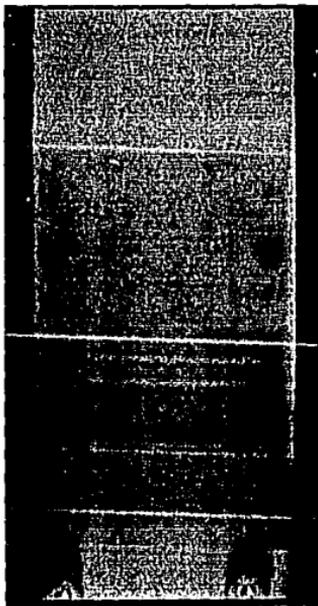


Fig. 8.13. Placa cromatográfica que muestra un mismo patrón de bandeo tanto para la fibra-no manchada (izquierda), como para la fibra manchada de hierba (derecha). (Muestra empleada: Poliéster 100 % color negro).

d.4) Corrimientos de fibras manchadas con Lodo o Polvo.

Es muy común la presencia de lodo o polvo en muestras textiles obtenidas en el lugar de los hechos, siendo en un momento dado de gran importancia, sobre todo las manchadas con lodo, ya que éstas contienen restos de suelo cuyo análisis puede ser un complemento para determinar el lugar de donde provienen dichas muestras.

Para llevar a cabo éste análisis, fué necesario realizar corrimientos de fibras manchadas con lodo contra fibras no manchadas (ambas del mismo color y origen). Al efectuar los corrimientos correspondientes, se obtuvieron resultados que indicaron la no interferencia de dicho material tanto en el proceso de extracción como en el de separación cromatográfica de las bandas, es decir, el patrón de bandeo obtenido fué exactamente el mismo para ambas.

Por otro lado se efectuó una observación de cada una de las cromatoplasas bajo luz U.V. para detectar la presencia de bandas fluorescentes en el patrón producido por la fibra manchada, obteniéndose resultados 100 % negativos en todas las placas.

Fig. 8.14. La siguiente figura muestra el patrón de bandeo obtenido para una muestra no manchada (izquierda) en comparación con la misma muestra manchada con lodo (derecha). Obsérvese que el patrón de bandeo no se ve afectado. (Muestra empleada: Acrilica 100 % color naranja).



d.5) Corrimientos de fibras manchadas con Tinta de Bolígrafo.

Otra mancha común y muy notoria a simple vista es la de tinta de bolígrafo; debido a la gran cantidad de marcas de bolígrafos que existen actualmente, nosotros seleccionamos a "Bic" ^{MR} por ser una de las marcas más comunes.

Para efectuar éste análisis, se llevaron a cabo varios corrimientos de las fibras mencionadas al inicio manchadas con la tinta. En éste punto los resultados obtenidos no dejan lugar a dudas, de que la tinta efectivamente altera el corrimiento cromatográfico, ya que no se observó claramente el patrón de bandeo producido por el colorante de la fibra, sino un patrón de bandeo de colores fuertes que opaca y oculta totalmente el corrimiento real de la muestra analizada. En éste corrimiento se observa una separación de los componentes de la tinta perfectamente bien definidos, por lo que puede emplearse ésta metodología como una alternativa en el estudio de tintas de bolígrafo.

Como complemento, se realizó un estudio de las cromatoplasmas observándolas bajo una lámpara de luz U.V., no obteniéndose bandas fluorescentes en ningún corrimiento.

Fig. 8.15. Esta fotografía muestra cómo el patrón de bandeo producido por la fibra no manchada (Izquierda) se ve afectado completamente por las bandas producidas por la tinta de bolígrafo (derecha), lo que impide su plena identificación. (Muestra empleada: Acrílica 70 % Lana 30 % color rojo).



d.6) Corrimientos de fibras manchadas con Sangre:

Este punto es uno de los más importantes, ya que es sumamente fácil encontrar fibras textiles manchadas con éste elemento, sobre todo en aquellos casos que implican ataque con arma blanca o de fuego contra otra persona, o bien, en aquellos casos en donde existe una pelea cuerpo a cuerpo.

Los resultados obtenidos al realizar los corrimientos de varias fibras (mencionadas anteriormente), demostraron claramente que la presencia de sangre en éstas afecta de manera determinante la separación de los colorantes de las fibras, ya que no se aprecia de manera precisa las bandas de separación producidas por el colorante, sino que se muestran interferidas por manchas o bandas cafés producidas por la existencia de sangre, por lo que no permiten la apreciación clara de bandas (del colorante) que pueden encontrarse debajo de ellas. Por otra parte, se observaron todas las cromatoplasmas bajo luz ultravioleta con resultados negativos para cada una de ellas.

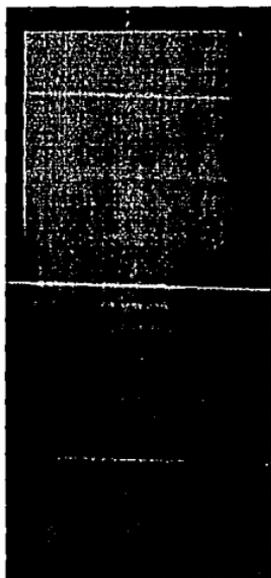


Fig. 8.16. En ésta cromatoplasma se puede observar la clara interferencia producida por la presencia de sangre en una muestra problema (derecha). Del lado izquierdo se muestra el patrón de bandeado producido por la misma fibra no manchada. (Muestra empleada: Algodón 100 % color café).

d.7) Corrimientos de fibras manchadas con Semen.

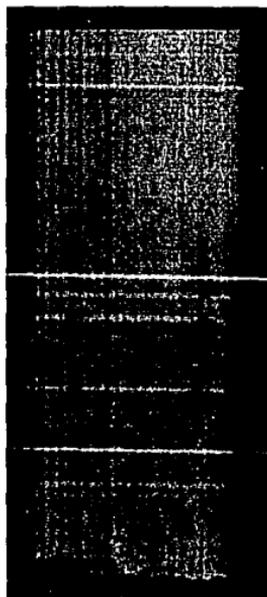
Cuando se producen violaciones o delitos de abuso sexual, es muy común encontrar restos de semen en la ropa ya sea de la víctima o del victimario, o bien es posible que las fibras se encuentren adheridas a dichas manchas que pueden estar en el suelo, en paredes, en sábanas, etc. es por ello que se escogió al semen como una de las manchas importantes de ser analizadas.

Es de gran importancia en éste punto realizar observaciones con luz U.V. de las muestras a analizar (fibras manchadas con semen) ya que el semen puede ser detectado a través de éste medio, pues fluoresce bajo ésta luz.

Al llevar a cabo el estudio de dichas muestras, se encontró que las manchas de semen no afectan los corrimientos cromatográficos, puesto que los patrones de bandeo permanecen intactos pudiendo ser comparados con los producidos por las fibras no manchadas.

Una vez realizados los corrimientos, se procedió a efectuar una observación de los cromatogramas con luz ultravioleta, no encontrándose restos de fluorescencia en las bandas producidas por el colorante.

Fig. 8.17. El corrimiento cromatográfico, en ésta fotografía, muestra el mismo patrón de bandeos tanto para la fibra no manchada (izquierda) como para la fibra manchada de semen (derecha). (Muestra empleada: Ramina 55 % Algodón 45 % color flusha).



e) Corrimientos efectuados de las fibras en las que la mancha afecta el patrón de bandeo, y a las cuales se les aplicó un tratamiento previo de lavado para eliminarlas.

En éste punto se trabajó con aquellas fibras del inciso anterior, en las cuales el patrón de bandeo se vió afectado por la presencia de la mancha. Las sustancias que tuvieron un efecto nocivo en el corrimiento del colorante de la fibra fueron:

- 1) Lápiz labial,
- 2) Tinta de bolígrafo y
- 3) Sangre.

Las fibras manchadas con las sustancias arriba mencionadas, fueron sometidas a un tratamiento específico de lavado de acuerdo a la metodología de lavado expuesta en el capítulo anterior (tabla 7.1.).

Una vez lavadas, se procedió a llevar a cabo los corrimientos cromatográficos correspondientes, comparando las fibras ya lavadas contra sus equivalentes no manchados con el propósito de verificar si la técnica de lavado es adecuada, es decir, si el colorante no se ve afectado por las sustancias que en ella se emplean, afectando también la separación de los colorantes en la cromatografía.

e.1) Lavado de fibras manchadas con Lápiz Labial.

Después de llevar a cabo el tratamiento de lavado específico para una fibra manchada con lápiz labial, se obtuvo que el corrimiento cromatográfico era idéntico al de la fibra no manchada, lo que significa que el procedimiento de lavado fué satisfactorio.

En las siguientes figuras se muestran los corrimientos cromatográficos para antes y después del lavado:

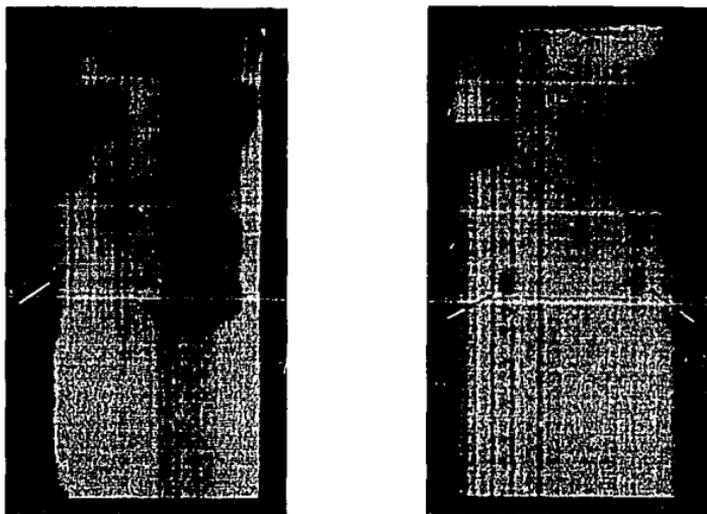


Fig. 8.18 a) y 8.18 b). La cromatopla de la izquierda muestra los patrones de bandeo producidos por una muestra no manchada y por otra manchada con lápiz labial. La figura de la derecha, muestra los patrones de bandeo de una fibra no manchada y de otra manchada con tratamiento previo de lavado. Obsérvese cómo el tratamiento de lavado fué 100 % eficaz. (Muestra empleada: Lino 100 % color azul marino).

e.2) Lavado de fibras manchadas con Tinta de Bolígrafo.

Al realizar el lavado correspondiente a las fibras manchadas con tinta de bolígrafo, se pudieron apreciar que las manchas fueron totalmente removidas, por lo que al realizar los cromatogramas de las fibras ya lavadas, se obtuvieron patrones de bandeo iguales para cada una de ellas; ésto nos hace afirmar que el tratamiento de lavado fué satisfactorio.

En las siguientes figuras se muestra como fué evolucionando el proceso de lavado para las fibras manchadas con tinta de bolígrafo:



Fig. 8.19. Fibra roja 70 % Acrílico 30 % Lana manchada con tinta azul de bolígrafo "Bic" ^{MR}.

Fig. 8.20. Lavado de la fibra manchada con tinta. Obsérvese que en el tubo de ensaye se obtuvo una extracción de la tinta satisfactoria.



Fig. 8.21 a) y 8.21 b). Se muestran cromatoplasmas antes (izquierda) y después del lavado (derecha). Nótese la completa eliminación de las bandas producidas por la tinta.

e.3) Lavado de fibras manchadas con Sangre.

Finalmente, se llevó a cabo el lavado de las fibras manchadas con sangre, pues ésta mancha también interfirió de manera notoria en los corrimientos cromatográficos de las fibras, razón por la que se necesitó eliminarla completamente.

Después de aplicar la metodología de lavado, se pudo constatar que el método funciona eficazmente, ya que al realizar los corrimientos cromatográficos de la muestra no manchada vs. la muestra manchada con tratamiento de lavado, los patrones de bandeo fueron idénticos como se puede apreciar en las siguientes figuras:

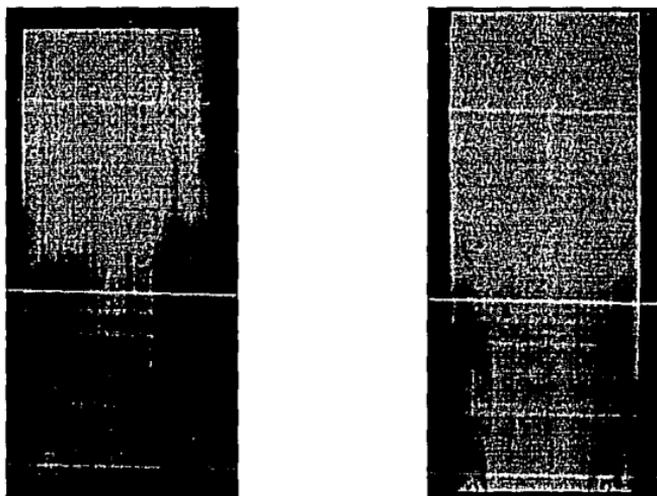


Fig. 8.22 a) y 8.22 b). Cromatogramas que muestran la eficiencia de la metodología del lavado para muestras manchadas con sangre. Obsérvese en la figura de la derecha el patrón de bandeo igual tanto para la fibra no manchada como para la fibra manchada y posteriormente lavada.

INTERPRETACION Y ANALISIS DE RESULTADOS

IX.1. INTERPRETACION DE RESULTADOS.

Como se pudo observar en los resultados obtenidos, el estudio de identificación del colorante con el que fueron teñidas fibras textiles encontradas como indicio en el lugar de los hechos, es más que nada un estudio comparativo, que depende básicamente de la confrontación entre bandas resultantes de un corrimiento cromatográfico.

Como todo estudio comparativo, en muchas ocasiones, tiene que intervenir el criterio del investigador, puesto que como todo proceso experimental, puede estar sujeto a una gran cantidad de variables, las cuales deben estar completamente controladas para poder aplicar un criterio adecuado y obtener resultados satisfactorios.

Para llevar a cabo una buena interpretación de resultados, es necesario conocer ciertos **lineamientos fundamentales** aplicables para éste trabajo a saber:

- a) El número de bandas,
- b) Distancia entre las bandas,
- c) Coloración de las bandas,
- d) Forma de las bandas y
- e) Presencia de bandas fluorescentes bajo luz U.V.

Todos éstos lineamientos deben de ser aplicados para los corrimientos cromatográficos tanto de la fibra problema como de la fibra patrón.

a) Número de bandas: El número de bandas presentes en los corrimientos de la fibra problema y la fibra patrón o estándar, deberá ser el mismo para ambas.



Fig. 9.1. Cromatoplaaca en la que se muestra el igual número de bandas tanto en el patrón de bandeado de la fibra problema como en el de la fibra estándar. (Muestra empleada: Acrílico 70 % Mohair 30 % color café).

Sin embargo, puede existir el caso en el que el número de bandas no sea el mismo aunque los demás lineamientos coincidan en ambas partes, es aquí donde intervendrá el criterio del investigador.

En éste caso, si el número de bandas es mayor en el corrimiento de la muestra patrón, lo más probable es que no se trate de la misma fibra; por el contrario, cuando ésto ocurre a la inversa, es decir, que el número de bandas sea mayor en la muestra problema (siempre y cuando todas y cada una de las bandas de la muestra problema se encuentren en la misma posición, con la misma forma, color, etc. de las bandas producidas por la muestra patrón), entonces es probable que se trate de la misma fibra y que las manchas extras que se presenten en el patrón de bandeado de la fibra problema, se puedan deber a la presencia de impurezas presentes en la misma, tales como manchas que no fueron eliminadas completamente en el proceso de lavado (Tabla 7.1.).

Para poder aplicar la consideración anterior, es indispensable realizar un análisis microscópico de la(s) fibra(s) antes de llevar a cabo el(los) corrimiento(s)

cromatográfico(s), para poder determinar posibles impurezas presentes en la superficie de la(s) misma(s), las cuales deberán de ser eliminadas antes de proceder a efectuar el cromatograma. En caso de que las impurezas no sean eliminadas totalmente en el proceso de lavado, éstas interferirán en el corrimiento, produciendo bandas extras en el patrón de bandeado de la fibra problema, por lo que será necesario emplear técnicas alternativas para poder llevar a cabo una plena identificación de la fibra (Capítulo V) .

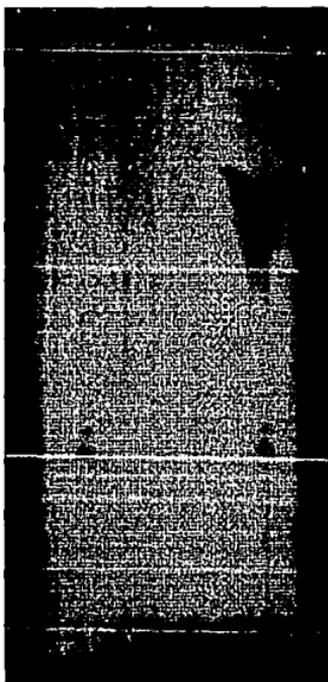


Fig. 9.2. Figura que muestra bandas extras en la muestra problema (derecha), producidas por restos de tinta de bolígrafo que no fueron completamente eliminadas durante el proceso de lavado. Obsérvese el patrón de bandeado semejante para ambas muestras (parte inferior).

(Muestra empleada acrílica 70 % Lana 30 % color rojo).

b) Distancia entre las bandas: La distancia entre las bandas, es otro parámetro importante para la determinación de identidad entre fibras problema y patrón. Para poder afirmar identidad entre las fibras, es necesario que cada una de las bandas contenidas en la fibra patrón tenga un equivalente idéntico

en las bandas de la fibra problema, tanto en color, forma, número de bandas, etc., de tal manera que la distancia recorrida por las bandas de cada fibra sea la misma. Sin embargo, puede haber casos en los que las bandas de cualquiera de las fibras (patrón o problema) se encuentren **un poco desfasadas** entre sí (siempre y cuando el número de bandas en ambos lados sea el mismo y con los demás parámetros de interpretación iguales); en éste caso puede entrar el criterio del investigador, tomando en cuenta que el desfasamiento pudo llevarse a cabo por diversas razones, como una mala colocación de la cromatoplaca dentro de la cámara o bien grumos en la capa de sílica gel que impidan la libre ascensión del eluyente.

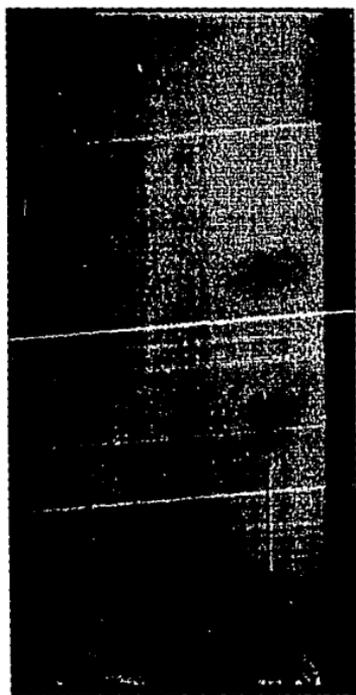
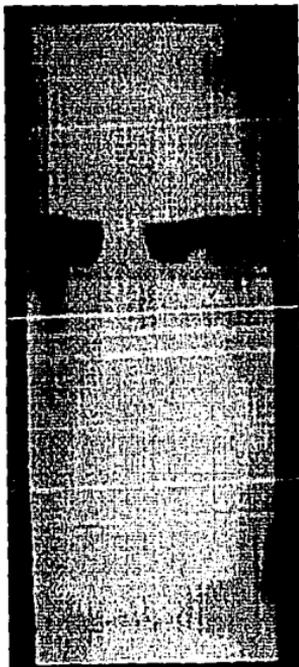


Fig. 9.3. Desfasamiento de bandas. En la figura se puede observar que los patrones de bandeado no presentan una misma distancia en el corrimiento; aunque el número, color y forma de las bandas es el mismo.

c) Coloración de las bandas: La coloración de las bandas es otro parámetro que nos facilita la identificación de un colorante, ya que como se pudo observar a lo largo de éste trabajo, al llevar a cabo una separación de un colorante éste se descompone en diferentes bandas coloridas (en la mayoría de los casos) producidas por cada uno de sus componentes. El color de cada una de las bandas y junto con todas las demás resultantes del corrimiento, nos proporciona un claro patrón de identificación de los colorantes, puesto que al realizar la comparación entre ambas fibras, la coloración de las bandas para ambos corrimientos deberá ser siempre la misma (al igual que los demás parámetros). Una variante que puede existir en éstos casos, es la intensidad de coloración en dichas bandas, pero ésta, en un momento dado, no es un parámetro importante, ya que puede deberse a bajas concentraciones de la solución del colorante extraído.



d) Forma de las bandas: La forma de las bandas es característica para cada corrimiento. Estas dependen, la mayoría de las veces, de la manera en que el eluyente asciende; por ejemplo, si la cromatoplaça se encuentra un poco inclinada durante la realización de la cromatografía, uno de los patrones de bandeo tiende a salirse de la cromatoplaça y el otro a correr de manera inclinada o bien que se observen deformaciones de las bandas hacia uno de los lados (hacia el lado donde se encuentre la inclinación); en éstos casos

Fig. 9.4. Figura que muestra como la forma de las bandas se sigue manteniendo aún cuando tiende a salirse una de ellas de la cromatoplaça. (Muestra empleada: Lino 100 % color Azul marino).

se deberá aplicar el criterio de comparación entre las bandas sobre las distancias recorridas por cada una de ellas, el color y número de las mismas, además de las existencia de bandas fluorescentes dentro de cada uno de los patrones de bandedo.

e) Presencia de bandas fluorescentes bajo luz U.V.: La observación de bandas fluorescentes bajo una lámpara de luz ultravioleta, indica la presencia de sustancias fluorescentes dentro de la composición química del colorante de una fibra; sin embargo, éstas bandas no se pueden observar a simple vista por lo que se recurre a éste medio. La existencia de éstas bandas son un claro patrón de identificación o diferenciación, ya que no son muy comunes. (Ver Fig. 8.12.).

Entre los parámetros comúnmente empleados en las interpretaciones cromatográficas, se encuentran el cálculo del R_f , sin embargo para el fin de éste trabajo no se considera útil, puesto que no existen tablas que indiquen el R_f para cada una de las sustancias que componen a los colorantes, además de que dicho parámetro al realizar el mismo experimento puede variar dependiendo de las condiciones bajo las cuales se lleve a cabo el experimento como son el tipo de eluyente, poro de la sílica gel, temperatura, concentración, etc., por otro lado el objetivo de éste trabajo no es la comparación de los R_f 's, sino la comparación entre los patrones de corrimiento del colorante de una fibra determinada.

IX.2. ANALISIS DE RESULTADOS.

En ésta sección, se analizarán todos los resultados obtenidos en cada uno de los procesos experimentales, realizados en el cumplimiento de los objetivos planteados para éste trabajo.

A fin de llevar a cabo un análisis de resultados claro, hemos separado éste subcapítulo en incisos, de acuerdo a los puntos tratados en el subcapítulo anterior.

a) Estandarización del método:

- Una parte esencial en la estandarización del método fué la de encontrar cual es la **mínima cantidad de muestra** a la que se le puede aplicar ésta metodología. Como todo experimento necesita de un punto de partida, nosotros comenzamos a trabajar con una fibra de 2 cm pues consideramos que fibras mayores a éste tamaño son sumamente difíciles de encontrar en el lugar de los hechos, sin descartar la posibilidad de encontrar en un momento dado fibras de mayor tamaño, lo que sería ideal. Sin embargo, en la mayoría de los casos se encuentran restos de fibras de tamaño muy pequeño, por lo que fué indispensable determinar la mínima cantidad de fibra con la que es posible obtener resultados confiables. Lo anterior es de gran importancia, ya que si se llegan a encontrar fibras de tamaño mayor al requerido como mínimo (0.5 cm), es posible utilizar la fibra restante en otras pruebas que puedan ser complementarias para la identificación de una fibra, en dado caso de que con ésta metodología no se llegue a la identificación plena de la fibra.

- Para que un método de identificación de fibras sea **confiable**, es necesario que éste funcione con la totalidad de los grupos y tipos de fibras existentes; es por ello que se decidió trabajar con más de cien fibras diferentes en origen, tipo y color, abarcando así la mayoría de los grupos descritos en los capítulos II y III. Al llevar a cabo la extracción del colorante de todas las muestras, se encontró que en un 4 % de las fibras no se presentó extracción alguna, por lo que se empleó una técnica alternativa. El porcentaje de fibras en las cuales no hubo extracción, probablemente se encuentren teñidas con un colorante que no esté en forma de sal, ya que la naturaleza química de la piridina (amina aromática heterocíclica con características de amina terciaria, de carácter básico, moderadamente polar) nos indica que es un disolvente poderoso de muchos colorantes en forma de sal, sin embargo, no todos los colorantes poseen un grupo salificable el cual convierte el colorante de una forma insoluble a una forma soluble. Cuando el grupo salificable no se encuentra presente en la molécula del colorante, no se lleva a cabo la extracción con la mezcla piridina/agua, por lo que es necesario emplear otros líquidos extractores.

- Como ya se mencionó anteriormente, el **uso de los 3 sistemas de elución es indispensable**, puesto que al desconocer la naturaleza del colorante con que está teñida una fibra, es arriesgado basar el dictamen en el resultado del corrimiento obtenido en uno sólo de los sistemas, ya que como se pudo observar experimentalmente (fig. 8.4.) en ocasiones no se llevan a cabo separaciones adecuadas, aunque es posible que algunos colorantes se separen satisfactoriamente en los tres sistemas, o en dos o sólo en uno; sin embargo no se sabe en cuál de los tres sistemas de elución se pueda obtener una buena separación. No obstante se comprobó, que en todos los casos, por lo menos uno de los sistemas proporciona una separación adecuada en la cual podemos basar nuestro dictamen.

b) Fibras problema:

Los experimentos realizados estuvieron encaminados a demostrar, primero que nada, la funcionalidad de la técnica y posteriormente su aplicabilidad en fibras con impurezas provenientes del lugar de los hechos. Es por ello, que los análisis de resultados en éste punto estarán divididos en dos grandes bloques:

- Para **demostrar la funcionalidad** de la técnica, se realizaron tres experimentos diferentes, los cuales fueron:

- * Corrimientos entre fibras iguales (mismo color y origen).
- * Corrimientos entre fibras totalmente diferentes (color y origen distinto).
- * Corrimientos entre fibras de igual color, pero diferente origen.

En cada uno de éstos puntos, se obtuvieron resultados específicos con los cuales se pudo comprobar la eficiencia del método.

En el primer experimento: **Corrimientos entre fibras iguales** (mismo color y origen), se buscó que al correr dos fibras exactamente iguales se obtuvieran bandas exactamente iguales. Lo anterior fué el resultado logrado en éste primer ensayo, ya que al ser fibras con características idénticas, la composición química del colorante en cada una de ellas debe ser exactamente la misma, por

lo que al llevar a cabo un corrimiento cromatográfico, el patrón de bandeo obtenido debería coincidir en ambas fibras. Sin embargo, con éste único experimento no era posible afirmar la eficacia de la metodología, puesto que el hecho de obtener patrones iguales en éste ensayo no era un indicativo de que al correr muestras diferentes se obtuvieran patrones diferentes, ya que existía la posibilidad de que los sistemas no funcionaran correctamente produciendo por sí mismos corrimientos con bandas iguales para todas las muestras, es decir, sin una separación clara de los componentes de cada colorante, por lo que se decidió efectuar un segundo experimento que corroborara lo obtenido en ésta prueba.

El segundo experimento consistió en llevar a cabo **Corrimientos entre fibras totalmente diferentes** (color y origen distinto). A través de ésta prueba se trató de comprobar que los sistemas de elución empleados funcionan correctamente. Al llevar a cabo éste ensayo, se obtuvieron corrimientos claros pero diferentes (patrón de bandeo desigual) para cada muestra, lo que corrobora el buen funcionamiento de los sistemas de elución. Los diversos patrones de bandeo obtenidos, se deben a la diferencia en la constitución química del colorante, lo cual es claramente apreciable en la distribución y número de bandas para cada caso.

Con los experimentos anteriores se pudo comprobar la funcionalidad de la técnica, sin embargo, se realizó como complemento, un tercer experimento en el cual se llevaron a cabo **Corrimientos entre fibras de igual color, pero de diferente origen**. Mediante éste ensayo, se pretendió poner a prueba la capacidad del método para poder diferenciar colorantes aparentemente iguales pero de naturaleza química diferente. Al realizar el proceso experimental y obtener los resultados, éstos proporcionaron la suficiente información para llevar a cabo una diferenciación clara de cada una de las fibras (ya que los patrones de bandeo obtenidos para cada una de ellas demuestran de una manera gráfica la diversa composición química de cada colorante), la cual a simple vista era muy difícil de efectuar.

- Para investigar la **aplicabilidad del método en fibras con impurezas provenientes del lugar de los hechos**, se llevaron a cabo diversos corrimientos entre una fibra manchada y no manchada. La finalidad de éstos experimentos, fué la de encontrar si alguna de las manchas presentes en las fibras afectaba el corrimiento, y por lo tanto la separación de los componentes del colorante, lo cual en un momento dado hace imposible una completa identificación de la fibra.

Al llevar a cabo cada uno de los corrimientos, se pudo determinar que sólo tres manchas en las fibras afectan realmente el corrimiento del colorante, siendo éstas: manchas de lápiz labial, de tinta de bolígrafo y de sangre. Para eliminar éstas impurezas y poder llevar a cabo un buen análisis de identificación, fué necesario buscar una metodología de lavado que no alterara la composición química del colorante, es decir, que después de llevar a cabo el proceso de lavado el extracto del colorante quedara intacto como si éste procedimiento nunca hubiese sido efectuado. Una vez sometidas éstas tres fibras al proceso de lavado descrito en capítulo VII y llevar a cabo el corrimiento cromatográfico, se obtuvieron resultados satisfactorios puesto que los patrones de bandeado tanto para las fibras no manchadas como para las fibras ya lavadas, eran exactamente iguales. lo que indica que el proceso de lavado no altera la composición química de colorante y sí proporciona una herramienta sumamente útil para llevar a cabo una identificación completa de la fibra.

Por otro lado, en las fibras con manchas de grasa de automóvil, hierba, lodo y semen no se observó interferencia alguna en el corrimiento, excepto en la de grasa de auto, en la cual la única diferencia clara y observable fué que las bandas producidas por la fibra manchada eran más tenues que las producidas por la fibra no manchada, sin embargo, el patrón de bandeado era el mismo. Esto se debe a que la grasa de auto al ser hidrofóbica, y al cubrir en un momento dado a gran parte de la fibra, impide que exista una total interacción entre el colorante de la misma y la solución de piridina/agua, evitando de ésta manera la extracción completa del colorante por parte de la piridina, ocasionando que la cantidad de colorante extraído sea poco produciendo una concentración menor del colorante que en la extracción de la fibra no manchada; al existir

una concentración baja de colorante, el patrón de bandeo es más tenue, lo contrario sucede cuando existe una alta concentración del colorante, que origina un patrón de bandeo de colores más vivos.

A todos los corrimientos de las fibras manchadas, se les realizó una prueba de observación bajo una lámpara de luz ultravioleta, con el fin de detectar bandas fluorescentes no perceptibles a simple vista. Como se vió en los resultados, sólomente la muestra manchada con lápiz labial proporcionó bandas fluorescentes que indican la presencia de sustancias que fluorescen dentro de la composición química del lápiz labial. Lo anterior es de gran importancia, ya que nos proporciona un parámetro más en la identificación de la fibra.

CAPITULO X

CONCLUSIONES

Las conclusiones a las que se llegaron una vez finalizado el presente trabajo son:

1.- Las fibras textiles como indicio en criminalística, son de gran importancia debido a su individualidad, lo que en un momento dado las hace pruebas únicas para llevar a cabo la detención de un supuesto criminal. Para que dichas fibras tengan un alto valor como evidencia, es necesario que:

- Se tenga una adecuada recolección de la muestra, pues ésto desencadenará un buen análisis de la misma. Los sitios más comunes en los cuales podemos encontrar fibras utilizables para llevar a cabo una investigación son las ropas del delincuente o de la víctima, las manos, armas empleadas, manchas de sangre, semen, y en sí todo tipo de sustancias pegajosas (aceite, grasa de automóviles, secreciones y sustancias melosas). Todos aquellos delitos que involucren contacto personal (asaltos, homicidios, secuestros, violaciones, etc), son de muy alto potencial para encontrar fibras como indicios.

- No se recogan fibras que sean muy comunes en el lugar de los hechos, sino que se deberán buscar aquellas que sean poco comunes o extrañas al lugar, pues éstas tienen una alta probabilidad de provenir de personas ajenas a él.

- Debido a que las pruebas de identificación pueden llegar a ser destructivas para la fibra, se tratará de recoger la mayor cantidad de fibras posible, recolectarlas con cuidado y enviarlas de inmediato al laboratorio de criminalística, en donde se tratará lo más posible de utilizar sólo la cantidad mínima necesaria de fibra para llevar a cabo el análisis.

- Las primeras pruebas que se deberán de aplicar a una fibra en análisis, son aquellas que no destruyan la integridad física de la fibra, y posteriormente si con ellas no se logra identificarla, se aplicarán las pruebas destructivas, tratando de utilizar en primer lugar las que menor cantidad de muestra empleen.

2.- La metodología descrita en ésta tesis, para la identificación de colorantes de fibras textiles encontradas como indicio en el lugar de los hechos, es aplicable para todo tipo de fibras coloridas. Esta técnica, se puede llevar a cabo en cualquier laboratorio de criminalística, incluso en aquellos en los que no se cuenta con una infraestructura de alto presupuesto, ya que se emplean en ella equipo y sustancias químicas de muy bajo costo. Por otra parte, se trata de un estudio comparativo, por lo que para poder ser aplicado será necesario utilizar dos fibras, una proveniente del lugar de los hechos y otra proveniente del supuesto criminal.

3.- La piridina/agua es el líquido extractor más recomendado, puesto que lleva a cabo la extracción del colorante de la mayoría de las fibras; sin embargo, se deberán utilizar métodos alternativos de extracción (descritos en el trabajo), en caso de que la solución de piridina/agua no pueda realizarla. Los métodos alternativos de extracción, se aplican de acuerdo a la naturaleza y color de las fibras.

4.- Se deberán utilizar los tres sistemas de elución descritos, ya que al ser desconocida la composición química del colorante de las fibras, no se puede determinar en cual de los sistemas se llevará a cabo una separación satisfactoria. El tiempo de elución en los diferentes sistemas, varía de acuerdo a la naturaleza química del colorante, pero en general el sistema II es el más rápido y en el que en la mayoría de los casos se obtienen muy buenas separaciones. Se puede emplear el sistema II como sistema presuntivo, en caso de que se tenga que dar un resultado previo con rapidez, sin embargo no se deben descartar los dos sistemas restantes, puesto que un resultado 100 % confiable depende de una observación en los tres sistemas.

5.- Para llevar a cabo la metodología descrita en éste trabajo, se deberán emplear fibras no menores de 0.5 cm, puesto que fibras de menor longitud producen corrimientos cromatográficos de difícil observación.

6.- En muestras de fibras manchadas, es necesario realizar una observación bajo el microscopio estereoscópico, con el fin de determinar qué tipo de sustancia es la que se encuentra en la fibra. De acuerdo al tipo de sustancia

que se encuentre adherida a la fibra, será el método de lavado a aplicar, tratando en lo más posible de no alterar la composición química del colorante. Si el proceso de lavado es el adecuado, se obtendrán cromatoplasmas que muestren separaciones de los componentes del colorante como si la fibra nunca hubiera estado manchada. La separación de los componentes del colorante en la cromatografía se verá afectada si se realiza un proceso de lavado en el cual se altere la composición química del colorante. Las sustancias que interfieren en el corrimiento y separación de los colorantes en sus componentes son: lápiz labial, tinta de bolígrafo y sangre, mientras que la grasa de automóvil, hierba, lodo y semen son sustancias que no afectan la separación de los colorantes. Todas las muestras a las que no se les aplique un tratamiento de lavado específico deberán lavarse por lo menos con agua destilada. Una observación de las cromatoplasmas bajo una lámpara de luz ultravioleta es sumamente importante, pues mediante ésta se puede determinar la presencia de bandas fluorescentes en el patrón de bandeos.

7.- Si el corrimiento entre dos fibras (problema y patrón) nos proporciona el mismo patrón de bandeos, indica que el colorante con el que fueron teñidas ambas fibras **es el mismo**. Si el corrimiento entre dos fibras (problema y patrón) da un diferente patrón de bandeos, indica que el colorante con el que fueron teñidas ambas fibras **es diferente**. Si el patrón de bandeos entre dos fibras (problema y patrón) es igual, se tendrá una prueba válida para presentarse ante un juez, y por lo tanto, ayudar a capturar a un supuesto criminal. Es obvio que cuando se trate de fibras de diferente color, ésta técnica no es necesario emplearse, sin embargo, en ocasiones cuando el color de las fibras se observe idéntico a simple vista, es rigurosamente necesario aplicarla, puesto que colores aparentemente iguales pueden dar patrones de bandeos completamente diferentes. Es necesario realizar, además de ésta metodología, otras pruebas complementarias en la identificación de una fibra o fibras, para poder tener una completa seguridad y no emitir falsos resultados.

APENDICE A

RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se deben de tomar en cuenta para manejar con mayor facilidad la técnica descrita en éste trabajo y obtener mejores resultados son:

1.- Cuando se trate de muestras de colores muy tenues, se recomienda emplear por lo menos 1 cm de muestra, para obtener una mayor cantidad de extracto del colorante y realizar un mayor número de aplicaciones en el cromatograma.

2.- Para muestras de colores fuertes u oscuros, puede emplearse como mínima cantidad 0.5 cm de fibra, no así para muestras de colores muy tenues.

3.- Si se tienen dificultades para introducir cierto tipo de fibras dentro del capilar, es recomendable mojarlas con un poco de agua destilada y posteriormente secarlas, de ésta manera se facilitará su introducción.

4.- Se recomienda el empleo de tubos capilares marca DADE Microhematocrit Tubes Nonheparinized (DADE Division American Hospital Supply). Por otra parte, es recomendable eliminar de los tubos capilares la marca que presentan en uno de sus extremos (marca que indica hasta donde se debe de llenar con sangre para realizar un microhematócrito), ya que algunas de ellas pueden extraerse al llenar el capilar con el líquido extractor y alterar el patrón de bandeó.

5.- Cerrar perfectamente ambos extremos del capilar, para evitar que al sumergirlos en el baño maría no se introduzca agua que altere la composición del líquido extractor. Para realizar un buen sellado de los extremos del capilar, se recomienda rotarlo suavemente con la yema de los dedos y apenas tocando la flama producida por un encendedor.

6.- Una vez realizada la extracción, es recomendable abrir el capilar por ambos extremos (para sacar el líquido extractor) con la ayuda de unas pinzas de disección (pinzas de mosco o pinzas hemostáticas), para evitar romper el capilar a la mitad y derramar el extracto del colorante.

7.- Se recomienda sacar el líquido extractor del capilar por el extremo que no contenga la marca de microhematocrito, para evitar que el líquido extraiga también a dicha marca, la cual puede llegar a interferir en el corrimiento cromatográfico.

8.- Para efectuar aplicaciones homogéneas sobre la cromatoplaque, es recomendable colocar el extracto sobre un vidrio de reloj, y de ahí tomarlo con una capilar nuevo a manera de poner la misma cantidad de extracto en cada aplicación (mismo diámetro de aplicación).

9.- Se debe procurar que al vaciar del capilar, sobre el vidrio de reloj, el líquido extractor, éste no se extienda, ya que no es posible recogerlo totalmente con el capilar para realizar las aplicaciones en la cromatoplaque, además de que se evapora más rápidamente.

10.- Es recomendable realizar por lo menos dos aplicaciones de la extracción de colorante (del que se desea obtener una separación) sobre la placa cromatográfica.

11.- Cerrar perfectamente bien los frascos donde se lleven a cabo las cromatografías, a fin de evitar la evaporación de los eluyentes.

12.- Una vez finalizados los corrimientos, se deben dejar secar los cromatogramas para una mejor y más confiable observación.

13.- Guardar todos los líquidos que se empleen (extractor, sistemas eluyentes, etc.) en frascos color ámbar.

14.- Se recomienda que los sistemas de elución no se almacenen por mucho tiempo, teniendo como máximo de almacenamiento una duración de tres semanas, ya que después de éste lapso adquieren una coloración amarillenta que afecta el corrimiento.

15.- Es indispensable que los portaobjetos se encuentren libres de grasa e impurezas antes de introducirlos a la mezcla de sílica gel (al hacer las cromatoplasmas), para evitar que la sílica gel se despegue de los mismos.

16.- Se recomienda introducir los portaobjetos que se utilizarán para realizar las cromatoplasmas, en una solución de alcohol etílico al 90 % durante 10 minutos, a fin de eliminar de su superficie grasa e impurezas.

17.- Tratar de evitar lo más posible que al realizar las cromatoplasmas se formen grumos en la superficie de la capa de sílica gel; lo anterior se evita homogenizando perfectamente la mezcla de sílica gel antes de introducir los portaobjetos en ella.

APENDICE B

MARCAS DE REACTIVOS EMPLEADOS

- Acetona: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Acido Acético: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Acido Oxálico: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Alcohol n-Amílico R.A.: Químico JVC.

- Alcohol Etilico: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Alcohol Isobutilico: Productos Quimicos Monterrey
Cat. 0605.

- Alcohol Metílico: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Cloroformo: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Hidróxido de Amonio: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Piridina: " Baker Analyzed ", Reactivo
J.T. Baker, S.A. de C.V.
Xalostoc, México.

- Silica Gel TLC: MERCK
604F254.

- Tubos Capilares: DADE (Division American Hospital Supply)
Capilets Microhematocrit Tubes Nonheparinized
B4415-10.

APENDICE C

VISTA MICROSCOPICA DE LAS FIBRAS



Fig. 1. **Algodón Crudo.** Vista longitudinal a 180 x. Estas fibras muestran retorcimientos más o menos pronunciados.



Fig.2. **Algodón Crudo.** Sección transversal a 500 x. Puede verse una gran variación en forma y tamaño de la sección transversal. Pueden observarse claramente grandes cantidades de espacio libre o lumen.



Fig 3. **Algodón Mercerizado.** Vista longitudinal a 180 x. Los retorcimientos han desaparecido casi totalmente. Compárese con la figura 1.

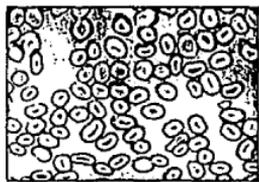


Fig. 4. **Algodón Mercerizado.** Sección transversal a 500 x. La mayoría de las fibras tiene secciones casi circulares y contienen muy poco espacio vacío, comparado con el algodón crudo de la figura 2.

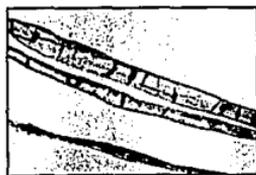


Fig 5. **Cáñamo.** Vista longitudinal a 180 x. Nótese los puntos de dislocación transversal a intervalos frecuentes a lo largo de la fibra.



Fig. 6. **Cáñamo.** Sección transversal a 340 x.

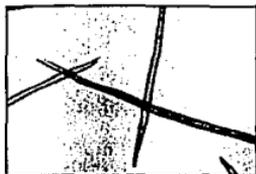


Fig. 7. **Fibras de Corteza de Coco.** Vista longitudinal a 180 x. Aquí las fibras elementales han sido separadas de los manojos.

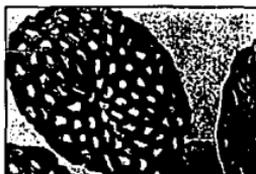


Fig. 8. **Fibra de Corteza de Coco.** Sección transversal a 500 x. Nótese la disposición elíptica del manajo de fibras.



Fig. 9. **Fibras de Lana Peinada.** Vista longitudinal a 180 x. Nótese la presencia de médula fragmentada.

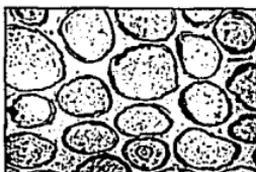


Fig. 10. **Fibras de cinta de Lana Peinada.** Sección transversal a 500 x.

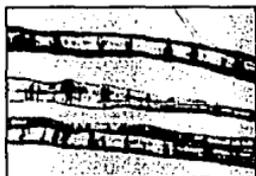


Fig. 11. **Lino (fibras elementales).** Vista longitudinal a 180 x. Nótese los puntos de dislocación transversal a intervalos frecuentes a lo largo de la fibra.



Fig. 12. **Lino (manojos).** Sección transversal. Las fibras elementales se han agrupado juntas en los manojos. Nótese la forma poligonal de las fibras elementales.

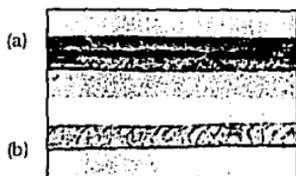


Fig. 13. **Mohair**. Vista longitudinal a 180 x.
a) Fibra fina. b) Fibra basta.

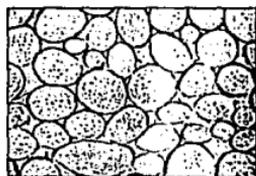


Fig. 14. **Mohair**. Sección transversal de fibras de cinta peinada a 500 x.

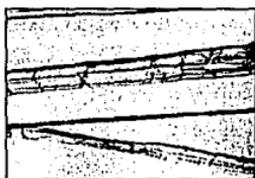


Fig. 15. **Ramlo** (fibras elementales). Vista longitudinal a 180 x. Nótese los puntos de dislocación transversal a intervalos frecuentes a lo largo de cada fibra.



Fig. 16. **Ramlo**. Sección transversal a 340 x. Nótese la tendencia de éstas fibras a desarrollar roturas radiales.



Fig. 17. **Seda Cruda**. Vista longitudinal a 180 x. Los pares de fibras (fibroína) se mantienen juntas mediante una capa de goma (sericina) dando la apariencia de una fibra basta muy estirada.

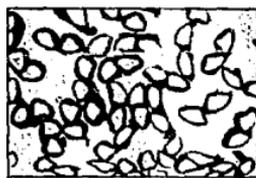


Fig. 18. **Seda Cruda**. Sección transversal a 500 x. Las fibras se presentan apareadas y están unidas por la goma.

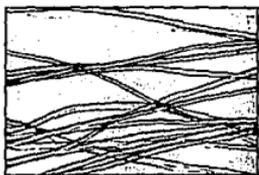


Fig. 19. Seda Desengomada. Vista longitudinal a 180 x. Compárese con la figura 17.



Fig. 20. Seda Desengomada. Sección transversal a 500 x. Compárese con la figura 18.

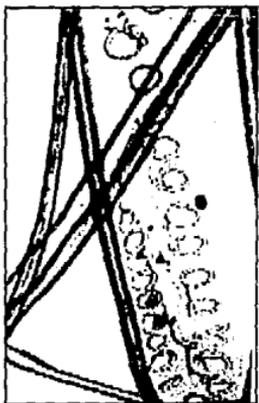


Fig. 21. Sisal. (fibras elementales). Vista longitudinal a 180 x. Aquí las fibras elementales han sido separadas de los manojos (véase figura 22). Nótese la presencia de una espiral y de anillos.



Fig. 22. Sisal (manejo). Vista longitudinal a 180 x. Parte de un manejo compuesto de fibras elementales. Nótese el filamento de un vaso espiral.



Fig. 23. Sisal. Sección transversal a 500 x. Nótese la forma poligonal de las fibras elementales.

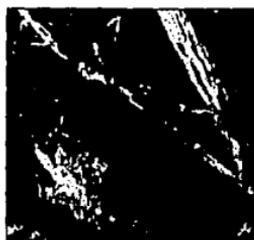


Fig. 24. Asbesto a 60 x. Fibras de un hilo de crinado hilado sin la adición normal de algodón o rayón. Obsérvese la gran variedad de diámetros de las fibras.



Fig. 25. Yute (manojos). Vista longitudinal a 180 x. Muestra las fibras elementales en manojos tal como crece, en los cuales permanece la fibra una vez elaborada.



Fig. 26. Yute (manojos) a 500 x. Secciones transversales de manojos naturales de las fibras. Nótese la forma poligonal de las fibras elementales y el lumen circular o elíptico.

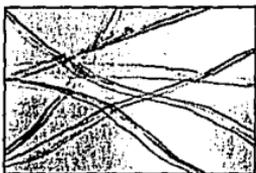


Fig. 27. Fibra de Alginato de Calcio. Vista longitudinal a 180 x. Forma de cinta con pequeñas estrias son las características fundamentales de ésta fibra.



Fig. 28. Fibra de Alginato de Calcio. Sección transversal a 500 x. Las formas de la sección son alargadas y dentadas, con numerosos dientes irregulares.

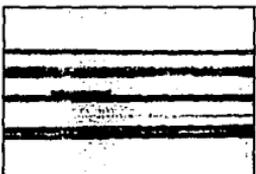


Fig. 29. Acetato Secundario de Celulosa. Vista longitudinal a 750 x. Hay menos estrias en cada fibra que en el rayón viscosa, como puede verse en la figura 43.

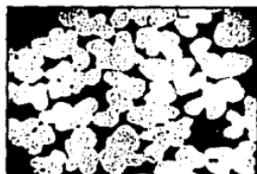


Fig. 30. Acetato Secundario de Celulosa. Sección transversal a 750 x. Los lóbulos de cada sección son menores en número que en el rayón de viscosa como puede verse en la figura 44.



Fig. 31. Fibra acrílica (Orlón). Vista longitudinal a 450 x. La cinta tiene un torcido característico de las fibras con una forma de sección de tipo de cacahuete o de sección transversal en forma alargada.



Fig. 32. Fibra acrílica (Orlón). Sección transversal alargada a 750 x. Forma de cacahuete en la sección transversal.

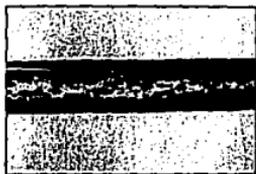


Fig. 33. **Cloruro de Polivinilo.** Vista longitudinal a 750 x. Es característica de ésta fibra la superficie listada.

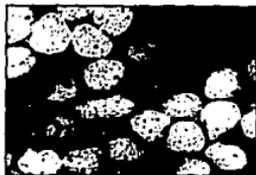


Fig. 34. **Cloruro de Polivinilo.** Sección transversal a 750 x. Las formas de las secciones son redondeadas irregularmente.

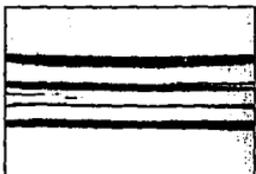


Fig. 35. **Fibra Modacrílica (Dynel).** Vista longitudinal a 750 x. La superficie fuertemente acanalada es característica de éstas fibras.



Fig. 36. **Fibra Modacrílica (Dynel).** Sección transversal a 750 x. Formas doblegadas con grandes reentrantes.

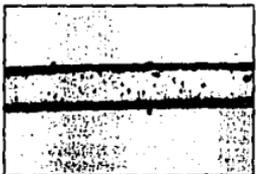


Fig. 37. **Poliéster (Terylene).** Vista longitudinal a 750 x. Filamento de un hilo plano de 50 deniers, 24 filamentos.

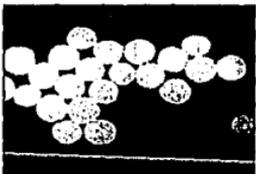


Fig. 38. **Poliéster (Terylene).** Sección transversal a 750 x.

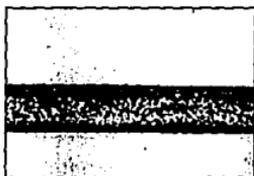


Fig. 39. **Fibra de Proteína Regenerada (Fibrolane).** Vista longitudinal a 750 x. Es característica la superficie granular de la fibra.

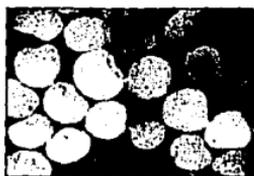


Fig. 40. **Fibra de Proteína Regenerada (Fibrolane).** Sección transversal a 750 x. Las secciones transversales varían, desde casi redondas, a la forma de riñón.

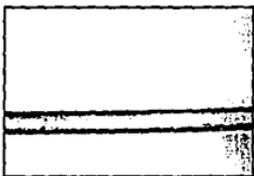


Fig. 41. **Rayón Cuproamoniacal.** Vista longitudinal a 750 x. El aspecto en forma de cilindro contrasta con la del rayón viscoso. Véase fig. 43.

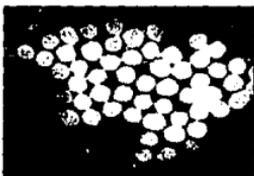


Fig. 42. **Rayón Cuproamoniacal.** Sección transversal a 750 x, mostrando forma redondeada, aplanada momentáneamente y con fusión.

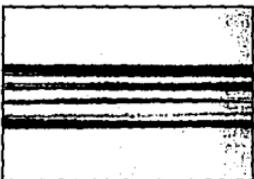


Fig. 43. **Rayón Viscosa.** Hilo de filamento continuo. Vista longitudinal a 750 x. Son característicos en el rayón de tenacidad normal, las numerosas estrias.

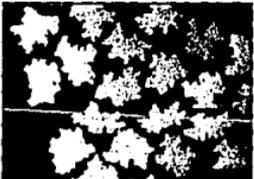


Fig. 44. **Rayón Viscosa.** Hilo de filamento continuo. Vista en sección transversal a 750 x. La forma dentada de la superficie de los filamentos, es característica.

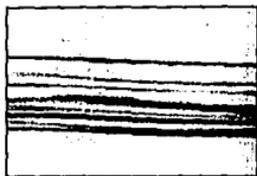


Fig. 45. **Triacetato de Celulosa (Tricel)**. Vista longitudinal a 750 x. Hay poca diferencia con el aspecto microscópico entre ésta fibra y el acetato secundario (fig. 29).

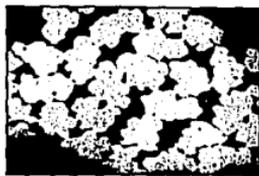


Fig. 46. **Triacetato de Celulosa (Tricel)**. Sección transversal a 750 x.



Fig. 47. **Poliamida (Nylon 6,6)**. Vista longitudinal a 180 x.



Fig. 48. **Poliamida (Nylon 6,6)**. Sección transversal a 750 x. Otras fibras de Poliamida; por ejemplo, nylon 6 y 11, son similares.



Fig. 49. **Fibra de Vidrio** a 60 x. La figura es "lana" aislante y muestra las variaciones de diámetro, la curvatura y un ejemplo de disposición desordenada.

REFERENCIAS

- (1) DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL (1971); Vol. 7; Ed. Salvat Editores, S. A.; Barcelona, España; pp. 236.
- (2) DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL (1971); Vol 11; Ed. Salvat Editores, S. A.; Barcelona, España; pp. 137.
- (3) ENCICLOPEDIA TEMATICA ILUSTRADA MENTE SAGAZ (1973); Vol. 7; Ed. Plancton S. A.; Barcelona España; pp. 2757-2758.
- (4) HOLLEN NORMA & SADDLE JANE (1961); Textiles; The Mc Millan Co.; NY, USA; pp. 5.
- (5) JIMENEZ NAVARRO RAUL Dr., INACIPE (1981); Estudio Criminalístico de Pelos y Fibras; Tomo VII; México, D.F.; pp. 101.
- (6) KORNREICH E. ; Introduction to Fibres and Fabrics: Their Manufacture and Properties; NY, NY USA; pp. 1.
- (7) MARTINEZ DE LAS MARIAS P. (1976); Química y Física de las Fibras Textiles; Ed. Alhambra, S. A.; Madrid España; pp. 1-11, 153-193.

BIBLIOGRAFIA

- ABBOT DAVID & ANDREWS R. S. (1970); An Introduction to Chromatography; 2nd. edition; Ed. Longmans; GB.; pp. 34-41.
- ACHESON R.M. (1985); Química Heterocíclica; Primera reimpresión; Publicaciones Cultural, S. A. ; México, D.F.; pp. 241-291.
- BOLLIGER H. R., BRENNER M. & GANSHIRT H. (1965); Thin-Layer Chromatography. A Laboratory Handbook; Ed. Egon Stahl; Germany; pp. 134-136.
- BREWSTER R. G., VANDERWERF C. A. & McEWEN W. E. (1986); Curso Práctico de Química Orgánica; Ed. Alhambra; Madrid, España; pp. 151, 257-259.
- CLAYTON ELLIS, F.R.I.C. (1951); Identificación de Materiales Colorantes sobre Fibras Textiles y Determinación de los Iones Metálicos, Materiales Fibrosos, Colorantes y Pigmentos Orgánicos; Manuel Martin Editor; Barcelona, España; pp. 9-30.
- CRAMER FRIEDRICH Dr. (1955); Paper Chromatography. Ed. McMillan Co. LTD; London; pp. 94-97.
- COOK R. & WILSON C. (1986); " The Significance of Finding Extraneous Fibres in Contact Cases "; Forensic Science International; 32 (4): 267-273.
- DÉVORÉ G. (1985); Química Orgánica; Décimaquinta reimpresión; Publicaciones Cultural, S. A. ; México, D.F.; pp. 643-652.
- DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL (1971); Vol. 7; Ed. Salvat Editores, S. A.; Barcelona, España; pp. 236-238.

- DICCIONARIO ENCICLOPEDICO SALVAT UNIVERSAL (1971); Vol 11; Ed. Salvat Editores, S. A.; Barcelona, España; pp. 136-139.
- EATON DAVID C. (1989); Organic Chemistry; McGraw-Hill Book Co.; USA; pp. 439-446.
- ENCICLOPEDIA TEMATICA ILUSTRADA MENTE SAGAZ (1973); Vol. 7; Ed. Plançon S. A.; Barcelona España; pp. 2757-2760.
- ENCICLOPEDIA SALVAT DE LA MUJER Y EL HOGAR (1973); Tomo V: La Casa; Ed. Salvat S.A. de Ediciones; Pamplona, España; pp. 140-143.
- GERBER SAMUEL M. (1988); Chemistry & Crime; Ed. American Chemical Society; 4th. ed.; USA; pp. 51-55.
- GRAHAM SOLOMONS T. W. (1987); Química Orgánica; Cuarta reimpression; Ed. Limusa S. A. México, D.F.; pp. 901-910.
- GUZMAN ALVAREZ CONSUELO ANTONIA (1977); " Estudio de Fibras, Cabellos, y Sangre en su Calidad de Indicios en el Lugar de los Hechos "; Tesis UNAM; México D.F.; pp. 2-25, 50-58.
- HARTSHORNE A. W. & LAING D. K. (1987); " The Definition of Colour for Single Textile Fibres by Microspectrophotometry "; Forensic Science International; 34 (1 y 2): 107-129.
- HARTSHORNE A. W. & LAING D. K. (1991); " Microespectrofluorimetry of Fluorescent Dyes & Brighteners on Single Textile Fibres: Part 1 - Fluorescence Emission Spectra "; Forensic Science International; 51 (2): 203-220.
- HARTSHORNE A. W. & LAING D. K. (1991); " Microespectrofluorimetry of Fluorescent Dyes & Brighteners on Single Textile Fibres: Part 2 - Colour Measurements "; Forensic Science International; 51 (2): 221-237.

- HARTSHORNE A. W. & LAING D. K. (1991); " Microspectrofluorimetry of Fluorescent Dyes & Brighteners on Single Textile Fibres: Part 3 - Fluorescence Decay Phenomena "; Forensic Science International; 51 (20): 239-250.
- HILL ROWLAND (1958); Tecnología de las Fibras Artificiales Derivadas de Polímeros Sintéticos; Ed. Aguilar. Madrid; pp. 585-619.
- HOLLEN NORMA & SADDLE JANE (1961); Textiles; The Mc Millan Co.; NY, USA; pp. 5-16.
- JIMENEZ NAVARRO RAUL Dr., INACIPE (1981); Estudio Criminalístico de Pelos y Fibras; Tomo VII; México, D.F.; pp. 101-144.
- KIRK PAUL L. (1974); Crime Investigation; Ed. John Wiley & Sons; 2nd. ed.; USA; pp. 124-135.
- KORNREICH E. ; Introduction to Fibres and Fabrics: Their Manufacture and Properties; NY, NY USA; pp. 1-29, 145-152.
- LAING D. K., HARTSHORNE A. W. & HARWOOD R. J. (1986); " Colour Measurements on Single Textile Fibres "; Forensic Science International; 30 (1): 65-77.
- LAING D. K. et al. (1991); " The Extraction and Classification of Dyes from Cotton and Viscose Fibres "; Forensic Science International; 50 (1): 23-35.
- LAMPMAN KRIZ PAULA Editor (1990); Introduction to Organic Laboratory Techniques; 3rd. Ed.; USA ; pp. 257-268.
- LEDERER E, & LEDERER M. (1957); Chromatography; 2nd. ed.; Ed. Elsevier; Holland; pp. 332-336.
- LOWRIE C. N. & JACKSON G. (1991); " Recovery of Transferred Fibres "; Forensic Science International; 50 (1): 111-119.

- MARTINEZ DE LAS MARIAS P. (1976); Química y Física de las Fibras Textiles; Ed. Alhambra, S. A.; Madrid España; pp. 1-11, 153-193.
- PADGETT ROSE W. (1959); Textile Chemistry and Testing in the Laboratory; Ph.D. 2a. Edición; Burgess Publishing Co. USA; pp. 15-18, 20-28, 103-106.
- RICHARDSON W. A. et al. (1968); Identificación de Fibras Textiles; 1a. ed.; Ed. Blume; Barcelona, España; pp. 9-12, 84-88, 103-105, 109-132, 134-136, 138-204.
- RICO M. F. GERARDO Y GALAN GIRAL ANGELA, INACIPE (1987); Pelos y Fibras: Metodología Científica. México, D.F.; pp. 167-181, 213-214.
- RIQUELME SANCHEZ D. MANUEL Dr. (1947); Química Aplicada a la Industria Textil; Tomo III: Tintura de Fibras Textiles; 2a. edición; Manuel Martín Editor; Barcelona, España; pp. 515-575.
- SECRETARIA DE ENERGIA, MINAS E INDUSTRIA PARAESTATAL (1990); La Industria de las Fibras Químicas en México; Comisión Petroquímica Mexicana; pp. 10-12, 19, 29-30, 41, 49-50, 59, 65, 73.
- SINGH R., SINGH S. R. & SEHGAL B. N. (1988); " Identification of Natural & Sintetic Fibres by Photoacoustic Spectrophotometry in the Near-Infrared Region "; Forensic Science International; 36 (1): 31-39.
- SVÉDOVÁ JARMILA (1990); Industrial Textilc: Textile Science and Technology; Ed. Elsevier; Checoslovaquia; pp. 153-207,
- THE TEXTILE INSTITUTE MANCHESTER (1975); Identificatíon of Textile Fíbres; 1st. editíon; England; pp. 22-25, 135-251.
- THORNTON MORRISON R. & NEILSON BOYD R. (1988); Química Orgánica; 2a. edición; Ed. Addison-Wesley Iberoamericana, México, D.F.; pp. 1270-1277.