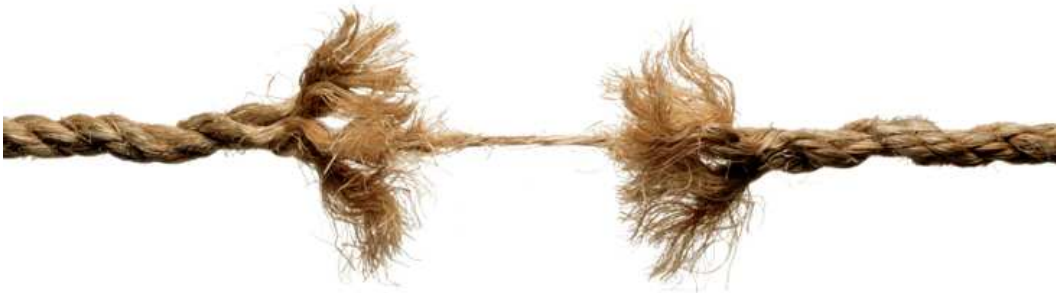


Física textil

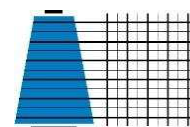
*Propiedades físicas para caracterizar
la calidad de las fibras textiles*



Enric Carrera Gallissà



UNIVERSITAT POLITÈCNICA
DE CATALUNYA
BARCELONATECH



Enginyeria
Tèxtil



Enric Carrera i Gallissà

enric.carrera@upc.edu

Doctor en Ingeniería textil por la UPC

Profesor Titular de Universidad.

Sección de Ingeniería textil del Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería metalúrgica.

Escuela Superior de Ingenierías Industrial, Aeroespacial y Audiovisual de Terrassa

Universitat Politècnica de Catalunya (UPC)

Carrera-Gallissà, E. *Física textil. Propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles*. Universitat Politècnica de Catalunya. 1ª edición julio 2017. Terrassa. 188 pp

Los derechos de autor o copyright de los contenidos de este libro están sujetos a la licencia



Presentación

“Física textil. Propiedades físicas para caracterizar la calidad de las fibras textiles, es un material docente diseñado para el seguimiento de la asignatura *“Materiales para el diseño de productos textiles”* del Grado en Ingeniería de tecnología y diseño textil y del conjunto de asignaturas del Máster de Ingeniería textil y papelera de la Universitat Politècnica de Catalunya. El contenido está estructurado siguiendo el programa de la asignatura antes citada.

Se inicia con la clasificación de las fibras textiles, su denominación y abreviatura utilizada en el etiquetado.

A continuación se incluye un breve glosario textil básico que describe las expresiones más utilizadas de los diversos productos y estados intermedios de transformación de los productos textiles. Este lenguaje es imprescindible para entender las relaciones existentes entre la materia prima (fibras) y los productos intermedios de transformación del largo proceso textil.

A continuación se describen las propiedades relacionadas con la geometría de las fibras (longitud, finura, rizado y forma de la sección transversal) que incluye tanto su importancia como especialmente la forma de medida y equipos utilizados. Le siguen propiedades tan importantes y relacionadas con las propiedades de uso como el comportamiento mecánico, el comportamiento de las fibras ante la humedad, el cálculo del peso comercial, la acción del calor, la conductividad eléctrica, las propiedades ópticas, la acción de la intemperie y finalmente las propiedades químicas.

Cada apartado trata sobre el principio físico de cada propiedad, su importancia en los productos intermedios del ciclo textil (hilatura, tisaje, ennoblecimiento y confección) y particularmente desde la perspectiva del Ingeniero/a que utilizará esta información para diseñar adecuadamente el producto textil final. Se incluye también la descripción de los diferentes equipos utilizados habitualmente para medir cada propiedad física así como sus ventajas e inconvenientes.

Las propiedades físicas descritas son genéricas y no hacen referencia a ninguna fibra en particular. Esto será objeto de otra monografía.

Al tratarse de un libro docente, se incluyen una serie enlaces internet para visualizar videos que describen los métodos de ensayo descritos y así como para comprender mejor su principio de funcionamiento.

Todas aquellas imágenes utilizadas en este libro docente que no son propias, llevan una indicación en su pie, sobre el enlace de donde se han obtenido con el fin de que se pueda ampliar la información y consultar la fuente original.

Enric Carrera i Gallissà

Terrassa, julio de 2017

Índice

| | <u>Página</u> |
|--|---------------|
| 1. Fibras textiles..... | 1 |
| 1.1 Definición | 1 |
| 1.2 Clasificación..... | 1 |
| 1.3 Denominación y abreviaturas | 3 |
| 1.4 Glosario textil básico | 11 |
| 1.4.1 Hilera | 11 |
| 1.4.2 Monofilamento | 12 |
| 1.4.3 Multifilamento..... | 12 |
| 1.4.4 Multifilamento texturado | 13 |
| 1.4.5 Cable | 14 |
| 1.4.6 Fibra cortada..... | 16 |
| 1.4.7 Flocas..... | 16 |
| 1.4.8 Flock..... | 17 |
| 1.4.9 Nanofibras..... | 17 |
| 1.4.10 Fibras multicomponentes | 18 |
| 1.4.11 Fibras huecas | 18 |
| 1.4.12 Hilado..... | 19 |
| 1.4.13 Tejido de calada..... | 20 |
| 1.4.14 Tejido de malla o de punto | 21 |
| 1.4.15 No tejido..... | 22 |
| 1.5 Propiedades de las fibras..... | 23 |
| 1.5.1 Propiedades dimensionales | 24 |
| 1.5.1.1 Longitud de fibras..... | 24 |
| 1.5.1.1.1 Importancia e implicaciones..... | 24 |
| 1.5.1.1.2 Medida de la longitud y representación gráfica | 26 |
| 1.5.1.1.3 Longitud de la fibra de algodón. Método “pulling” | 27 |
| 1.5.1.1.4 Medición individual | 30 |
| 1.5.1.1.4.1 Método manual..... | 30 |
| 1.5.1.1.4.2 Método fotoeléctrico (AFIS)..... | 32 |
| 1.5.1.1.5 Longímetros de lecho de peines | 41 |
| 1.5.1.1.5.1 Longímetros algodoneros..... | 46 |
| 1.5.1.1.5.1.1 Método matemático para el cálculo de la longitud media del Diagrama por peso..... | 46 |
| 1.5.1.1.5.1.2 Cálculo de longitud media por peso de fibras por el método gráfico..... | 48 |
| 1.5.1.1.5.1.3 Longitud efectiva o comercial..... | 48 |
| 1.5.1.1.5.1.3.1 Longitud efectiva obtenida mediante el Trazado de Clegg..... | 48 |
| 1.5.1.1.5.1.3.2 Longitud efectiva obtenida mediante el Trazado de Roërich..... | 49 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| 1.5.1.1.5.1.3.3 | Longitud del cuartil superior (Upper Quartile Length, UQL)..... | 50 |
| 1.5.1.1.5.1.3.4 | Porcentaje de fibra corta (SFC%) | 51 |
| 1.5.1.1.5.2 | Longímetros laneros | 52 |
| 1.5.1.1.5.2.1 | Longitud real de una fibra..... | 52 |
| 1.5.1.1.5.2.2 | Longitud aparente o natural de una fibra..... | 52 |
| 1.5.1.1.5.2.3 | Longitud media..... | 53 |
| 1.5.1.1.5.2.4 | Altura | 53 |
| 1.5.1.1.5.2.5 | Barba | 53 |
| 1.5.1.1.5.2.6 | Interpretación gráfica de los parámetros de longitud | 53 |
| 1.5.1.1.5.2.7 | Cálculos | 55 |
| 1.5.1.1.6 | Longímetros capacitivos | 56 |
| 1.5.1.1.6.1 | Longímetro WIRA | 56 |
| 1.5.1.1.6.2 | Longímetro ALMETER..... | 57 |
| 1.5.1.1.7 | Longímetros de análisis de imágenes (OFDA)..... | 63 |
| 1.5.1.1.8 | Longímetros fotoeléctricos (Fibrograph)..... | 66 |
| 1.5.1.1.8.1 | Mean length (ML)..... | 74 |
| 1.5.1.1.8.2 | Upper Half Mean Length (UHML). Longitud de la sobremedia | 75 |
| 1.5.1.1.8.3 | Span length al 50%. SL 50% | 77 |
| 1.5.1.1.8.4 | Span length al 2,5%. SL 2,5% | 78 |
| 1.5.1.1.8.5 | Secant Mean length (SML) | 78 |
| 1.5.1.1.8.6 | Short Fiber Content (SFC). Contenido de fibra corta..... | 79 |
| 1.5.1.1.8.7 | Uniformity Index (UI). Índice de Uniformidad (%) | 80 |
| 1.5.1.1.8.8 | Uniformity ratio (UR%). Relación de Uniformidad | 80 |
| 1.5.1.1.8.9 | Floating Fiber Index (FFI%). Porcentaje de fibras flotantes..... | 80 |
| 1.5.1.1.9 | Tipos de diagramas de fibra..... | 81 |
| 1.5.1.1.9.1 | Diagrama rectangular | 81 |
| 1.5.1.1.9.2 | Diagrama triangular | 81 |
| 1.5.1.1.9.3 | Diagrama trapezoidal..... | 82 |
| 1.5.1.1.9.4 | Diagrama escalonado..... | 82 |
| 1.5.1.2 | Finura | 83 |
| 1.5.1.2.1 | Determinación de la finura | 88 |
| 1.5.1.2.1.1 | Sistemas basados en el análisis de imágenes..... | 88 |
| 1.5.1.2.1.1.1 | Lanámetro o microscopio de proyección | 89 |
| 1.5.1.2.1.1.2 | Microscopio óptico con digitalización de imágenes | 91 |
| 1.5.1.2.1.1.3 | Sistema OFDA | 91 |
| 1.5.1.2.1.2 | Sistemas Láser (Sirolan Lasercan) | 93 |
| 1.5.1.2.1.3 | Sistema Cottonscope..... | 96 |
| 1.5.1.2.1.4 | Sistemas fotoeléctricos (AFIS)..... | 101 |
| 1.5.1.2.1.5 | Sistemas permeamétricos | 102 |
| 1.5.1.2.1.6 | Sistemas gravimétricos..... | 106 |
| 1.5.1.2.1.7 | Sistemas Vibroscópicos..... | 108 |
| 1.5.1.3 | Rizado | 110 |
| 1.5.1.4 | Forma de la sección transversal..... | 113 |
| 1.5.1.5 | Densidad | 117 |

| | | |
|--------------|---|-----|
| 1.5.1.5.1 | Determinación de la densidad..... | 119 |
| 1.5.1.5.2 | Densidad y orientación molecular | 119 |
| 1.5.2 | Propiedades mecánicas | 120 |
| 1.5.2.1 | Extensión (tracción) axial | 120 |
| 1.5.2.1.1 | Carga de rotura..... | 121 |
| 1.5.2.1.2 | Alargamiento a la rotura..... | 121 |
| 1.5.2.1.3 | Trabajo de rotura | 123 |
| 1.5.2.1.4 | Tenacidad..... | 124 |
| 1.5.2.1.5 | Punto de fluencia o límite elástico..... | 124 |
| 1.5.2.1.6 | Módulo de elasticidad o de Young | 125 |
| 1.5.2.1.7 | Módulo secante | 125 |
| 1.5.2.1.8 | Factor trabajo..... | 126 |
| 1.5.2.1.9 | Comparación entre los métodos utilizados para describir el fenómeno de la rotura | 127 |
| 1.5.2.1.10 | Límite elástico y deformación permanente..... | 128 |
| 1.5.2.1.11 | Factores que influyen en los resultados de los ensayos de extensión axial..... | 131 |
| 1.5.2.1.12 | Dinamómetros de gradiente de alargamiento constante | 132 |
| 1.5.2.1.13 | Dinamómetros de gradiente de carga constante..... | 132 |
| 1.5.2.1.14 | Diferencias entre los dos métodos | 132 |
| 1.5.2.1.15 | Dinamómetros de fibra individual..... | 132 |
| 1.5.2.1.16 | Dinamómetros de haces de fibras..... | 137 |
| 1.5.2.1.16.1 | Dinamómetro Pressley | 137 |
| 1.5.2.1.16.2 | Dinamómetro Estelómetro (Stelometer)..... | 140 |
| 1.5.2.1.17 | Influencia de la temperatura y el contenido de humedad en las propiedades mecánicas de las fibras | 145 |
| 1.5.2.1.18 | Influencia de la luz en las propiedades mecánicas de las fibras | 146 |
| 1.5.2.2 | Esfuerzos multiaxiales..... | 146 |
| 1.5.2.2.1 | Rigidez a la flexión..... | 146 |
| 1.5.2.2.1.1 | Medida de la flexibilidad | 147 |
| 1.5.2.2.2 | Resistencia al lazo y al nudo..... | 148 |
| 1.5.2.2.3 | Rigidez torsional | 148 |
| 1.5.2.2.4 | Torsión de rotura | 148 |
| 1.5.3 | Absorción de humedad | 149 |
| 1.5.3.1 | Capacidad de retención de agua de las fibras textiles..... | 150 |
| 1.5.3.2 | Turgescencia..... | 152 |
| 1.5.3.3 | Definiciones básicas de acondicionamiento | 153 |
| 1.5.3.4 | Determinación de la tasa legal de humedad de una fibra textil..... | 158 |
| 1.5.3.5 | Operación de acondicionado. Metodología..... | 160 |
| 1.5.3.5.1 | Procedimiento..... | 160 |
| 1.5.3.5.2 | Muestreo..... | 162 |
| 1.5.3.6 | Cálculo de la tasa legal de mezcla de fibras..... | 165 |
| 1.5.3.7 | Acondicionamiento de materias con cargas | 166 |
| 1.5.3.7.1 | Ejemplos de acondicionamiento con cargas | 167 |
| 1.5.3.8 | Métodos para la determinación de la humedad | 169 |
| 1.5.3.8.1 | Evaporación del agua (estufas) | 169 |

| | | |
|-------------|--|-----|
| 1.5.3.8.2 | Método de constante dieléctrica..... | 171 |
| 1.5.3.8.2.1 | Medida por contacto | 172 |
| 1.5.3.8.2.2 | Medida sin contacto (Forté) | 172 |
| 1.5.4 | Acción del calor sobre las fibras textiles | 174 |
| 1.5.4.1 | Conductividad térmica | 176 |
| 1.5.4.1.1 | Coeficiente de conductividad térmica (λ) | 177 |
| 1.5.4.1.2 | Capacidad calorífica o capacidad térmica (C) | 178 |
| 1.5.4.1.3 | Medida de la Capacidad calorífica | 178 |
| 1.5.4.1.4 | Capacidad calorífica versus Calor específico | 179 |
| 1.5.4.1.5 | Resistividad térmica R | 181 |
| 1.5.4.1.6 | Difusión térmica a | 181 |
| 1.5.4.1.7 | Absorción térmica o Efusividad b | 181 |
| 1.5.4.1.8 | Índice límite de oxígeno | 182 |
| 1.5.5 | Conductividad eléctrica | 183 |
| 1.5.6 | Propiedades ópticas..... | 184 |
| 1.5.7 | Acción de la intemperie | 185 |
| 1.5.8 | Propiedades químicas | 186 |
| | Bibliografía | 188 |

1. Fibras textiles

1.1 Definición

Una fibra textil es un sólido de estructura más o menos cilíndrica, macroscópicamente homogéneo, caracterizado por su flexibilidad, pequeña sección transversal y una elevada relación longitud/grosor. Se utiliza como materia prima para obtener materiales textiles.

1.2 Clasificación

En función de su origen, las fibras textiles pueden clasificarse en dos grandes grupos:

- Fibras naturales. Son las que se presentan como tales en la naturaleza. Proviene del reino vegetal, animal o mineral. Las fibras naturales de origen vegetal pueden provenir de la semilla, del tallo o de la hoja de la planta. Las fibras naturales de origen animal pueden dividirse en lana (pelo de la oveja), pelos (de animales que no son la oveja) y sedas (segregación de diversas especies de gusanos). La única fibra natural de origen mineral es el amianto.
- Fibras químicas: Son aquellas que se obtienen a través de procesos de transformación de los polímeros que forman las fibras. Hay de dos tipos, las orgánicas y las inorgánicas. Las orgánicas pueden fabricarse a partir de polímeros naturales que sufren una transformación por acción de agentes químicos (fibras artificiales), o bien de polímeros obtenidos por síntesis química (fibras sintéticas). En inglés las fibras químicas se denominan *Man Made Fibers (MMF)*, lo cual tiene sentido porque no se extraen directamente de la naturaleza sino que se obtienen a través de tecnologías humanas. Las fibras inorgánicas están constituidas principalmente por los productos químicos inorgánicos, en base a elementos naturales tales como carbono, silicio y boro.

A continuación se exponen unos esquemas (Figuras 1, 2 y 3) sobre la clasificación de las principales fibras textiles.



Figura 1. Clasificación de las fibras textiles

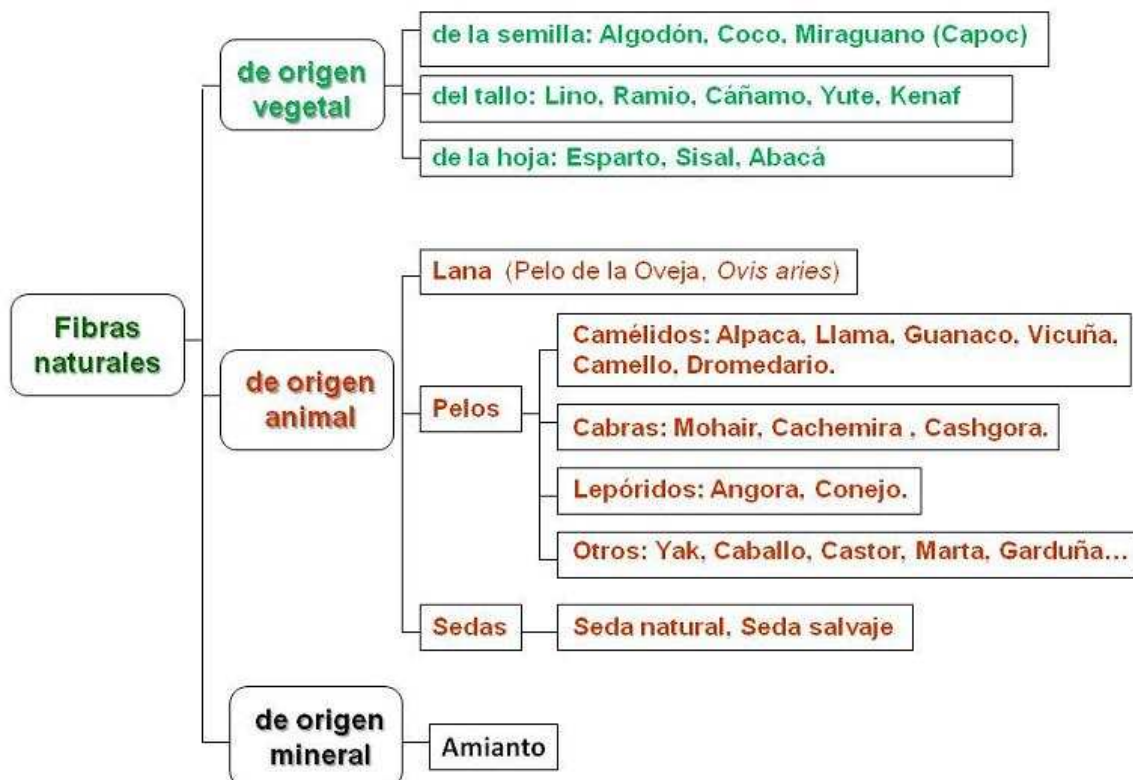


Figura 2. Clasificación de las fibras textiles naturales

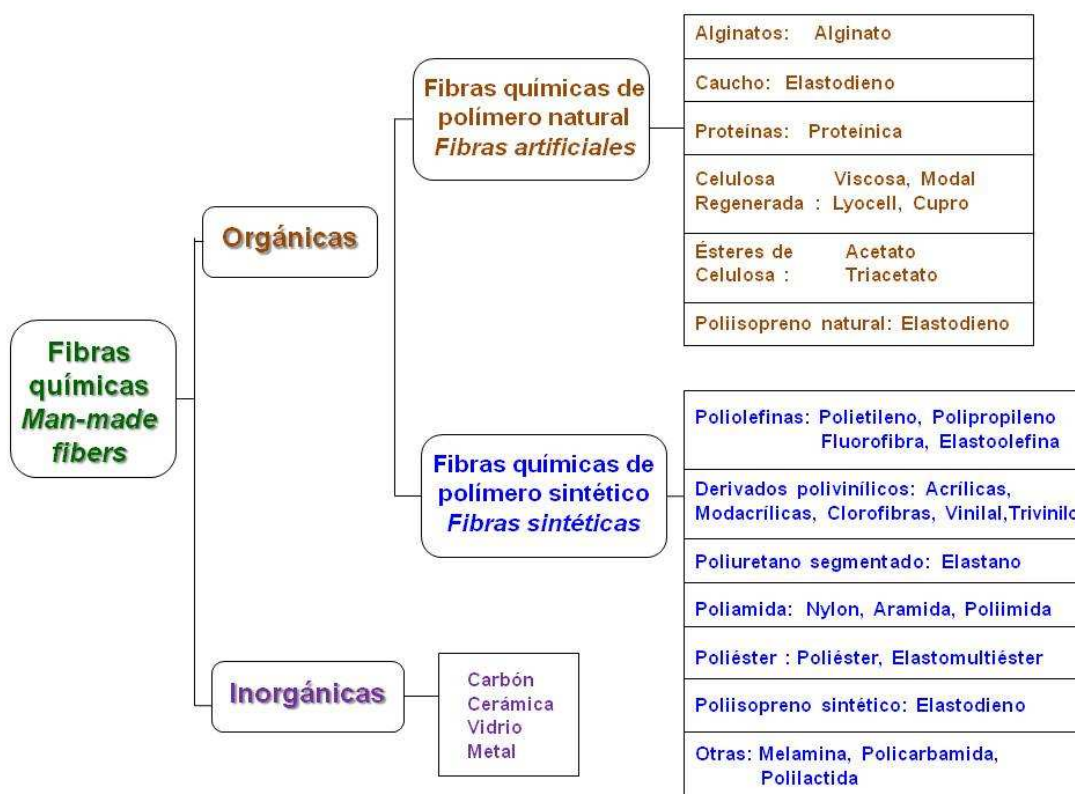


Figura 3. Clasificación de las fibras textiles químicas

1.3 Denominación y abreviaturas

De acuerdo con el Real Decreto 928/1987, de 5 de junio, relativo al etiquetado de composición de los productos textiles (BOE A 1987 16727 consolidado)

| Nombre de la fibra | Abreviatura | Descripción |
|--------------------|-------------|--|
| Algodón | CO | Fibra natural vegetal procedente de las semillas del algodónero <i>Gossypium</i> |
| Miraguano (Capoc) | KP | Fibra natural vegetal que envuelve la semilla del fruto del miraguano (<i>Ceiba pentandra</i>) |
| Coco | CC | Fibra natural vegetal que procede del futo del Coco, <i>Cocos nucifera</i> . |
| Lino | LI | Fibra natural vegetal que procede del líber del tallo del lino <i>Linun usitatissimum</i> |

| | | |
|----------|----|---|
| Ramio | RA | Fibra natural vegetal que procede del líber del tallo de la <i>Boehmeria nivea</i> y <i>Boehmeria tenacissima</i> |
| Cáñamo | HF | Fibra natural vegetal procedente del líber del tallo del Cáñamo <i>Cannabis sativa</i> |
| Bambú | BB | Fibra natural vegetal procedente del líber del tallo del Bambú, planta de la subfamilia <i>Bambusoideae</i> que pertenecen a la familia de las gramíneas o <i>Poaceae</i> |
| Yute | JU | Fibra natural vegetal procedente del tallo del <i>Corchorus olitorius</i> y del <i>capsularis</i> . A efectos del Real Decreto 928/1987, de 5 de junio, relativo al etiquetado de composición de los productos textiles, se considerarán como yute las fibras del líber que procedan de: <i>Hibiscus cannabinus</i> , <i>Hibiscus sabdariffa</i> , <i>Abutilon avicennae</i> , <i>Urena lobata</i> , <i>Urena sinuata</i> . |
| Kenaf | KN | Fibra natural vegetal procedente del líber del <i>Hibiscus cannabibus</i> |
| Retama | GI | Fibra natural vegetal procedente del líber del <i>Cytisus scoparios</i> y/o <i>Spartium junceum</i> |
| Sunn | SN | Fibra natural vegetal procedente del líber del tallo de <i>Crotalaria juncea</i> . |
| Henequen | HE | Fibra natural vegetal procedente del líber del tallo de <i>Agave fourcroydes</i> . |
| Maguey | MG | Fibra natural vegetal procedente del líber del tallo de <i>Agave cantala</i> . |
| Esparto | AL | Fibra natural vegetal procedente de la hoja de la <i>Stipa tenacissima</i> |

| | | |
|----------------|----|--|
| Sisal | SI | Fibra natural vegetal que procede de las hojas del <i>Agave sisalana</i> |
| Abacá (Manila) | AB | Fibra vegetal procedente de las vainas foliares de la <i>Musa textiles</i> |
| Lana | WO | Fibra natural animal procedente del velló de la oveja, <i>Ovis aries</i> |
| Alpaca | WA | Fibra natural animal de la especie Alpaca <i>Vicugna pacos</i> . Se denomina Pelo de Alpaca. |
| Llama | WL | Fibra natural animal de la especie Llama <i>Lama glama</i> . Se denomina Pelo de Llama. |
| Guanaco | WU | Fibra natural animal del grupo de la especie Guanaco <i>Lama guanicoe</i> . Se denomina Pelo de Guanaco. |
| Vicuña | VG | Fibra natural animal de la especie Vicuña <i>Vicugna vicugna</i> . Se denomina Pelo de Vicuña. |
| Camello | WK | Fibra natural animal de la especie Camello Bactriano de dos jorobas <i>Camelus bactrianus</i> . Se denomina Pelo de Camello. |
| Mohair | WM | Fibra natural animal. Pelo de la cabra de angora. <i>Capra hircuso</i> , especie originaria del distrito turco de Ankara |
| Cachemira | WS | Fibra natural animal. Pelo de la Cabra de Cachemira <i>Capra aegagrus hircus</i> |
| Cashgora | WC | Fibra natural animal. Pelo de la cabra de Cashgora que el cruce entre una Cabra de cachemira y una Cabra de angora. |

| | | |
|-------------------|-----|---|
| Yak | WY | Fibra natural animal. Pelo del Yak <i>Bos grunniens</i> o <i>Bos mutus</i> |
| Angora | WA | Fibra natural animal. Pelo del Conejo de la raza de angora |
| Castor | WB | Fibra natural animal. Pelo del Castor <i>Castor sp</i> |
| Nutria | WT | Fibra natural animal. Pelo de la Nutria, perteneciente a la subfamilia de <i>Lutrinae</i> de mamíferos carnívoros de la gran familia <i>Mustelidae</i> formada por 7 géneros y 13 especies. |
| Seda | SE | Fibra procedente exclusivamente de los insectos sericígenos. La que procede de la especie <i>Bombyx mori</i> se denomina Seda natural. La que procede de otras especie de gusanos de seda (<i>Bombyx myliata</i> , <i>Bombyx pernyi</i> , <i>Bombyx yamamay</i>) se denomina Seda salvaje |
| Asbesto o Amianto | AS | Fibra natural mineral procedente de un grupo de minerales metamórficos fibrosos compuestos de silicatos de cadena doble |
| Alginato | ALG | Fibra química orgánica de polímero natural. Obtenida a partir de sales metálicas de ácido algínico. |
| Viscosa | CV | Fibra química orgánica de polímero natural de celulosa regenerada obtenida por el procedimiento viscoso (xantogenato). Se presenta en forma de filamento continuo o de fibra discontinua. |

| | | |
|------------|-----|---|
| Modal | CMD | <p>Fibra química orgánica de polímero natural de celulosa regenerada obtenida por un procedimiento viscoso modificado que tiene una fuerza de ruptura elevada y un módulo alto de mojado. La fuerza de ruptura (B_c) en el estado acondicionado y la fuerza (B_m) necesaria para causar un estiramiento de un 5 % cuando la fibra está mojada, son de tales características que:</p> $B_c \text{ (centinewton)} \geq 1,3 \sqrt{T} + 2T.$ $B_m \text{ (centinewton)} \geq 0,5 \sqrt{T}.$ <p>siendo T la masa lineal media en decitex</p> |
| Lyocell | CLY | <p>Fibra química orgánica de polímero natural de celulosa regenerada obtenida por un método de disolución y de hilado en disolvente orgánico, sin formación de derivados.</p> |
| Cupro | CUP | <p>Fibra química orgánica de polímero natural de celulosa regenerada obtenida por el procedimiento cuproamoniaco.</p> |
| Acetato | CA | <p>Fibra química orgánica de polímero natural de acetato de celulosa con un número de grupos hidroxilo comprendido entre el 74% y el 92%.</p> |
| Triacetato | CTA | <p>Fibra química orgánica de polímero natural de acetato de celulosa de la cual al menos el 92% de los grupos hidroxilos son acetilados.</p> |
| Proteínica | PR | <p>Fibra química orgánica de polímero natural obtenida a partir de sustancias proteínicas naturales regeneradas y estabilizadas bajo la acción de agentes químicos. La abreviatura de la fibra de proteína de soja es SPF.</p> |

| | | |
|---------------|------|--|
| Elastodieno | ED | Fibra elastómera constituida, o bien por polisopreno natural o sintético, o bien por varios dienos polimerizados con o sin uno o varios monómeros vinílicos que, estirada por una fuerza de tracción hasta alcanzar tres veces su longitud inicial, recobra rápida y sustancialmente esa longitud desde el momento en que deja de aplicarse la fuerza de tracción. |
| Polilactida | PLA | Fibra formada por macromoléculas lineales que presentan en su cadena al menos un 85% (en masa) de ésteres de ácido láctico derivados de azúcares naturales, temperatura de fusión de un mínimo de 135 °C. |
| Polietileno | PE | Fibra formada de macromoléculas lineales saturadas de hidrocarburos alifáticos, no sustituidos. |
| Polipropileno | PP | Fibra formada de macromoléculas lineales saturadas de hidrocarburos alifáticos, en los que uno de cada dos carbonos lleva una ramificación metilo, en disposición isotáctica, y sin sustituciones ulteriores. |
| Fluorofibra | PTFE | Fibra formada de macromoléculas lineales obtenidas a partir de monómeros alifáticos fluorocarbonados |
| Acrílica | PAN | Fibra formada de macromoléculas lineales que presentan en la cadena el 85% al menos en masa del grupo acrilonitrilo. |
| Modacrílica | MAC | Fibra formada de macromoléculas lineales que presentan en la cadena más del 50% y menos del 85% en masa del motivo acrilonitrilo. |
| Clorofibra | CLF | Fibra formada por macromoléculas lineales cuya cadena está constituida como mínimo por un 50% en masa de monómeros de cloruros de vinilo o de cloruros de vinilideno. |

| | | |
|---------------------|------|---|
| Vinilo o Vinilal | PVAL | Fibra formada de macromoléculas lineales en las que la cadena está constituida por alcohol polivinílico con grado de acetilación variable. |
| Trivinilo | TV | Fibra formada de terpolímero de acrilonitrilo, de un monómero vinílico clorado y de un tercer monómero, de los cuales ninguno representa el 50% de la masa total. |
| Elastano | EL | Fibra elastómera constituida por al menos 85% en masa de poliuretano segmentario que, alargada por una fuerza de tracción hasta alcanzar 3 veces su longitud inicial, recobra rápidamente esta longitud, cuando deja de aplicarse la fuerza de tracción. |
| Poliamida o "Nylon" | PA | Fibra de macromoléculas lineales sintéticas que presentan en su cadena grupos funcionales amida recurrentes unidos, en un 85% como mínimo, a grupos alifáticos o cicloalifáticos. |
| Poliimida | PI | Fibra de macromoléculas lineales sintéticas que tiene en la cadena grupos funcionales imida recurrentes. |
| Aramida | AR | Fibra de macromoléculas lineales sintéticas formadas por grupos aromáticos unidos entre ellos por uniones amida e imida directamente ligadas, en un 85% como mínimo, a dos núcleos aromáticos y cuyo número de uniones imida, en caso de que existan, no puede exceder al de uniones amida. |
| Poliéster | PES | Fibra formada por macromoléculas lineales que presenta en la cadena al menos el 85% en masa de un éster de diol y de ácido tereftálico. |
| Policarbamida | PB | Fibra formada de macromoléculas lineales que presentan en la cadena la repetición del grupo funcional urea (NH-CO-NH). |

| | | |
|------------------|----------|--|
| Poliuretano | PU | Fibra formada de macromoléculas lineales que presentan en la cadena la repetición del grupo funcional uretano. |
| Elastomultiéster | EME | Fibra formada por la interacción de dos o más macromoléculas lineales químicamente distintas en dos o más fases distintas (ninguna de las cuales superior al 85% en masa) que contengan grupos éster como unidad funcional dominante (85% como mínimo) y que, tras un tratamiento adecuado, cuando se estira hasta una vez y media su longitud original y se suelta, recobra de forma rápida y sustancial su longitud inicial. |
| Elastolefina | | Fibra que está compuesta por al menos un 95 % (en masa) de macromoléculas parcialmente entrecruzadas, formadas por etileno y al menos otra olefina, y que, cuando se estira hasta alcanzar una vez y media su longitud original y se suelta, recobra rápida y sustancialmente dicha longitud original. |
| Melamina | MF | Fibra formada por al menos el 85% de masa de macromoléculas reticuladas compuestas por derivados de melamina. |
| Vidrio textil | GF | Fibra química inorgánica constituida por vidrio. Obtenida a partir de la sílice. |
| Carbono | CF | Fibra química inorgánica constituida Carbón o Grafito. |
| Cerámica | CEF | Fibra procedente de la fundición de la sílice y la alúmina |
| Metal | MTF / ME | Fibra obtenida a partir de metales como: cobre, acero, estaño, aluminio, plata, etc. |

Tabla 1. Nombre, abreviatura y descripción de las fibras textiles

1.4 Glosario textil básico

Al describir, a continuación, las propiedades de las fibras textiles, se utilizará una terminología que hace referencia a las diversas formas en que las fibras textiles puedan presentarse o usarse a lo largo del proceso textil que todavía no se ha descrito. Con el fin entender su significado, se incluye a continuación, de forma resumida, un glosario textil básico.

1.4.1 Hilera textil (*spinnerete, en inglés*)

Placa metálica (de material muy resistente a las altas temperaturas y a la abrasión) llena de pequeños orificios (de decenas a millares) por donde pasa el polímero de la fibra en estado líquido, adoptando la forma de fibra.

La palabra hilera proviene del nombre de los apéndices, que las arañas y algunas especies de gusanos, tienen ubicados al final del abdomen y que contienen unas glándulas segregadoras de líquido. Dicho líquido al oxidarse, se endurece formando fibras continuas de seda. La mayoría de las arañas poseen seis hileras, pero pueden tener cuatro o dos. El gusano de seda tiene dos.



Figura 4. Ejemplo de hilera de fibras químicas.

Fuente: http://www.textilemachinery-spareparts.com/photo/pl1477747-hilera_hueco_de_la_fibra_para_el_filamento_del_poli_ster_o_el_filamento_de_la_poliamida_6_66_de_la_fibra_de_grapa_o_la_fibra_de_grapa.jpg

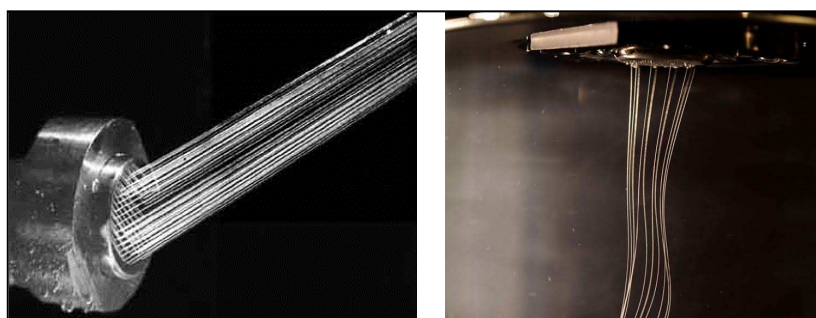


Figura 5. Obtención de fibras químicas al pasar por las hileras.

Fuente: Izquierda: <http://www.globalspec.com/ImageRepository/LearnMore/20123/Reign-Of-Chemistry-5jan53-10bd240f425d1048528ded0502a526572f.png>

Derecha: [http://www.innovationintextiles.com/uploads/4306/unnamed%20\(2\).jpg](http://www.innovationintextiles.com/uploads/4306/unnamed%20(2).jpg)

1.4.2 Monofilamento (*Monofilament*)

Filamento continuo formado por una sola fibra por sección. En la casi totalidad de los casos se trata de una fibra química puesto que la única fibra natural continua es la Seda. Un ejemplo típico de monofilamento es un hilo de pescar.



Figura 6. Monofilamento. Fuente: <http://www.biogeneral.com/monofilament/>

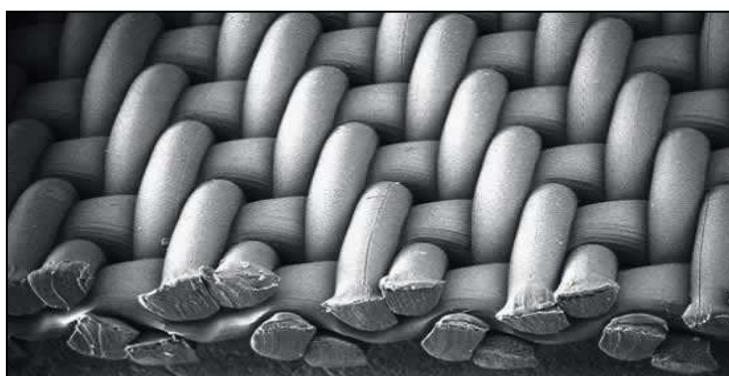


Figura 7. Tejido de calada realizado con monofilamento.
Fuente: Boegger Industrial Limited. <http://www.filtercloths.org/technology/select-filter-cloth.html>

1.4.3 Multifilamento (*Multifilament*)

Filamento continuo formado por varias (de decenas a algún centenar) fibras paralelas (torcidas o no) por sección. Los multifilamentos continuos están formados por fibras químicas. El único caso de multifilamento continuo de fibra natural es la seda.

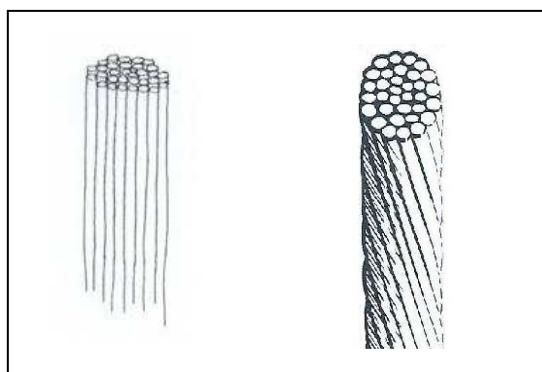


Figura 8. Multifilamento sin torsión (izquierda) y con torsión (derecha)

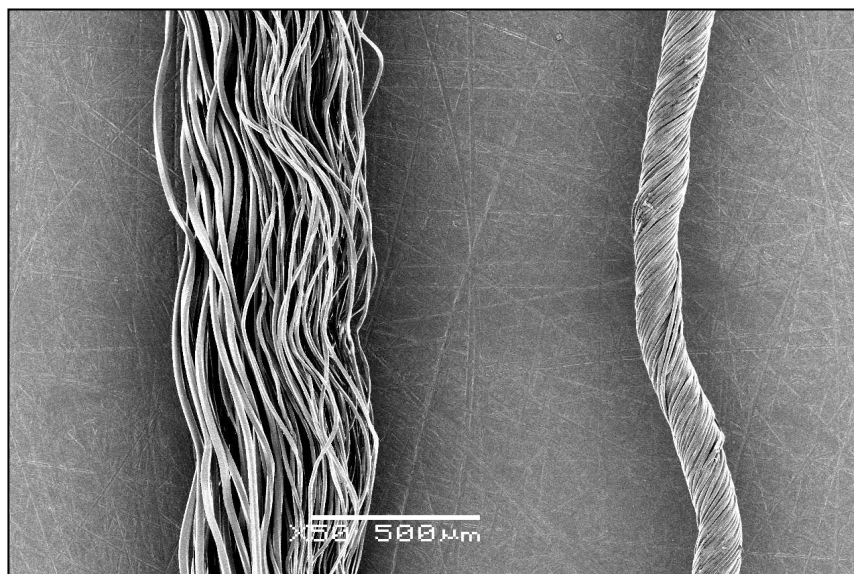


Figura 9. Foto de un Multifilamento continuo sin torsión (izquierda) y con torsión (derecha)

Los multifilamentos continuos de fibra química, se obtienen cuando el polímero en estado líquido atraviesa los agujeros de las hileras.

1.4.4 Multifilamento texturado (*Textured yarn*)

Multifilamento de fibra química continua termoplástica (habitualmente: Poliéster, Poliamida o Polipropileno), que ha sufrido un proceso de deformación mecánica i/o térmica (llamado texturado) con el fin de darles una rizado o deformación permanente que mejore su textura.

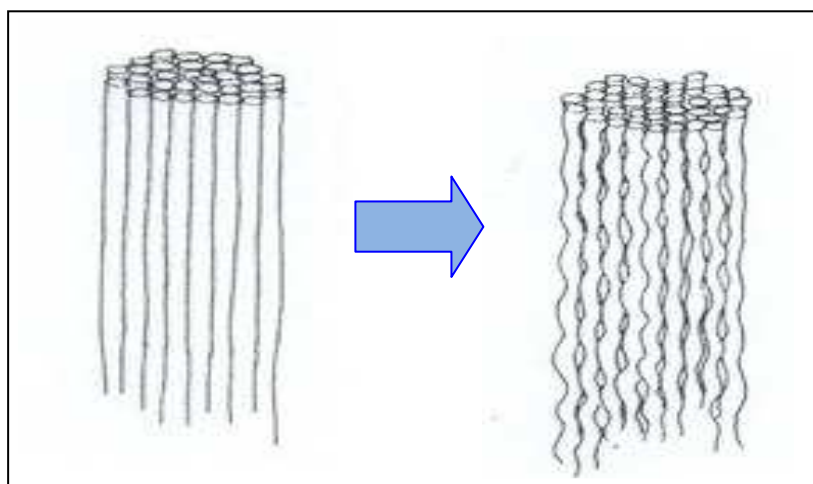


Figura 10. A la izquierda filamento continuo sin texturar. A la derecha filamento continuo texturado

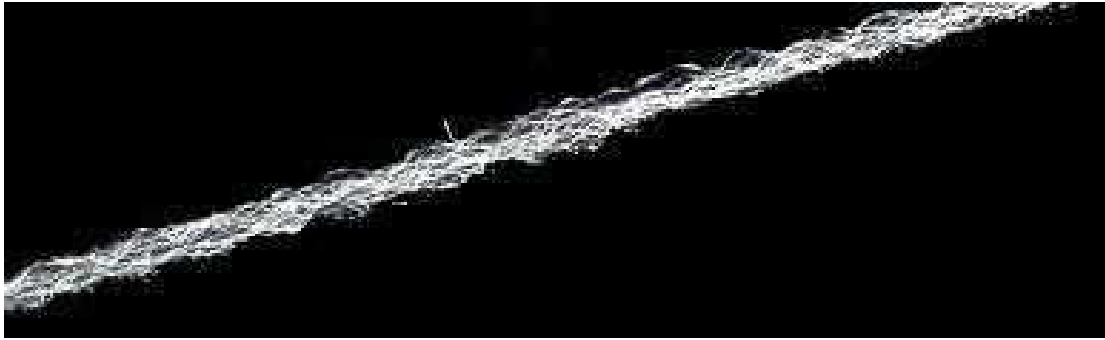


Figura 11. Multifilamento texturado. Fuente: http://www.swicofil.com/beag_products.html

1.4.5 Cable (*Tow*)

Multifilamento de fibra química continua formado por un gran número (millones) de multifilamentos continuos destinado a ser posteriormente cortado o desgarrado para convertirse en una cinta de fibras discontinuas (*Top*) o bien fibra cortada (*Staple fiber*). Se obtiene cuando se reúnen los multifilamentos obtenidos en varias hileras de millares de filamentos.



Figura 12. Cable de Poliéster. Fuente: Loyalyarns http://www.loyalyarns.com/english/products.asp?xl_id=34

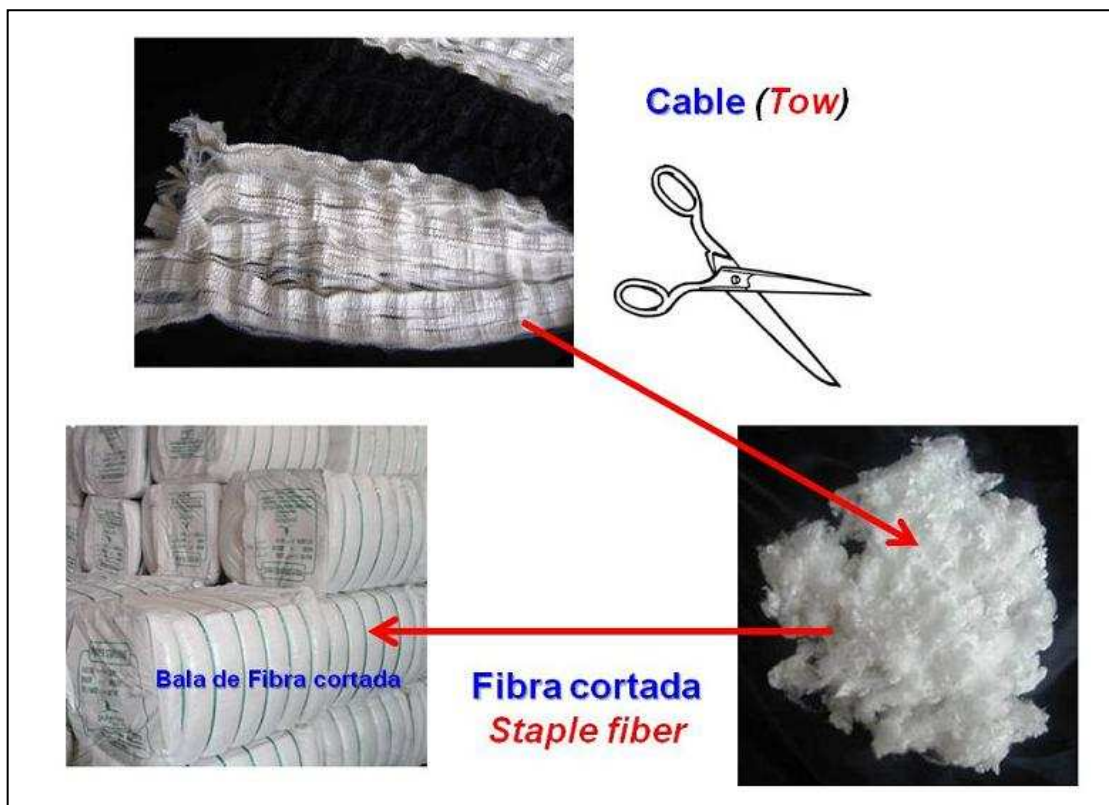


Figura 13. El cable es un producto intermedio del proceso de obtención de fibras químicas. Su objetivo final es convertirse en fibra discontinua por corte o desgarrado.



Figura 14. Línea de producción de cable. Véase el gran tamaño de las hileras.

Fuente: <http://www.ec21.com/product-details/Polyester-Staple-Fiber-Production-Line--8443999.html>

1.4.6 Fibra cortada (*Staple fiber*)

Fibra química de longitud discontinua, resultado del corte o desgarrado de un cable. Se transporta y vende en balas. Se utiliza como materia prima para obtener hilados.



Figura 15. Izquierda fibra cortada de Poliéster. Fuente: http://fibre.fibre2fashion.com/staple-fibre_suppliers_p283.html. Derecha: Almacén de balas de fibra cortada de poliéster. Fuente: <https://img3.qmdu.net/38151.2.jpg>

1.4.7 Floca

Expresión genérica que incluye a todas las fibras textiles discontinuas, ya sean de origen natural o de origen químico (cortadas o desgarradas) y presentadas sin orden aparente. Se venden en balas.



Figura 16. Izquierda: Floca de viscosa.
Fuente: <http://www.fibre2fashion.com/anilinternational/tradeleadsdetails.asp?refno=98856&enqid=15&offer=R>
Derecha Floca de lana. Fuente: <http://www.pambianconews.com/2013/11/13/dallunione-europea-milione-al-progetto-eco-biella-134042/>

1.4.8 Flock (*Flock*)

Fibra química discontinua de longitud muy corta (de 0,25 a 5 mm), inservible para obtener hilados debido a su corta longitud. Las fibras de flock convenientemente enderezadas electrostáticamente se pegan sobre a un soporte plástico dando un tacto parecido al terciopelo.



Figura 17. Flock. Fuente: http://op00001798.en.ec21.com/Fiber_Flock--203079_203082.html

1.4.9 Nanofibras (*nanofibers*)

Son fibras químicas de diámetro inferior a 500 nanómetros. Se producen generalmente mediante hilatura electrostática que permite producir fibras cien veces más finas que en los métodos convencionales. Las fibras obtenidas se depositan en una membrana no tejida llamada material nanofibroso. La relación superficie-volumen de estas fibras es muy elevada. de estructuras convencionales.

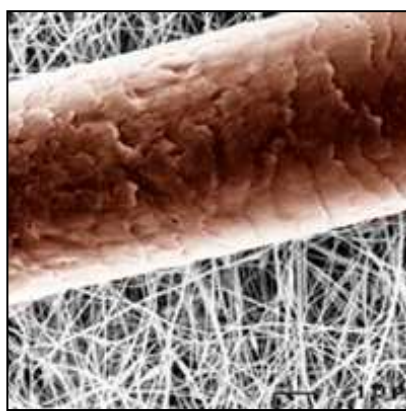


Figura 18. Comparación entre el diámetro de una fibra de pelo humano (la fibra marrón grande) respecto a las nanofibras (la blancas del fondo de la imagen). Fuente: <http://noticiariotextil.com/?p=621>

Las estructuras obtenidas generan sistemas dinámicos que pueden variar tanto el tamaño de los poros como la forma. Las propiedades de flexibilidad, tenacidad y resistencia a la tracción son imposibles de conseguir con otros materiales.

La baja densidad y elevado volumen de los poros de los materiales nanofibrosos los hacen muy apropiados para dispositivos biomédicos que liberan de forma controlada fármacos o cosméticos. También son útiles para determinadas prendas de vestir, elementos de limpieza y productos industriales destinados a filtración, elementos de barrera y aislamiento, pilas, transistores, óptica, tecnología de la información y sector espacial.

1.4.10 Fibras Multicomponentes (*Multicomponent fibers*)

Son fibras químicas que combinan al menos dos polímeros que tienen propiedades y/o composiciones químicas diferentes. Los polímeros se estruyen juntos, y su posición relativa en la fibra depende de factores como la geometría de los orificios de la hilera y las propiedades intrínsecas del polímero (viscosidad y peso molecular).

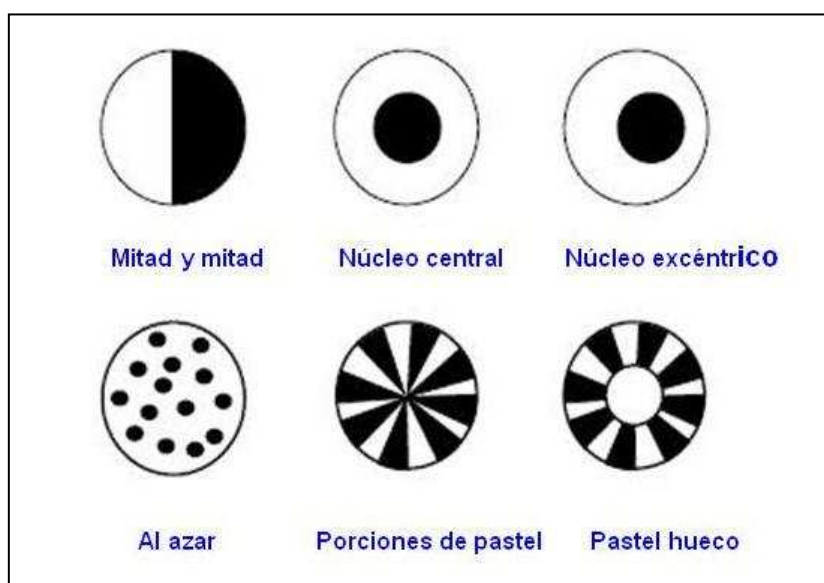


Figura 19. Distintos tipos de fibras bicomponentes.

1.4.11 Fibras huecas (*Hollow fiber*)

Fibras químicas que presentan el núcleo interior hueco. Se utilizan habitualmente como fibras de relleno de almohadas, sacos de dormir y anoraks, debido a su ligereza, aislamiento térmico y mayor absorción de humedad por capilaridad.

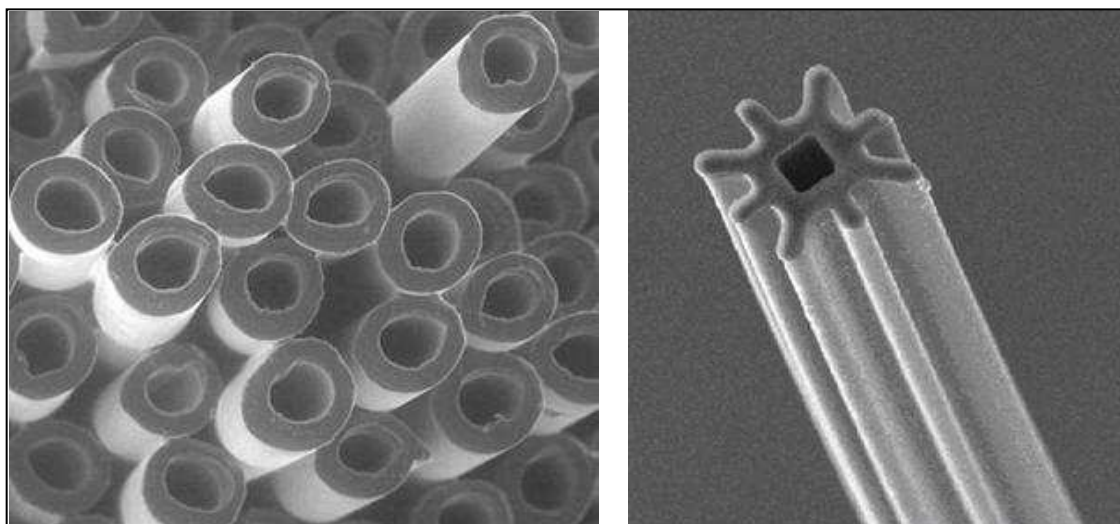


Figura 20. Izquierda: Fibra hueca. Fuente: [http://www.ibwch.lodz.pl/pliki/IBWCh_\(ssj1mlw0jkmii44y\).jpg](http://www.ibwch.lodz.pl/pliki/IBWCh_(ssj1mlw0jkmii44y).jpg)
Derecha: Teijin Octa Hollow Polyester Fiber. Fuente: <http://www2.teijin-frontier.com/english/news/151217.html>

1.4.12 Hilado (*Spun yarn*)

Hilo es el producto resultante de la operación de hilar, que consiste esencialmente en paralelizar y torcer fibras discontinuas, ya sean naturales o químicas. Al destorcerse y eliminar la torsión, el hilo se deshace.

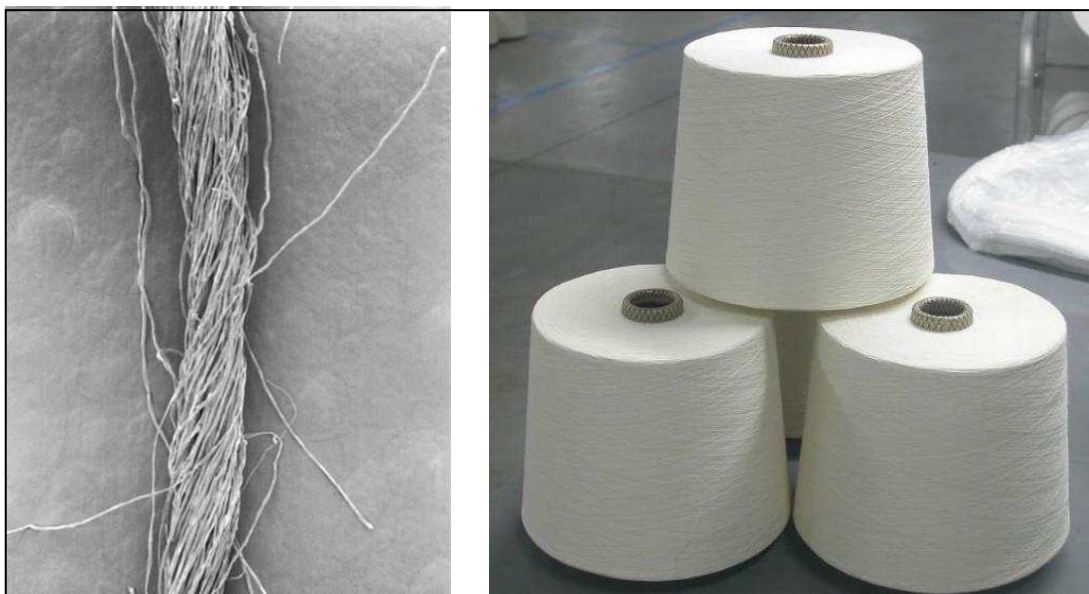


Figura 21. Izquierda Hilado de fibra discontinua. Fuente http://www.guiadealgodon.org/uploadedImages/intracenorg/Content/Exporters/Sectors/Food_and_agri_business/Cotton/Cotton_Guide/2.8.1%20sp%206.jpg. Derecha: Bobina de hilado. Fuente: <https://spanish.alibaba.com/product-detail/100-cotton-yarn-for-knitting-weaving-melange-yarn-siro-yarn-grey-farbics-etc--123199114.html>

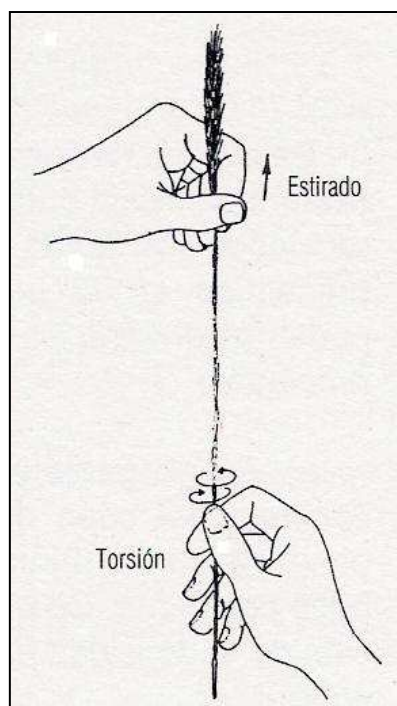
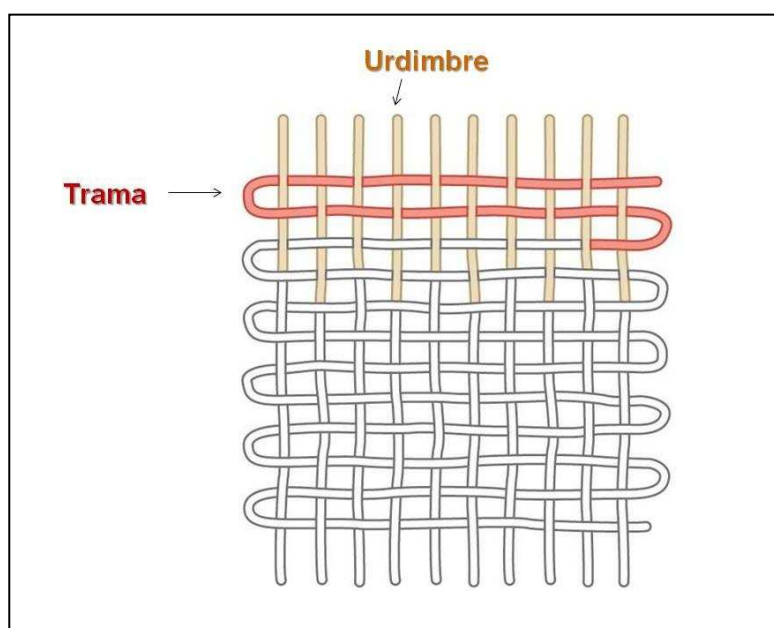


Figura 22. Obtención manual de un hilado

1.4.13 Tejido de calada (*fabric*)

Un tejido de calada es una superficie plana, flexible y más o menos elástica, resultado del entrecruzamiento de dos series perpendiculares de hilos. La serie vertical se denomina urdimbre y la horizontal trama.

Figura 23. Esquema de un tejido de calada. Fuente: <http://mildedales.com/wp-content/uploads/2016/01/ligamento.jpg>

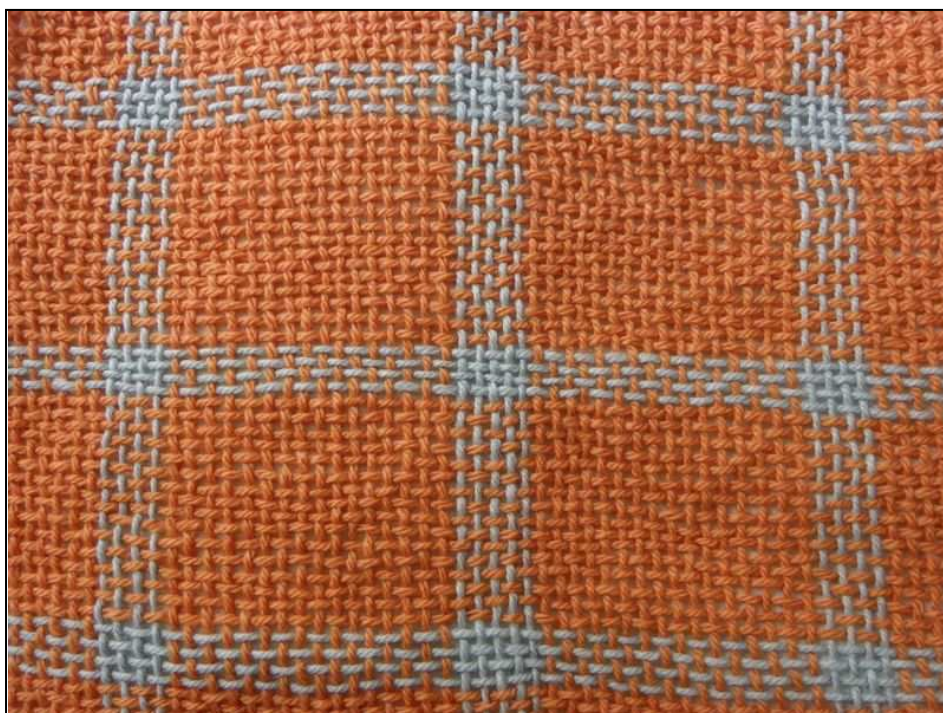


Figura 24. Tejido de calada con ligamento de tafetán.

Fuente: http://3.bp.blogspot.com/-5o6OwBud3nQ/UKDrqv1ISHI/AAAAAAAAAUE/I-QvyHKHc7A/s1600/IMG_P8549+%5B800x600%5D.JPG

1.4.14 Tejido de malla (*knit*)

Superficie plana, flexible y más o menos elástica, que no es el resultado del entrecruzamiento de dos series perpendiculares de hilos, sino del enlazamiento de hilos formando mallas. Su estructura es más flexible y extensible que los tejidos de calada.

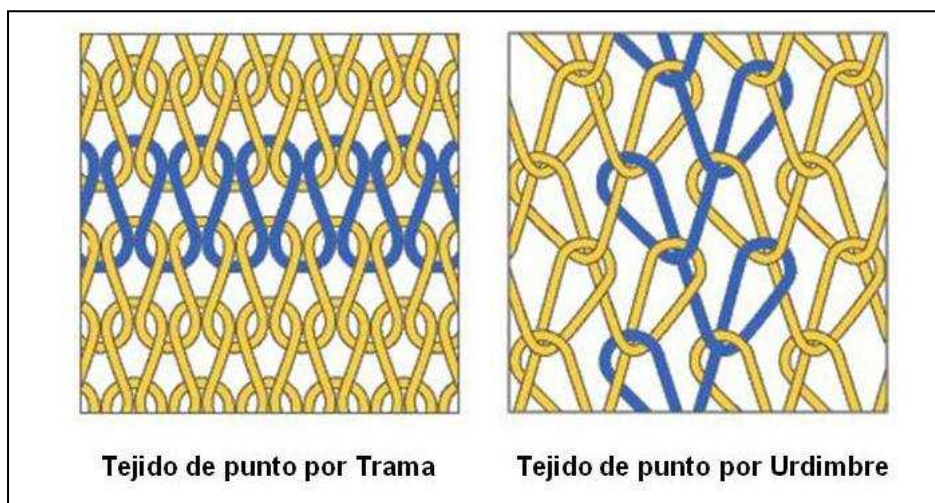


Figura 25. Izquierda: tejido de punto por trama (*weft fabric*), derecha: tejido de punto por urdimbre (*warp fabric*). Fuente: <https://s-media-cache-ak0.pinimg.com/originals/4f/3b/c0/4f3bc058bd573884cf8d5bd551d81209.png>

Hay dos tipos de tejidos de malla o de punto:

- Tejidos de punto por trama, que pueden obtenerse con un solo hilo que se enlaza consigo mismo.
- Tejidos de punto por urdimbre, necesitan dos series de hilos perpendiculares que se enlazan entre ellos.

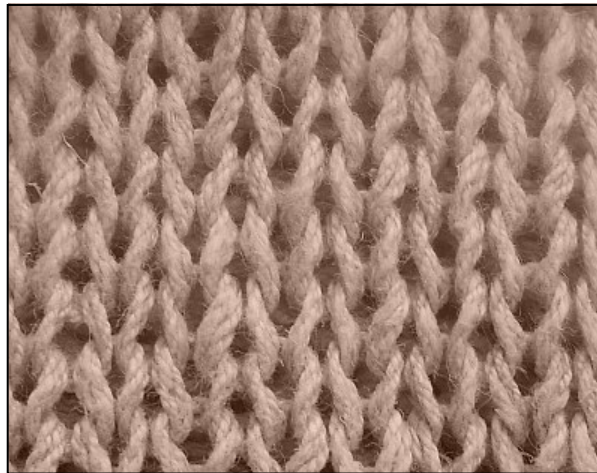


Figura 26. Tejido de malla o de punto por trama.

Fuente: https://i1.wp.com/rominamartire.com/wp-content/uploads/2016/08/ID_372.jpg?fit=400%2C300

1.4.15 No tejido (*Non woven*)

Superficie plana, flexible y más o menos elástica, que no es resultado del entrecruzamiento de dos series perpendiculares de hilos, ni del enlazamiento de hilos formando mallas, sino del enmarañamiento de fibras individuales entre sí, consolidadas de forma química y/o mecánica.



Figura 27. Imagen de un no tejido fino. Fuente: http://www.flybmed.com/photo/pl3555697-14_45_25_40_gsm_comfort_pp_spunbond_diapers_bed_sheet_tent_non_woven_fabric.jpg



Figura 28. Imagen de un no tejido grueso. Fuente: http://img.archiexpo.com/images_ae/photo-g/59331-2122227.jpg

1.5 Propiedades de las fibras

Las fibras textiles, como cualquier otro material, tienen una serie de características y propiedades que las definen.

Estas características pueden agruparse en diversos ámbitos (ver figura 29):

- Propiedades dimensionales como longitud, finura, forma de la sección transversal y densidad.
- Propiedades mecánicas como resistencia, tenacidad, alargamiento módulo de elasticidad, elasticidad, flexibilidad, etc.
- Propiedades de absorción de fluidos como la capacidad de absorción y recuperación de humedad, transpirabilidad, estabilidad dimensional, liberación de aceite, etc.
- Propiedades térmicas como conductividad, reblandecimiento, fusión, combustibilidad, descomposición, etc.
- Propiedades eléctricas como resistencia eléctrica, carga estática, etc.
- Propiedades químicas como orientación molecular, cristalinidad, resistencia a los ácidos, álcalis, agentes oxidantes, disolventes orgánicos, etc.

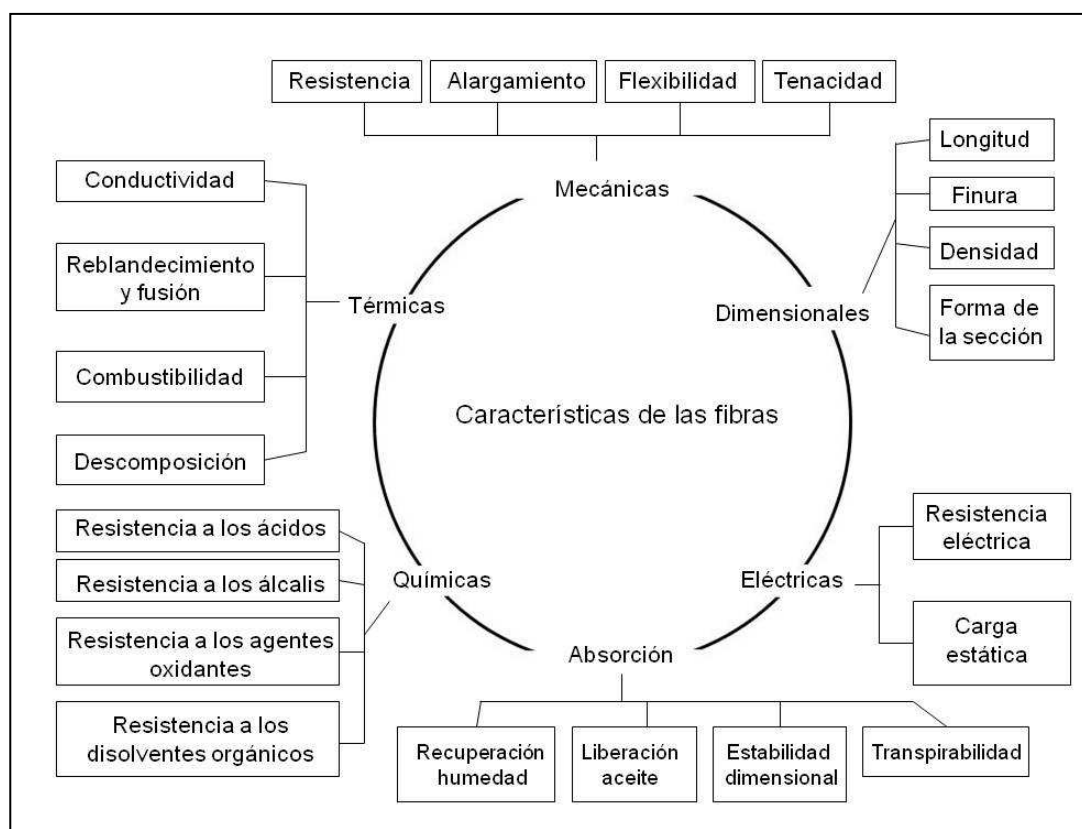


Figura 29. Esquema de las propiedades de las fibras textiles

1.5.1 Propiedades dimensionales

1.5.1.1 Longitud de fibras

1.5.1.1.1 Importancia e implicaciones

La longitud de las fibras y particularmente la forma en que se distribuye la variación de ésta longitud tiene una gran importancia puesto que influye considerablemente en las propiedades de procesabilidad y uso final de los hilados y tejidos obtenidos con estas fibras. La longitud de las fibras influye asimismo en su precio y por lo tanto estamos ante una propiedad que tiene una considerable importancia tanto económica como comercial.

Las fibras largas ofrecen una mayor superficie de rozamiento entre ellas y por lo tanto se podrá obtener hilados más finos (tabla 2) y resistentes (figura 30). Esta mayor superficie contribuye a mejorar el control interfibrilar en los procesos de estiraje y por lo tanto dará lugar a hilados con una mayor regularidad de masa y menor número de defectos. Al haber mayor control interfibrilar no será necesario aplicar tanta torsión en la máquina de hilar y por lo tanto la productividad en el proceso de hilatura será mayor y el tacto de los tejidos obtenidos con éstos hilados será más suave. Al haber mayor control interfibrilar emergerán menos extremos de fibras y por lo tanto se obtendrán, también, hilados menos vellosos.

| Longitud de fibra (mm) | Título del hilo (tex) |
|------------------------|-----------------------|
| 23,0 - 23,8 | > 59 |
| 24,6 | > 49 |
| 25,4 | ≥ 37 |
| 26,2 - 27,9 | ≥ 14 |
| 28,3 - 29,4 | > 10 |

Tabla 2. Título del hilo de algodón en función de la longitud de fibra.

<http://www.rieter.com/tr/rikipedia/articles/technology-ofshort-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/the-influence-of-length/>

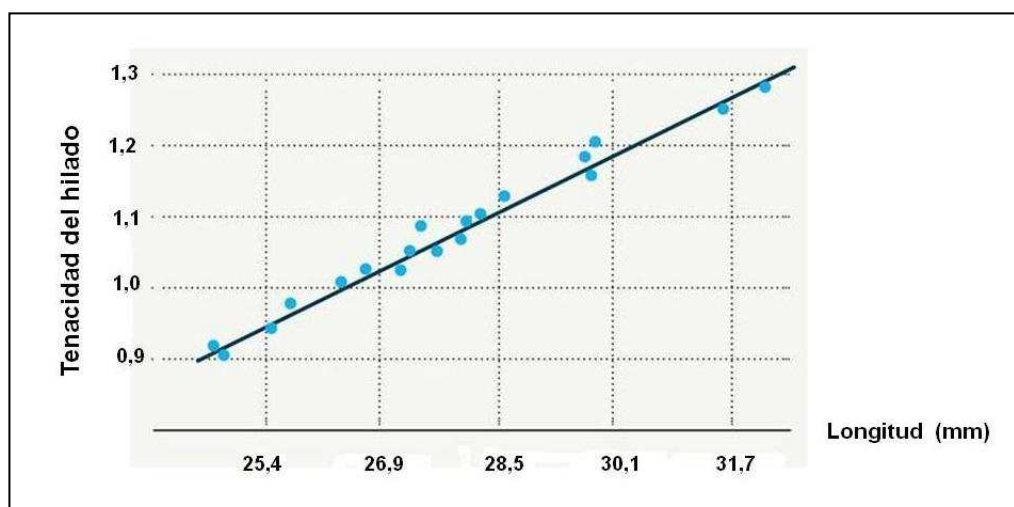


Figura 30. Influencia de la longitud de las fibras de algodón en la tenacidad del hilado resultante.

Fuente: <http://www.rieter.com/tr/rikipedia/articles/technology-ofshort-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/the-influence-of-length/>

La presencia de fibras cortas genera, por el contrario, una mayor irregularidad de masa de los hilados, mayor número de defectos, menor resistencia, mayor vellosidad, siendo necesario aumentar la torsión de los hilados y en consecuencia el tacto de los tejidos resultantes será más áspero.

Según sea la longitud de las fibras y su distribución, será necesario ajustar las distintas máquinas del proceso de hilatura de forma diferente, en particular el ecartamiento de los trenes de estiraje del proceso de hilatura.

La longitud de las fibras determina el sistema de hilatura a utilizar (algodonero o lanero).

Las fibras naturales tienen una longitud limitada muy variable que oscila entre 10 y 900 mm, excepto el caso de la Seda natural que se trata de un filamento continuo que puede alcanzar hasta los 1.500 m (longitud del filamento del capullo del gusano de seda). Además, la distribución de la longitud de las fibras de cada tipología no es tampoco uniforme (ver tabla 3).

| Tipo de fibra | Longitud en mm |
|-------------------------------|---|
| Algodón | de 10 a 65 mm |
| Algodón americano tipo Upland | 21 - 32 |
| Algodón americano tipo Pima | 35 - 41 |
| Algodón egipcio | 38 a 44 |
| Algodón Sea Island | 35 - 64 |
| Coco | hasta 35 |
| Lino | 13 – 55 (hasta 900) |
| Ramio | 40 -150 |
| Cáñamo | 20 - 25 (estopa de 30 a 40 cm) |
| Yute | 1.000 - 4.000 |
| Sisal | 2,5 – 3 (haces de 60 a 120) |
| Lana | 40 - 500 |
| Lana merina | 40 - 100 |
| Lana Cheviot | 150 - 250 |
| Lana Leicester | 300 - 500 |
| Alpaca | 200 - 250 |
| Llama | 250 - 300 |
| Camello | Vello interior 25 - 125 Vello exterior 150 |
| Mohair | 200 - 250 |
| Cachemira | 250 – 900 Vello externo 40 -200 |
| Angora | 20 - 80 |
| Vicuña | 35 - 75 |
| Seda natural | 500 – 1.500 m |
| Fibras químicas | Variable a voluntad |

Tabla 3. Gama de longitudes y finuras de las fibras textiles

En el proceso de hilatura, se considera que las fibras inferiores a 4-5 mm se pierden en el aire en forma de polvo o borra. Las comprendidas entre 5 y 12-15 mm, forman parte de la estructura del hilado pero no participan activamente en sus propiedades, mientras que las superiores a los 12-15 mm, forman parte de la estructura del hilado y participan activamente en sus propiedades. Este es el motivo por el cual, la presencia de fibras cortas en la distribución de la longitud de las fibras se considera un problema que puede afectar a la calidad de los hilados, hasta el punto que algunos procesos de hilatura incluyen la operación optativa de peinado donde se eliminan estas fibras cortas.

1.5.1.1.2 Medida de la longitud y representación gráfica

Para la medida de la distribución de la longitud de fibras de un lote o partida se pueden utilizar varios sistemas de medición, cada uno de los cuales es más adecuado para cada tipología de fibra.

- Determinación manual "Pulling"
- Medición individual: método manual y método fotoeléctrico
- Medición con equipos de lecho de peines

- Medición capacitiva
- Medición mediante análisis de imágenes
- Medición fotoeléctrica

Si bien es cierto que los parámetros estadísticos de longitud de fibra tienen su interés, a nivel práctico en el comercio de algodón se utilizan otros indicadores como se muestra a continuación.

1.5.1.1.3 Longitud de la fibra de algodón. Método “pulling”

Consistente en una preparación manual de un pincel de fibras representativo de la longitud de la fibra de la muestra estudiada. Este procedimiento, para el cual se precisa de una gran habilidad manual, ha sido utilizado durante muchos años por los comerciantes de algodón para clasificar de forma rápida la longitud de una partida de algodón.

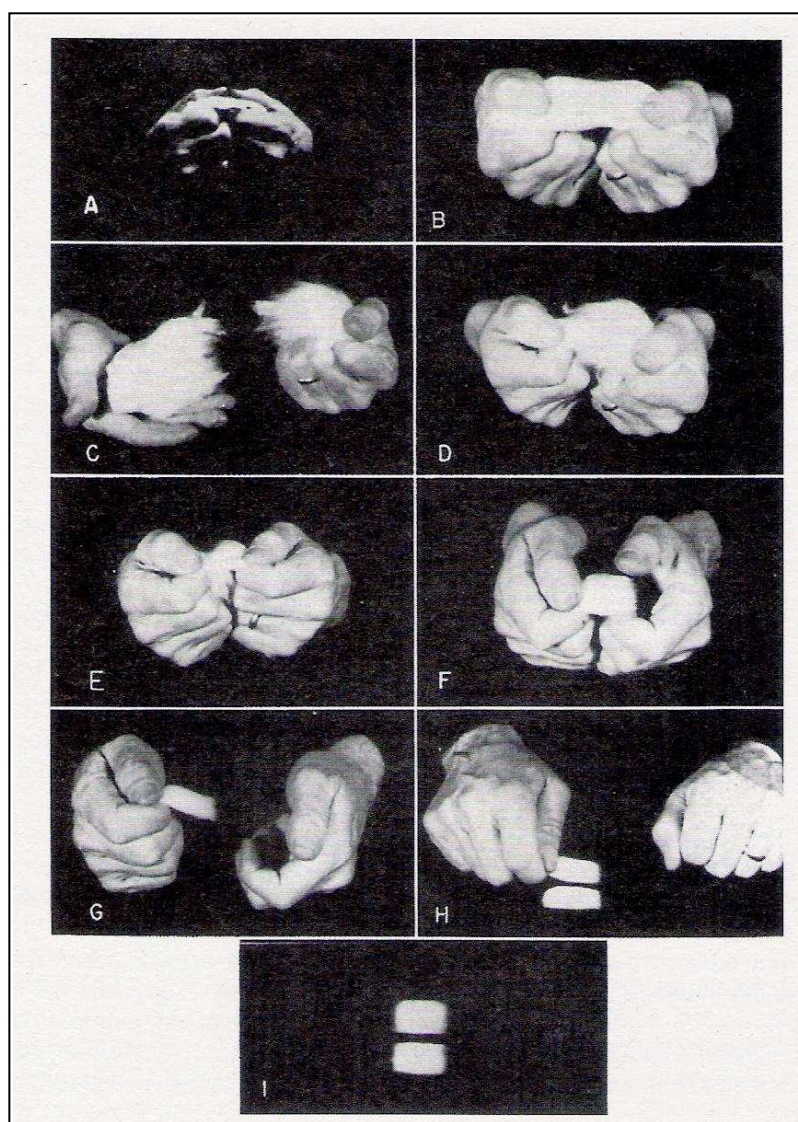


Figura 31. Método “pulling” para la longitud de fibra. Fuente: The Classification of Cotton (USDA)

Consiste en la paralelización y extracción de una mecha o pincel de fibras de acuerdo con una serie de operaciones manuales que se comparan con los patrones de longitud.

En las figuras 31, 32 y 33, tomadas de la publicación del Departamento de agricultura de Estados Unidos (USDA) "The classification of Cotton", se indica la manera de hacer el pulling y la explicación de las fibras que se desechan de dicha operación y una muestra de la variabilidad de longitud que presentan las fibras de algodón dentro de una misma bala.

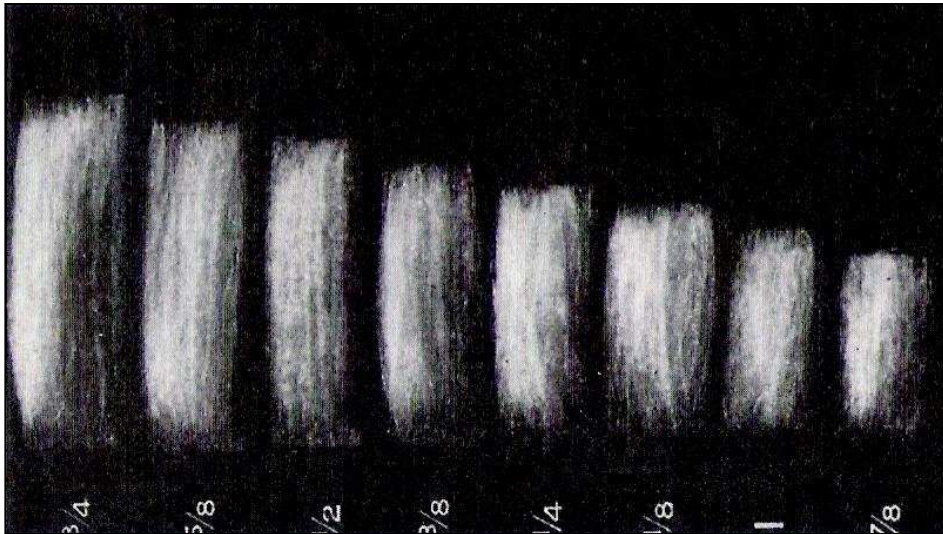


Figura 32. Longitudes de fibra "pulls" de patrones oficiales.

Fuente: The classification of Cotton. USDA)

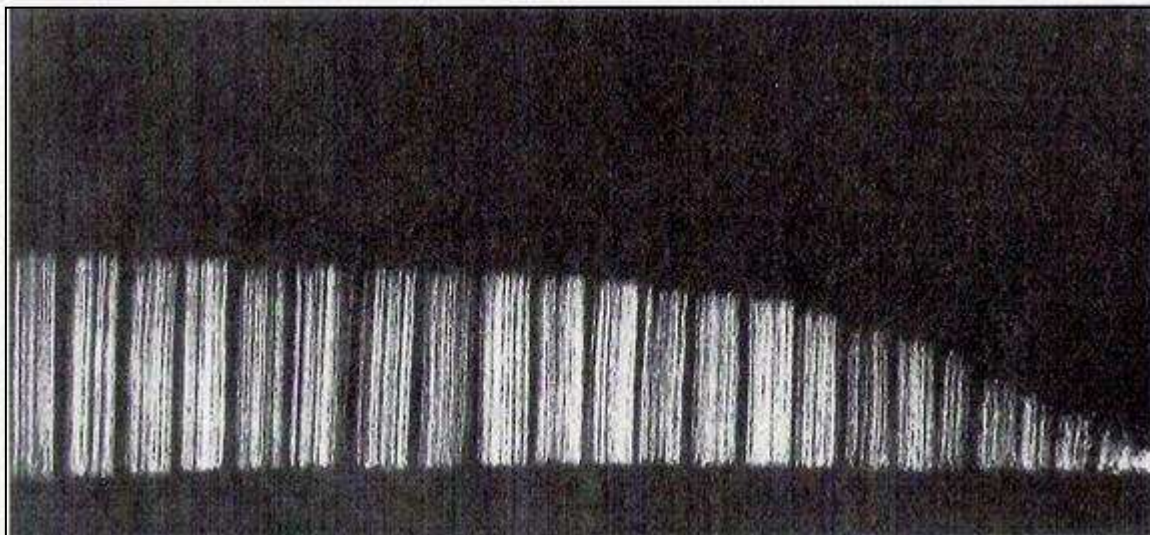


Figura 33. Distribución de fibras encontrada en una muestra de algodón de 1-5/32 pulgadas. Las fibras están en una gama de longitudes desde menos de 1/8 de pulgada hasta 1 5/8 de pulgada.

Fuente: The classification of Cotton. USDA

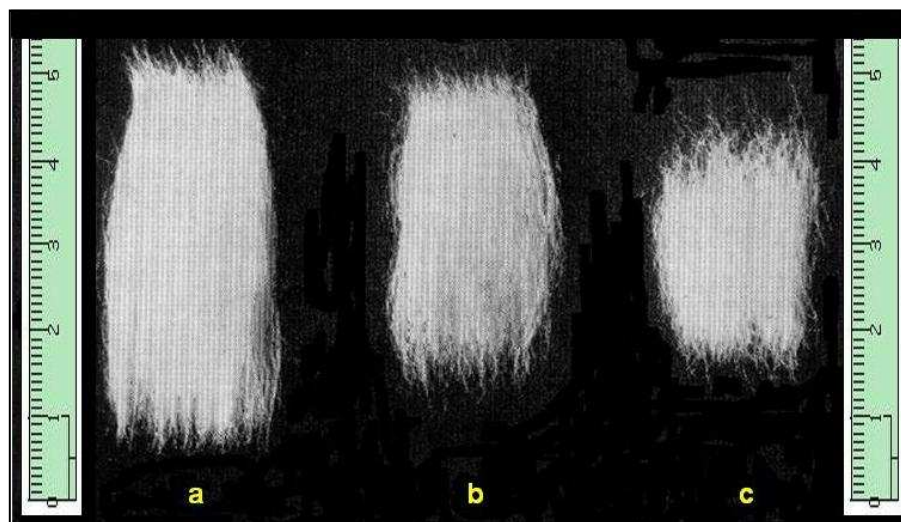


Figura 34. Longitud comercial del algodón obtenida por el método pulling. Pueden observarse de izquierda a derecha 3 muestras de algodón de algodón largo (a), medio (b) y corto (c).

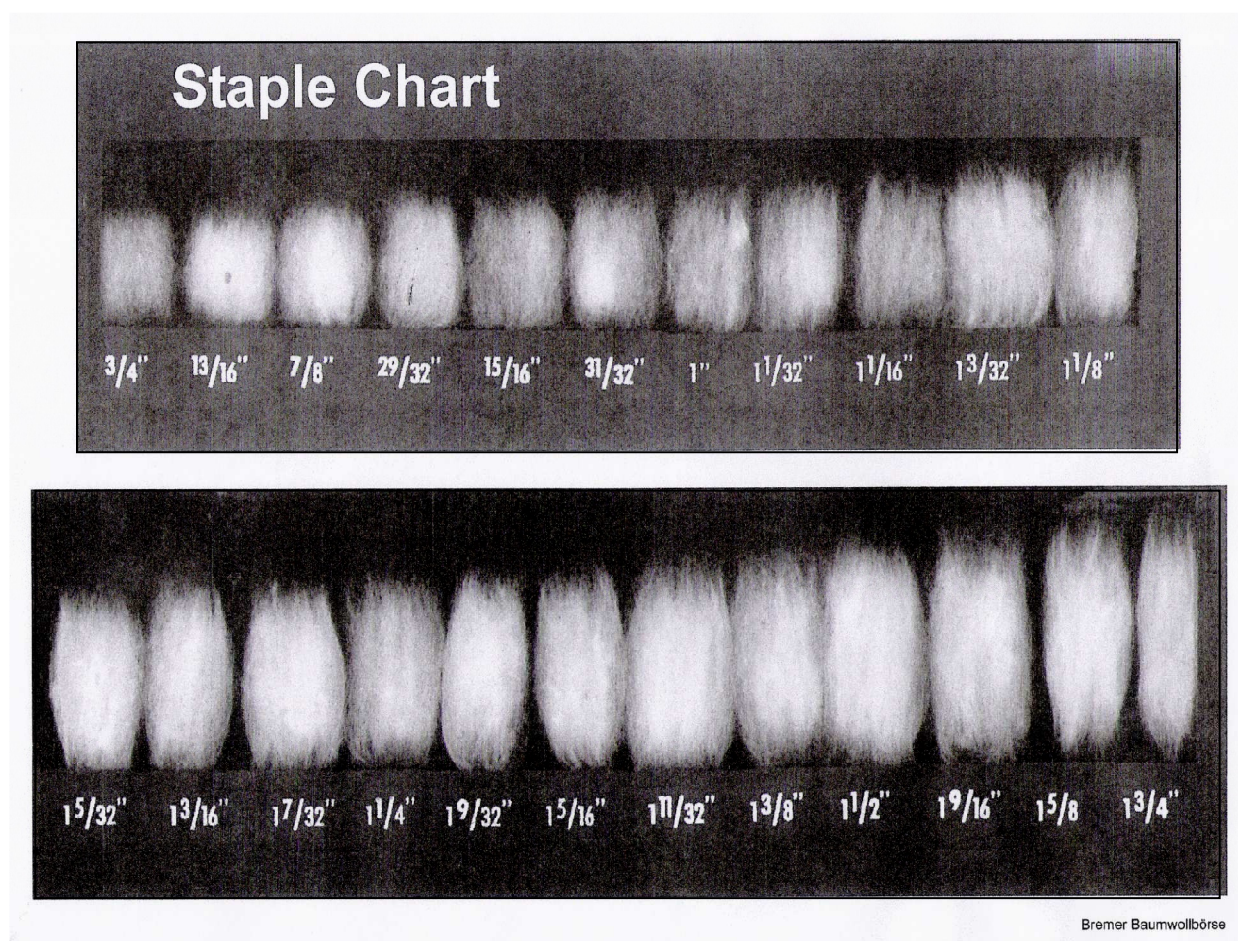


Figura 35. Clasificación de la longitud comercial del algodón por el método de pulling de diferentes muestras de longitud de algodón. Fuente: Centro Algodonero Nacional de Barcelona.

1.5.1.1.4 Medición individual

1.5.1.1.4.1 Método manual

Este sistema de medición sigue la Norma UNE 40-152-84 y BISFA y es adecuado para fibras químicas discontinuas de corte rectangular.

Para saber la cantidad de fibras que deben analizarse, se seguirá la siguiente fórmula:

$$\text{peso mg} = \frac{\text{Título en deniers de la fibra} \times \text{Longitud nominal en mm}}{3}$$

La muestra a analizar deberá permanecer al menos 24 horas en un clima standard. la muestra de fibras se colocará sobre un terciopelo negro en el caso de fibras blancas, o bien sobre otro de color contrastado para fibras de color. Se cogerán al azar 500 fibras. Cada fibra se coloca de forma rectilínea sobre una placa de cristal recubierta por una pequeña cantidad de aceite de parafina. Con ayuda de los dedos, se extiende la fibra hasta eliminar su rizado (teniendo cuidado de no deformar la fibra) y el aceite superficial de la placa obligará a la fibra a permanecer en forma rectilínea y enderezada. A continuación se mide la longitud de la fibra mediante una regla especial con una precisión inferior a 1 mm. Los resultados obtenidos se clasificarán como se indica en la tabla siguiente.

| ≤ 45 mm Longitud central de clase (mm) | ≤ 45 mm Límite de clase (mm) | 46 - 80 mm Longitud central de clase | 46 - 80 mm Límite de clase | ≥ 81 mm Longitud central de clase | ≥ 81 mm Límite de clase |
|---|------------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------------------------|
| 1,0 | 0,51 - 1,50 | 2,0 | 1,01 - 3,00 | 5,0 | 2,51 - 7,50 |
| 2,0 | 1,51 - 2,50 | 4,0 | 3,01 - 5,00 | 10,0 | 7,51 - 12,50 |
| 3,0 | 2,51 - 3,50 | 6,0 | 5,01 - 7,00 | 15,0 | 12,51 - 17,50 |
| 4,0 | 3,51 - 4,50 | 8,0 | 7,01 - 9,00 | 20,0 | 17,51 - 22,50 |
| etc. | etc. | etc. | etc. | etc. | etc. |

Tabla 4. Clasificación e intervalos de clase según la longitud nominal de la fibra

Para la realización de los cálculos se tendrá en cuenta el número de fibras n_i en cada clase de longitud central l_i .

Se calculará para esta clase la frecuencia en %, de la siguiente forma:

$$fi = \frac{ni}{\sum ni} \cdot 100$$

Siendo:

fi = frecuencia (%) en la clase i de la longitud central li .

ni = número de fibras de la clase i de longitud central li .

$\sum ni$ = suma de los valores ni para el conjunto de clases.

Para la realización del ensayo se deberán medir entre 300 y 500 fibras, si bien en el caso de fibras químicas de corte rectangular que tiene una baja variabilidad de longitud mínima, será suficiente con 100 mediciones.

La longitud media de 500 fibras será:

$$L = \frac{\sum_{i=1}^k fi \cdot li}{100}$$

Una vez calculada la media aritmética de las fibras medidas, se calculará el límite práctico de error. Si este límite no supera el 2%, la longitud media obtenida se considerará como la longitud media del lote.

Si el límite práctico de error es superior al 2%, se aumentará el número de lecturas hasta que el límite de error sea igual o inferior al 2%.

En la expresión de los resultados se hará constar:

- Número de fibras medidas
- % en número de las fibras de cada clase
- Longitud media
- CV %

Sin duda alguna la medición individual de las fibras es un proceso muy lento que requiere una buena habilidad manual pero aporta una información muy buena.

El resultado de la medición individual de las fibras permite construir el denominado “diagrama natural”, que es la figura formada por todas las fibras componentes de una muestra, situadas de forma paralela, una al lado de otra, con una densidad regular y ordenadas de la más larga (LO) a la más corta (AL), todas ellas con su origen sobre una línea (OA) perpendicular a todas ellas y que sirve de base al diagrama (figura 4).

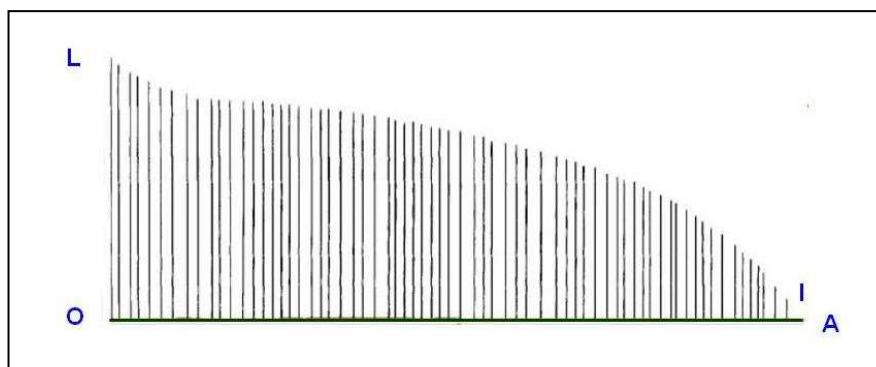


Figura 36. Diagrama natural

El diagrama natural contiene por si mismo toda la información necesaria respecto a la longitud de las fibras y su dispersión.

En este diagrama, las ordenadas representan las longitudes de las fibras y las abscisas el número de fibras colocadas. Esto quiere decir que cada fibra ocupa un determinado espacio igual para todas las de la muestra.



Figura 37. Diagrama natural de las longitudes (alturas) de los alumnos de una clase.

Si quisiéramos saber la distribución de las alturas de los alumnos de una clase mediante este sistema, tendríamos que colocar todos los alumnos uno al lado de otro y ordenados de mayor a menor altura. El resultado que obtendríamos sería equivalente a un diagrama natural de alturas (longitudes).

Si lo que quisiéramos es conocer la distribución de longitudes (alturas) de los alumnos de una escuela y no de una clase, ya no podríamos trabajar con todos los alumnos de la escuela dado que la cifra es muy elevada. En este caso deberíamos trabajar con una muestra representativa de la distribución de longitudes. Lo mismo sucede con un lote o partida de fibras textiles.

1.5.1.1.4.2 Método fotoeléctrico (AFIS)

El equipo *USTER AFIS PRO 2*, utiliza un sistema de medición fotoeléctrico para determinar la longitud de las fibras de una muestra. Dicho equipo está concebido para determinar individualmente la longitud, finura, nepes e impurezas de las fibras de algodón, si bien también puede utilizarse para fibras químicas de corte algodonoero. No se trata de un equipo diseñado para analizar estas propiedades de las fibras procedentes de la bala sino de las cintas de fibras en las diferentes fases del proceso de hilatura. Se trata de un equipo ideal para estudiar como varían las propiedades de las fibras a lo largo del proceso de hilatura y con esta información ajustar adecuadamente las distintas máquinas. Si analizamos, por ejemplo, la longitud de las fibras antes y después del peinado podremos estudiar

el mejor ajuste de la peinadora. Lo mismo sucede con la cantidad y calidad de las impurezas que presenta la fibra antes y después del cardado, etc.

Véase un video sobre este equipo en:

<https://www.youtube.com/watch?v=ZiZs-6TBKN4>



Figura 38. USTER AFIS PRO 2.

Fuente: <https://www.uster.com/nc/en/instruments/default-title/0/fiber-testing/uster-afis-pro/>

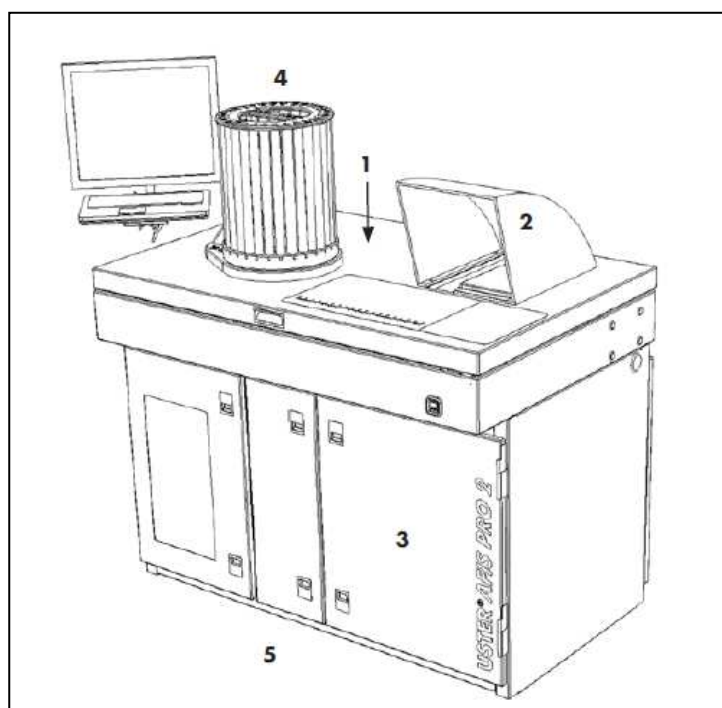


Figura 39. Equipo AFIS. 1: Módulo de medida de Neps, longitud y madurez; 2: Balanza electrónica; 3: Impresora (en el interior); 4: Módulo opcional Autojet para la carga automática de probetas; 5: Unidad operativa.

Fuente:

https://www.uster.com/fileadmin/customer/Instruments/Fiber_Testing/AFIS_Pro/en_USTER_AFIS_PRO_2_TD_2015_11.pdf

Para la realización del ensayo, se pesa una determinada cantidad de cinta de fibras del proceso de hilatura (muestra) y se introduce en el sistema de medición. Un sistema de separación aeromecánico es capaz de separar las fibras, los neps, las impurezas y el micropolvo. Cada material es analizado fotoeléctricamente por canales distintos y finalmente el sistema es capaz de cuantificar la longitud de las fibras analizadas individualmente así como la cantidad de neps por gramo. La finura de la fibra (índice Micronaire si se trata de algodón, deducida a partir de la medida del ancho de la fibra) o bien el título en dtex si se trata de fibras químicas. Determina también el contenido de impurezas (cantidad de ellas y su tamaño) por unidad de peso y el contenido de micropolvo.

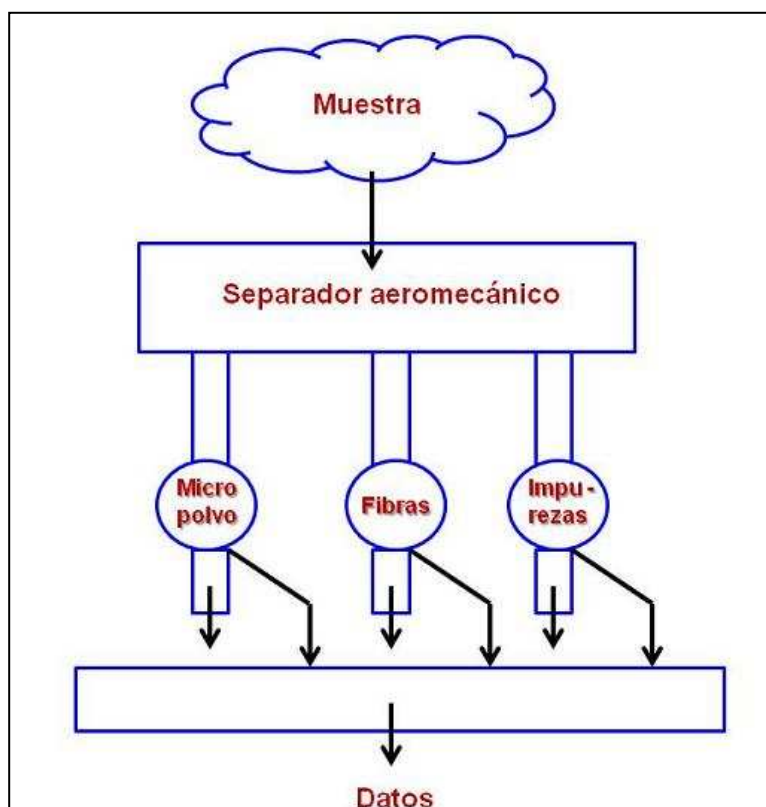


Figura 40. Separador aeromecánico del equipo AFIS

En la figura 41 puede observarse el esquema del equipo AFIS. Las fibras son disgregadas e individualizadas debido a la acción de unos pequeños cilindros disgregadores recubiertos de guarnición. Debido a esta acción se separan aerodinámicamente las fibras, los neps, las impurezas y el micropolvo. Las fibras son interceptadas por un detector óptico que genera una señal eléctrica que es proporcional a la longitud de la fibra y a su grosor (ver figuras 42, 43 y 44).

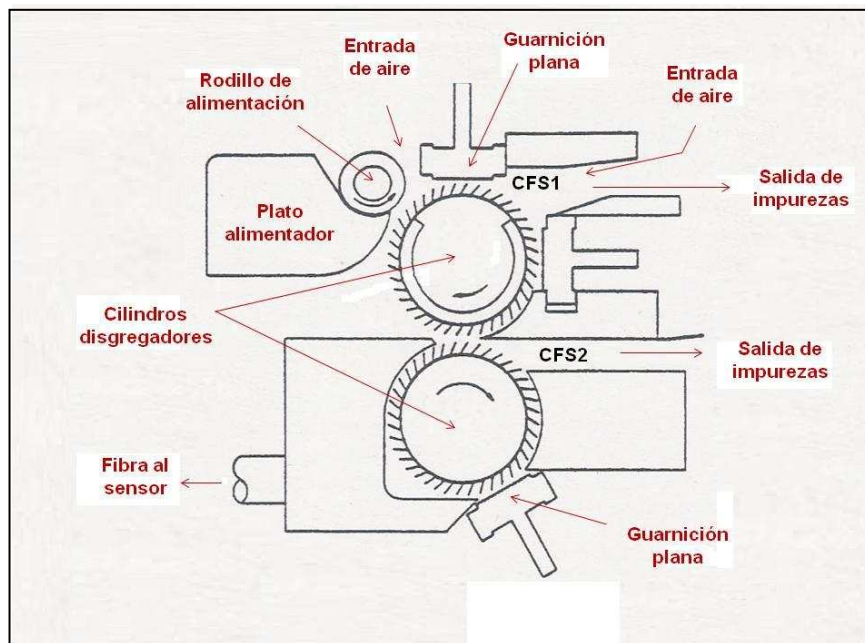


Figura 41. Esquema del equipo AFIS. Fuente: Catálogo AFIS Zellweger USTER

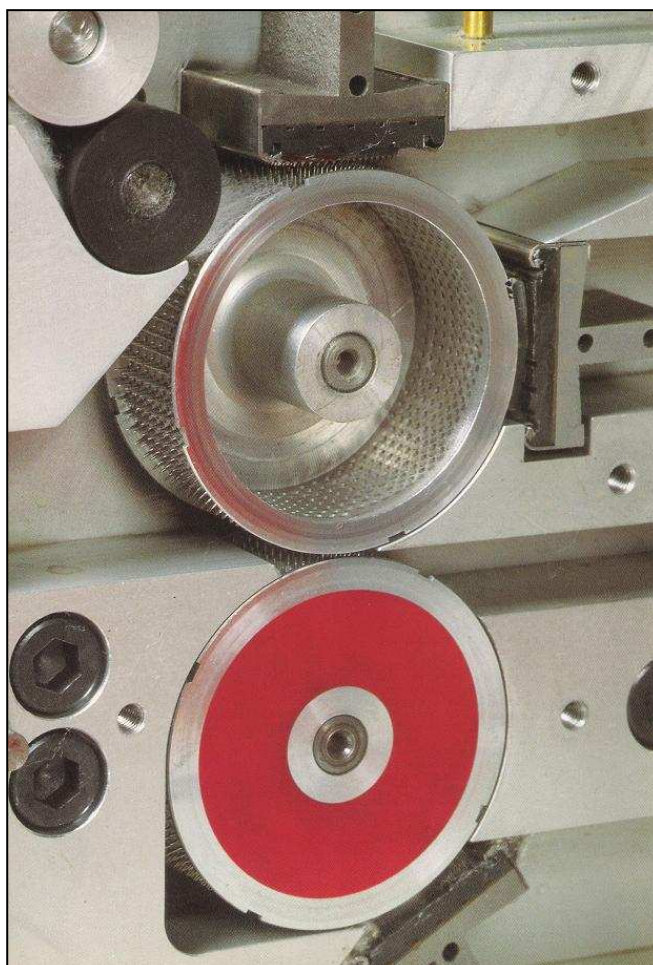


Figura 42. Detalle de los cilindros disgregadores del equipo AFIS. Fuente: Catálogo AFIS. Zellweger Uster.

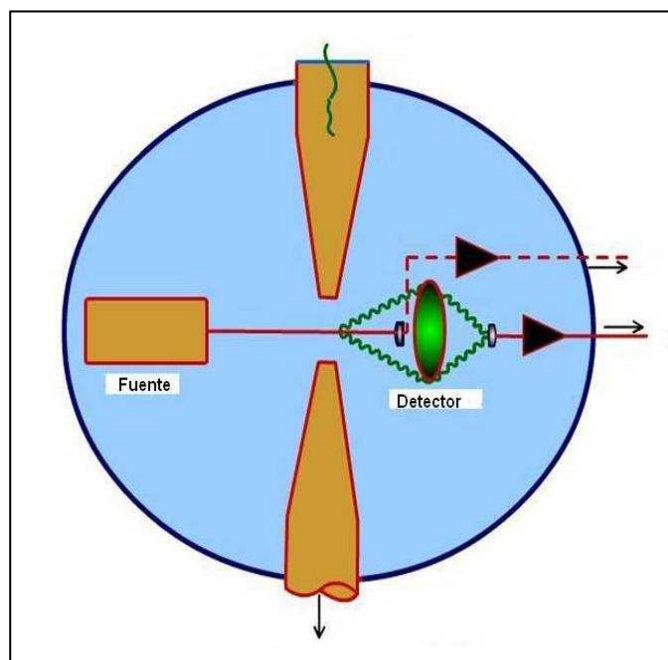


Figura 43. Sensor fotoeléctrico del equipo AFIS.
Fuente: Adaptado de <http://nptel.ac.in/courses/116102029/18>

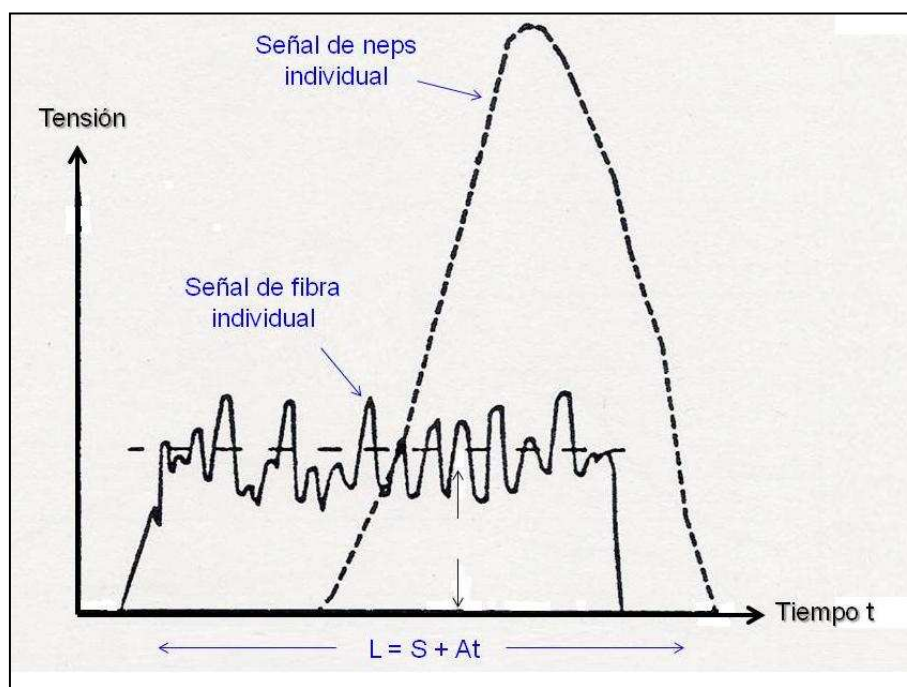


Figura 44. Señal eléctrica producida por una fibra y un nep

Gracias a este mecanismo el equipo es capaz de determinar individualmente la longitud y finura de alrededor de 10.000 fibras en 5 minutos aproximadamente.

Toda esta información es tratada por un ordenador que realiza los correspondientes cálculos, suministrando finalmente:

- Diagrama e histograma de frecuencias de longitudes por número de fibras
- Diagrama e histograma de frecuencia de longitudes por peso
- Finura
- Cantidad de impurezas (agrupada por tamaño)
- Cantidad de micropolvo (agrupada por tamaño)

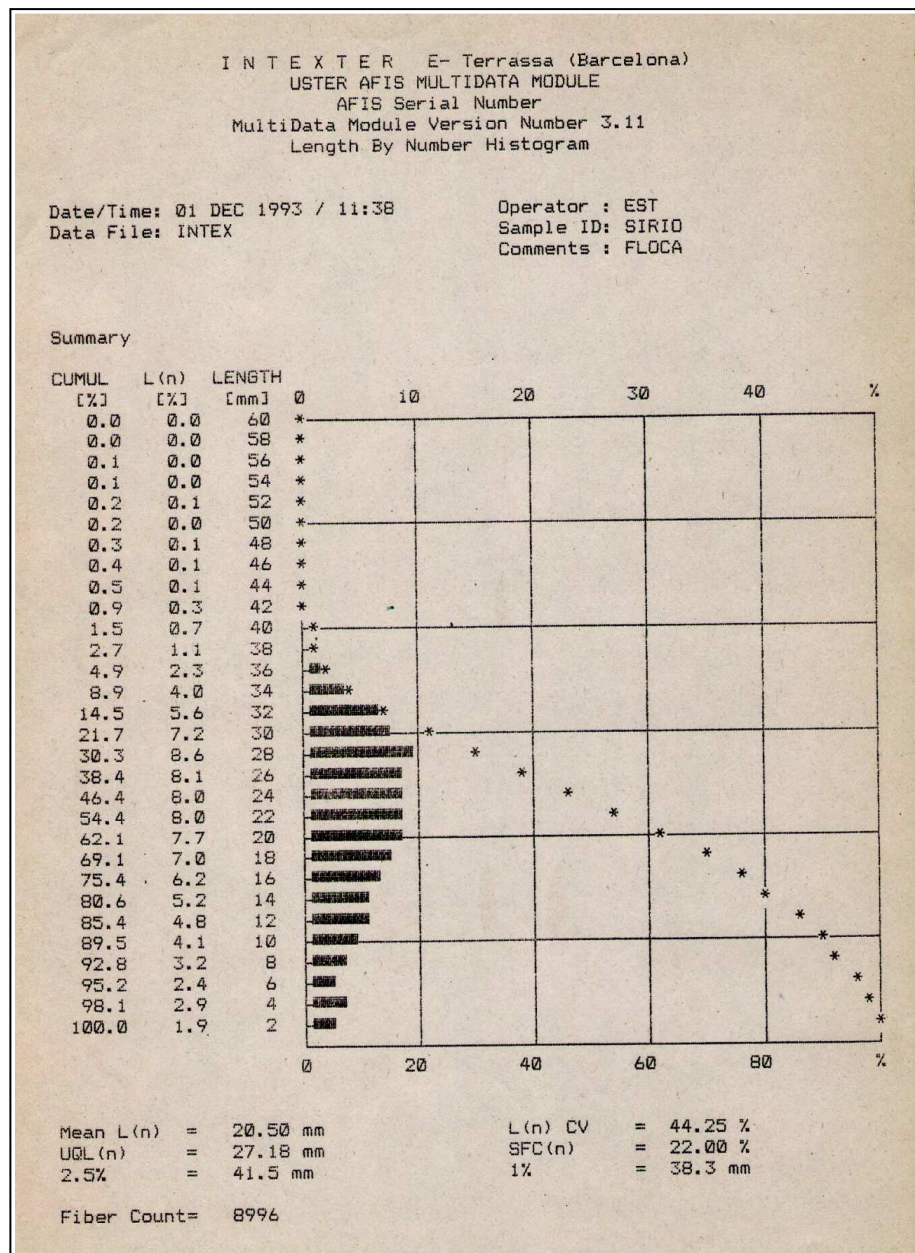


Figura 45. Diagrama e histograma de frecuencias de longitud de fibra de una probeta de algodón, calculada por el método de número de fibras.

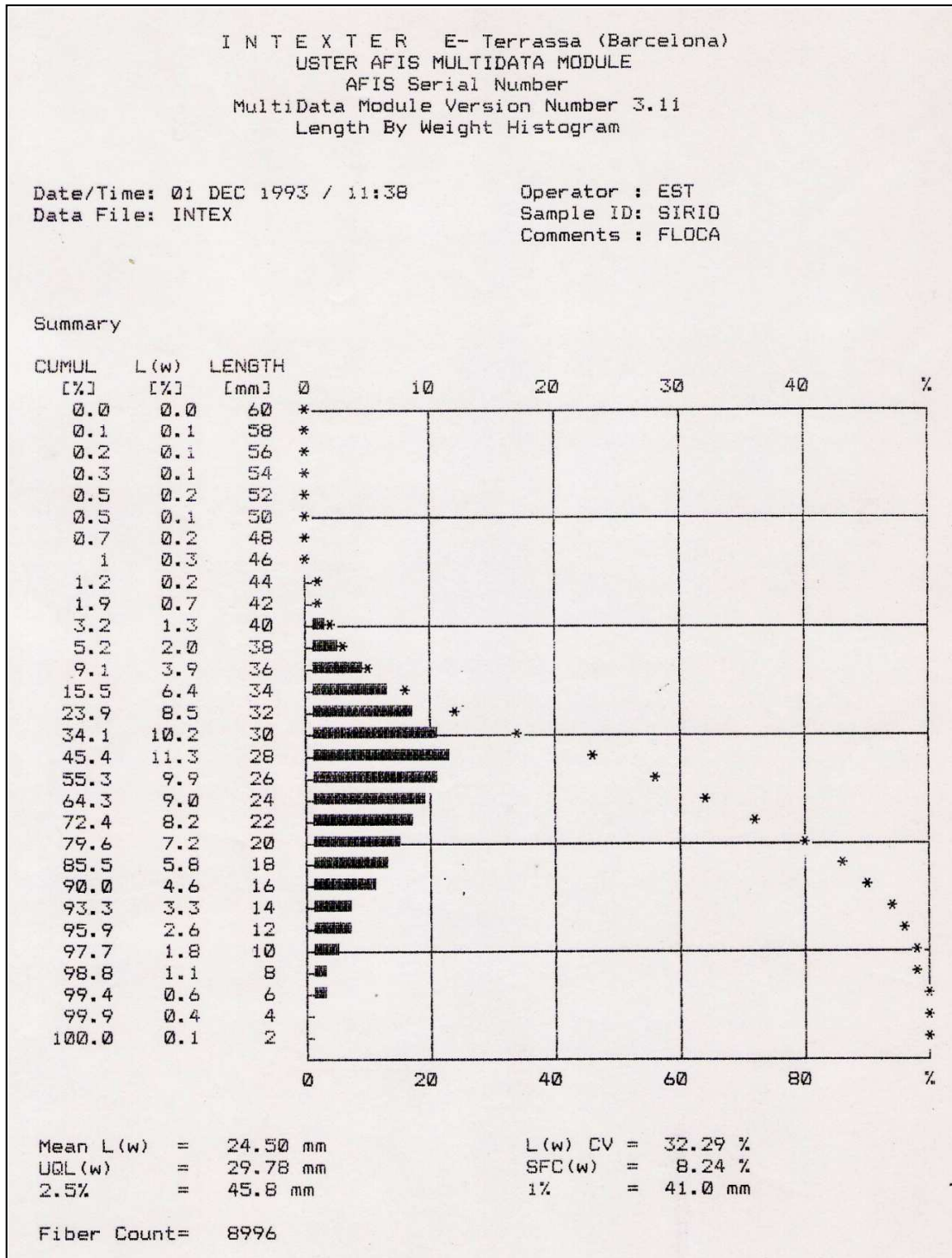


Figura 46. Diagrama e histograma de frecuencias de longitud de fibra de una probeta de algodón, calculada por el método de por peso de fibras.

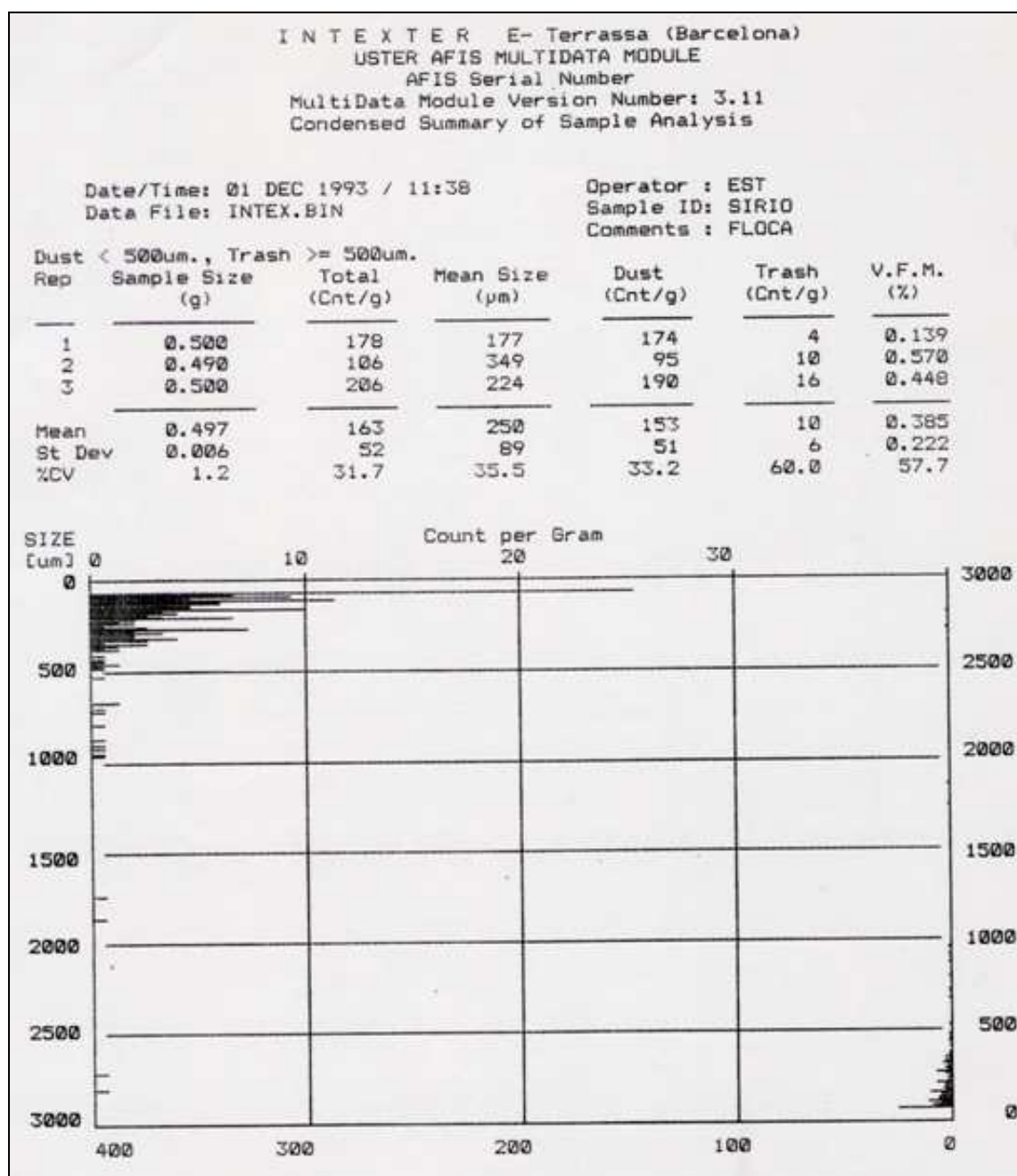


Figura 47. Informe sobre el contenido de Neps por gramo (Cnt/g), medida del tamaño de los Neps (μm), impurezas de la fibra (Dust $< 500\ \mu\text{m}$ y Trash $\geq 500\ \mu\text{m}$) de una probeta de algodón determinada mediante el equipo AFIS.

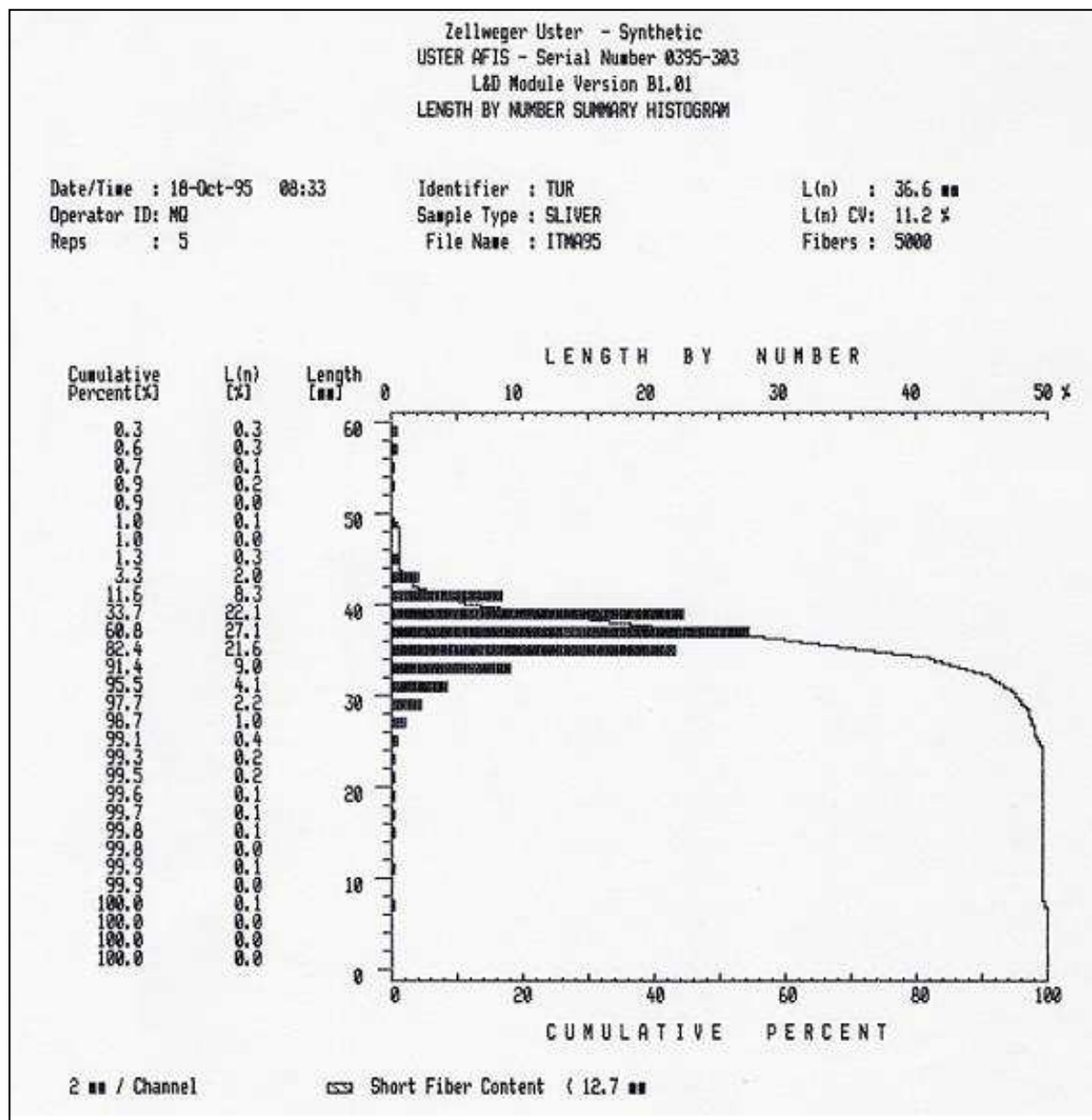


Figura 48. Diagrama e histograma de frecuencias de longitud de fibra de una probeta de fibra de Poliéster, calculada por el método de por número de fibras.

| Zellweger Uster - Synthetic USTER AFIS - Serial Number 0395-303 L&D Module Version B1.01 Summary of Sample Analysis | | | | | | | | |
|--|-------------------|--------------|----------------|----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| Date/Time | : 18-Oct-95 08:33 | | | | Identifier | : TUR | | |
| File Name | : ITMA95 | | | | Sample Type | : SLIVER | | |
| Operator ID | : MQ | | | | Fibers | : 5000 | | |
| Density | : 1.360 | | | | Shape Factor | : 1.00 | | |
| Rep | L(n) [mm] | L(n) % CV | M-L(n) [mm] | M-L(n) % CV | %Short <12.7 | 2.5% [mm] | D(n) [um] | Fine [Dtex] |
| 1 | 36.3 | 10.7 | 36.6 | 7.8 | 0.4 | 42.2 | 13.0 | 1.81 |
| 2 | 36.6 | 10.9 | 36.8 | 7.6 | 0.0 | 42.6 | 13.0 | 1.81 |
| 3 | 36.7 | 10.5 | 36.9 | 7.7 | 0.4 | 42.0 | 13.0 | 1.83 |
| 4 | 36.4 | 11.8 | 36.4 | 8.1 | 0.2 | 42.8 | 13.0 | 1.84 |
| 5 | 36.9 | 11.9 | 36.6 | 9.0 | 0.0 | 45.1 | 13.0 | 1.79 |
| Mean | 36.6 | 11.2 | 36.7 | 8.0 | 0.2 | 42.9 | 13.0 | 1.82 |
| S.D. | 0.2 | 0.6 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 1.2 | 0.0 | 0.02 |
| % CV | 0.7 | 5.8 | 0.6 | 6.8 | 100.0 | 2.9 | 0.0 | 1.1 |

Figura 49. Resultados numéricos del ensayo de longitud de fibras realizado con el equipo AFIS de una cinta de fibras de Poliéster.

L (n) [mm]: longitud media en mm por numero de fibras, L(n) %CV: Coeficiente de variación de la longitud de fibras (por número). M-L (n) [mm]: Longitud efectiva en mm por número de fibras, M-L (n) %CV: Coeficiente de variación de la Longitud efectiva por número de fibras, %Short (12,7): longitud de fibra corta inferior a 12,7 mm, D (n) [µm]: Diámetros de la fibra en micras, Fine [Dtex]: Finura de la fibra en decitex.

1.5.1.1.5 Longímetros de lecho de peines

Dado que el método manual de medición individual de fibras es muy lento y difícil de aplicar, se han desarrollado sistemas más rápidos basados en principios mecánicos que pesan o miden la masa de fibras de cada intervalo de clase de longitud. Estos métodos de análisis no cuentan las fibras de cada longitud sino que pesan la masa de fibras que hay en cada intervalo de clase, obteniéndose por lo tanto un diagrama, en el cual cada fibra ocupa un espacio diferente, que está en función de su propio grosor o masa.

A este tipo de diagrama, en el cual la longitud de la fibra queda representada por las ordenadas y la masa de fibras por las abscisas, se le denomina Diagrama de Altura o Diagrama por Peso, y resulta ligeramente superior o inferior (en un 5% aproximadamente) al diagrama natural (únicamente en las fibras naturales) como consecuencia de que las fibras más largas tienen una finura distinta a las más cortas y por lo tanto ocupan un espacio proporcional a su propio grosor.

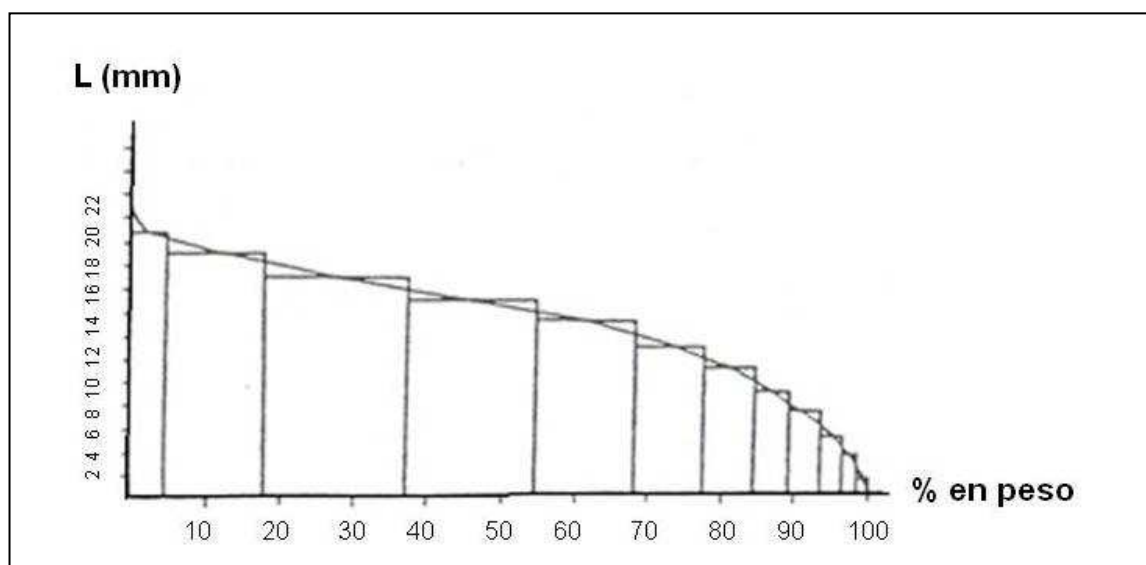


Figura 50. Diagrama por peso

El longímetro de lecho de peines está formado por un armazón y un conjunto de peines paralelos entre sí, cuya separación entre sí es de 5 mm para los equipos algodoneros y 10 mm para los equipos laneros. Un peine de madera o de material ligero para introducir las fibras entre las púas de los peines, un punzón y unas pinzas.

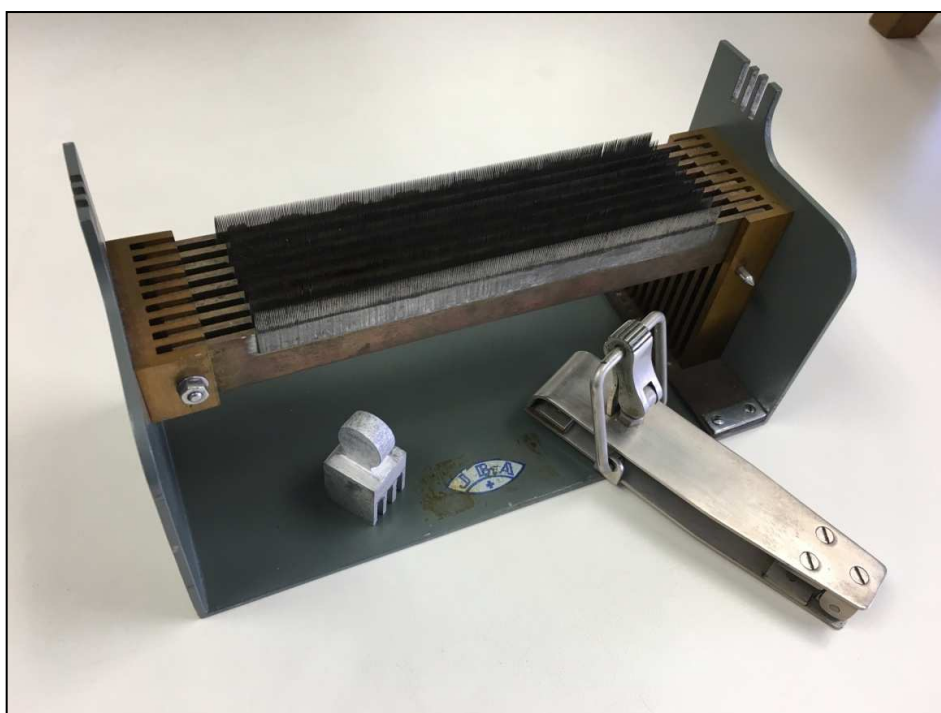


Figura 51. Longímetro de peines BAER tipo algodonero. Laboratorio de Física Textil. Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica (Sección de Ingeniería Textil) UPC.

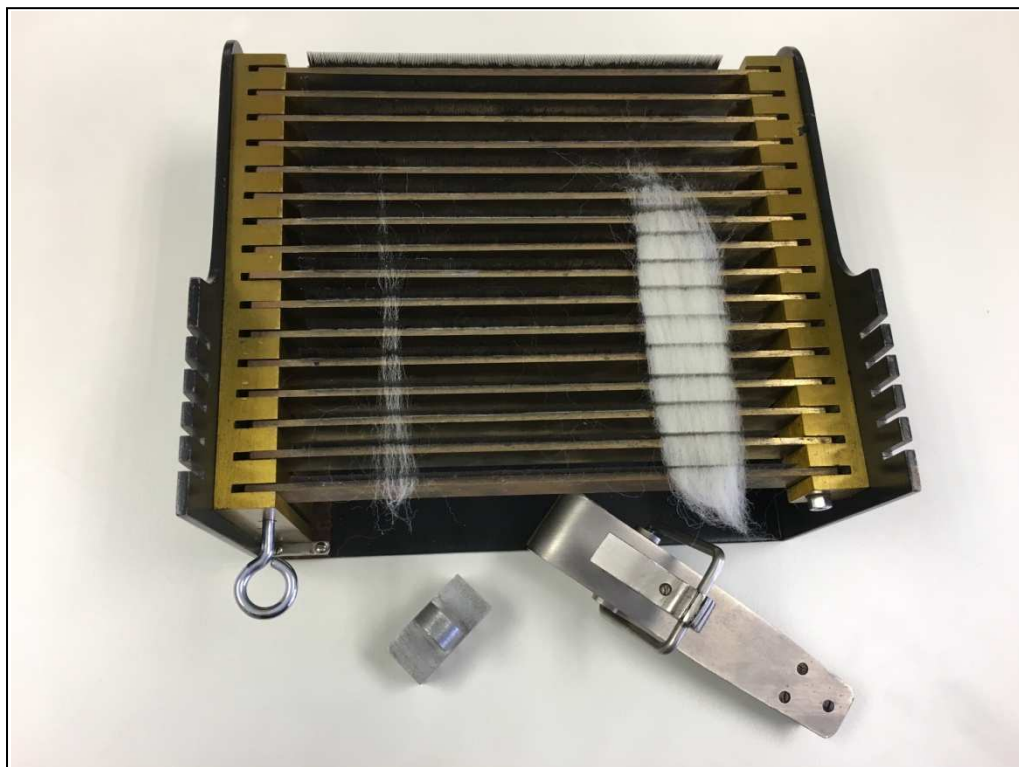


Figura 52. Longímetro de peines BAER tipo lanero. Laboratorio de Física Textil. Departamento de Ciencia de los Materiales e Ingeniería Metalúrgica (Sección de Ingeniería Textil) UPC.

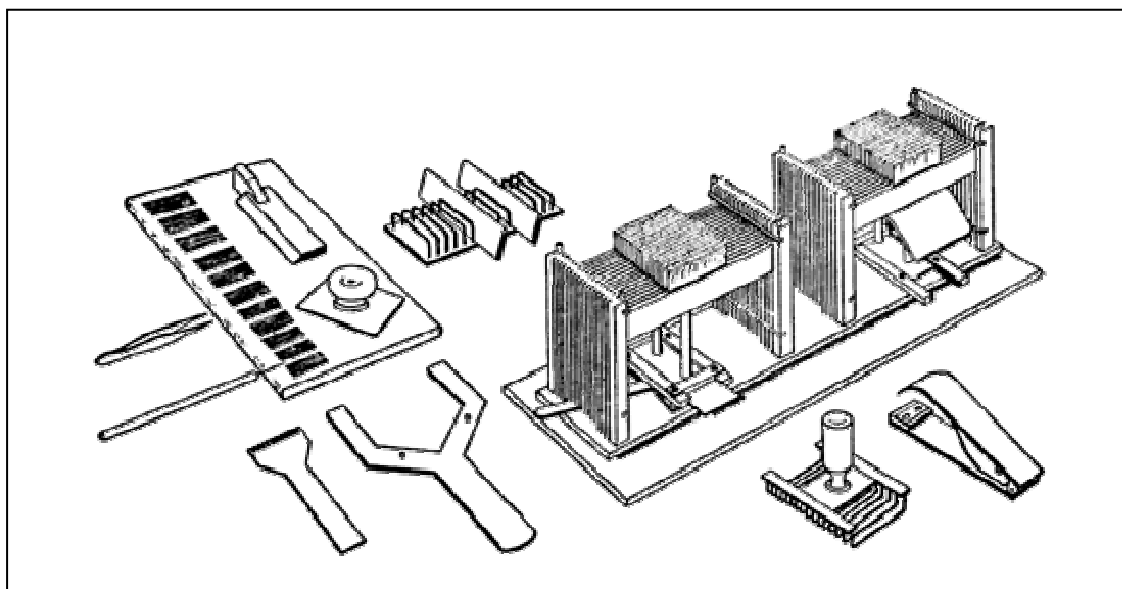


Figura 53. Sueter-Webb duplex, longímetro de peines variante del BAER.
Fuente: http://www.uspbpep.com/usp31/v31261/usp31nf26s1_c691.asp#usp31nf26s1_ic06911

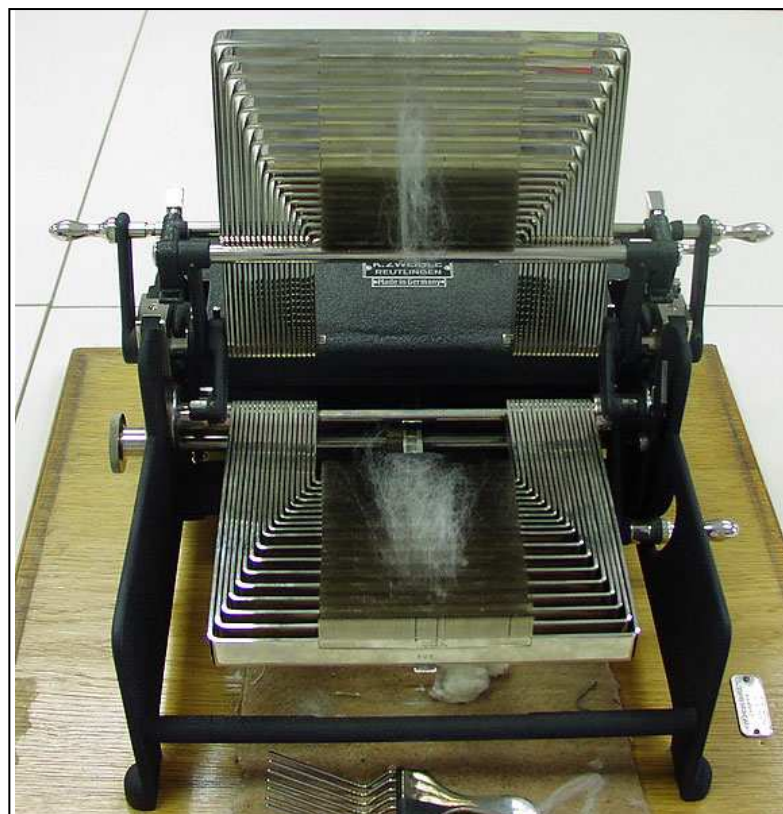


Figura 54. Longímetro algodónero de lecho de peines.

Fuente: <https://www.tff.unizg.hr/index.php?str=52&labos=24&lang=en&print=1>

Los equipos de lechos de peines se denominan Baer, Suter-Web o Zweigle Reutlingen, la diferencia entre ellos es pequeños detalles.

Las operaciones para obtener el diagrama son las siguientes:

- Se cogen de 50 a 100 gramos de fibras cuyo diagrama se quiera hacer.
- Se paralelizan las fibras a mano. Las fibras deben estar humedecidas (con el aliento o por acondicionamiento).
- Se colocan las fibras entre las púas de los peines de la parte izquierda del aparato (posición A de la figura 55), introduciéndose bien con el peine de madera. Si no se disponen de dos aparatos de peines, el haz de fibras se introducirá entre las púas de los peines del único aparato de que dispongamos.
- Abatiendo los peines del aparato 1 (posición A de la figura 20), se van cogiendo las fibras con pinzas. Estas fibras se pasan al aparato 2 (posición B de la figura 55), peinándolas primero para eliminar las fibras que no están retenidas por las pinzas. Aquí es precisamente donde hay que tener el máximo cuidado para que el principio de las fibras coincida de una manera lo más exacta posible con el 0 (primer peine) del lecho, es decir, que sobresalga un mínimo de este peine por la parte delantera. Entonces se procede a introducir las fibras colocadas, en las

profundidades de los peines metálicos por medio del peine de madera, ello se hace cada vez que se colocan las fibras en las pinzas. Agotadas las fibras de la zona A, tendremos una disposición tal como se indica en en la zona B que nos permitirá la realización del diagrama.

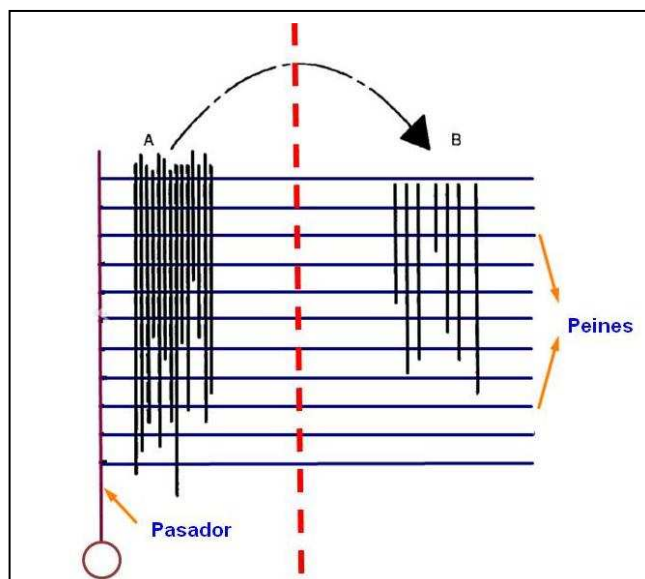


Figura 55. Esquema de un longímetro de peines

- A continuación se procederá al abatimiento progresivo de los peines del aparato tirando del pasador situado en uno de los lados. Abatimos los peines de longitudes de 40 mm (en los longímetros algodoneros) y pinzamos las fibras que asoman y así sucesivamente en 35, 30 mm hasta llegar al peine 0. Después de cada extracción correspondiente a una determinada longitud se colocan sobre un terciopelo negro, si se quiere realizar un diagrama natural, o bien se pesarán si se quiere obtener un diagrama por peso de fibras.
- Para trazar el diagrama, en la primera columna colocaremos las longitudes, al lado y en otra columna, los pesos de cada intervalo de clase de longitud, en la tercera columna pondremos los pesos de la columna anterior expresados en % sobre el peso total de las fibras analizadas. Finalmente en la última columna pondremos los pesos en % acumulado de la manera siguiente:

| Longitud mm | Peso en mg | Peso en % | Peso en % acumulado |
|-------------|------------|-----------|---------------------|
| 35 | 0,60 | 0,65 | 0,65 |
| 30 | 11,80 | 12,77 | 13,42 |
| 25 | 28,00 | 30,30 | 43,72 |
| 20 | 16,60 | 17,97 | 61,69 |
| 15 | 15,00 | 16,23 | 77,92 |
| 10 | 10,20 | 11,04 | 88,96 |
| 5 | 10,20 | 11,04 | 100,00 |
| TOTAL | 92,40 | 100 | |

Tabla 5. Cálculos del diagrama por peso

Para el trazado del diagrama actuaremos de la siguiente forma:

- Trabajaremos con las columnas L (longitud en mm) y P en % acumulado.
- En un papel milimetrado pondremos en abcisas (eje del % acumulado) marcaremos las divisiones de 0 a 100 de 10 en 10. En ordenadas (eje de longitud en mm) marcaremos las divisiones de 0 a 50 mm con separaciones de 10 en 10 mm.
- En los anteriores ejes, y según los valores tabulados que tenemos en nuestro ejemplo, marcaremos los puntos correspondientes a la abcisa 100 y ordenada 5; 88,96 y 10; 77,82 y 15; 61,69 y 20; 43,72 y 25; 13,42 y 30 y finalmente 35 y 0,65.
- Uniendo todos los puntos obtendremos el diagrama por peso de fibras tal como se muestra en la figura 56.

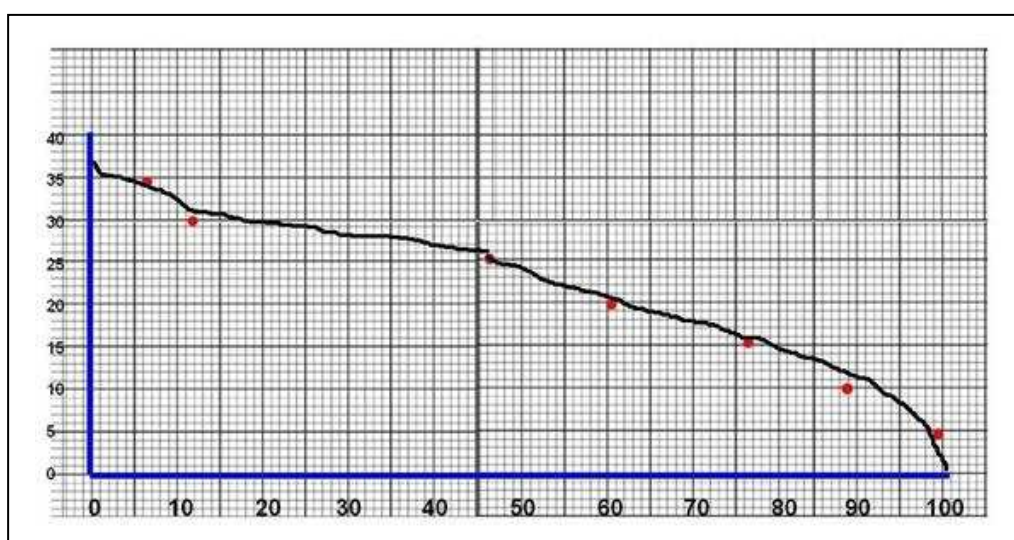


Figura 56. Trazado del Diagrama por peso

1.5.1.1 5.1 Longímetros algodoneros

1.5.1.1.5.1.1 Método matemático para el cálculo de la longitud media del Diagrama por peso.

El diagrama de fibras y los ejes de coordenadas delimitan un área de valor S . Tomando un rectángulo de igual base (100) y altura tal que su área = S : la altura del rectángulo es la longitud media del diagrama de fibras.

Vemos los cálculos:

Cálculo de la longitud media \bar{l}_p por peso de fibras:

| Longitud mm | P % | P% · L |
|-------------|-------|----------|
| 35 | 0,65 | 22,75 |
| 30 | 12,77 | 382,10 |
| 25 | 30,30 | 757,50 |
| 20 | 17,97 | 359,40 |
| 15 | 16,23 | 243,50 |
| 10 | 11,04 | 110,40 |
| 5 | 11,04 | 55,20 |
| Σ | 100 | 1.930,80 |

Tabla 6. Cálculo de la longitud media por peso de fibras

$$\bar{l}_p = \frac{\sum P\% \cdot L}{\sum P\%} = \frac{1930,80}{100} = 19,308 \text{ mm}$$

Coefficiente de variación por peso de fibras CV%:

| Longitud mm | L ² | P % | P% · L ² |
|-------------|----------------|-------|---------------------|
| 35 | 1.225 | 0,65 | 796,25 |
| 30 | 900 | 12,77 | 11.493,00 |
| 25 | 625 | 30,30 | 18.937,50 |
| 20 | 400 | 17,97 | 7.188,00 |
| 15 | 225 | 16,23 | 3.651,70 |
| 10 | 100 | 11,04 | 1.194,00 |
| 5 | 25 | 11,04 | 276,00 |
| Σ | | 100 | 43.446,50 |

Tabla 7. Cálculo del CV% de lo longitud de fibra por peso de fibras

$$\sigma_p = \sqrt{\frac{\sum P \cdot L^2}{\sum P} - \left(\frac{\sum P \cdot L}{\sum P}\right)^2} = \frac{43.446,50}{100} - 19,308^2 = 7,82$$

$$CV\% = \frac{100 \cdot \sigma_p}{\bar{l}_p} = \frac{100 \cdot 7,82}{19,308} = 40,48$$

| CV % | Clasificación |
|---------|-----------------------|
| <26 | Variabilidad muy baja |
| 26 - 29 | Variabilidad baja |
| 30 - 33 | Variabilidad media |
| 34 - 37 | Variabilidad alta |
| >37 | Variabilidad muy alta |

Tabla 8. Clasificación del CV% de la longitud de fibra

1.5.1.1.5.1.2 Cálculo de longitud media por peso de fibras por el método gráfico

Se buscan el punto del valor del 16% en el eje de abscisas y se proyecta hacia arriba hasta interceptar la curva del Diagrama. Una vez alcanzado este punto se proyecta hasta el eje de ordenadas obteniendo el punto A. lo mismo se hace con el valor del 84% en el eje de abscisas cuya proyección en el eje de ordenadas es el punto B. Se busca el punto medio entre A y B y la distancia desde este punto medio hasta la base del eje de abscisas (que también es el nivel 0 del eje de ordenadas) es la longitud media.

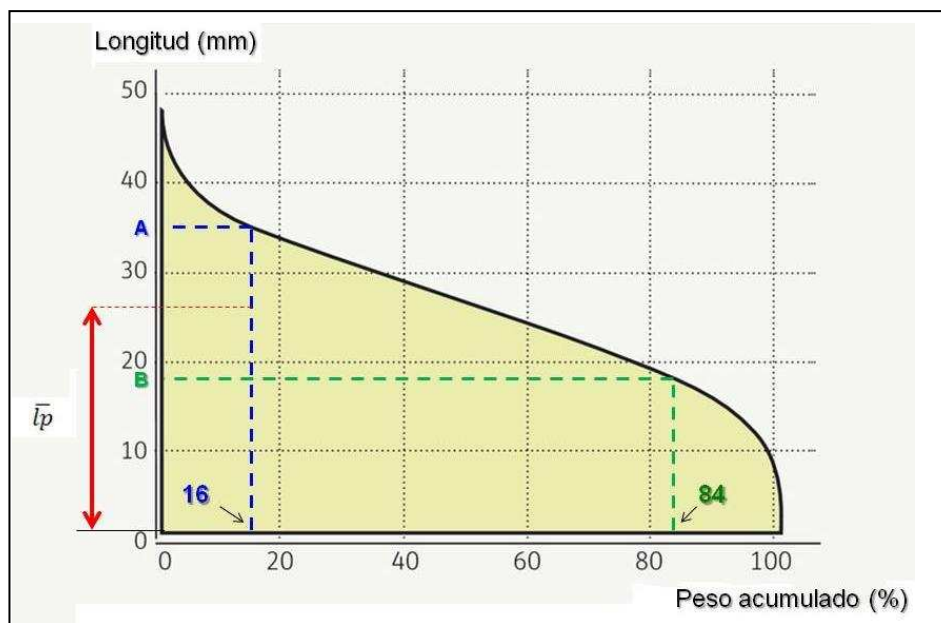


Figura 57. Longitud media de un Diagrama por peso por el método gráfico

1.5.1.1.5.1.3 Longitud efectiva o comercial

En la fibra de algodón es la longitud que se utiliza en las transacciones comerciales y en el ajuste de las máquinas del proceso de hilatura. Se corresponde con la longitud obtenida mediante el antiguo método manual “pulling” utilizado para clasificación comercial de la longitud del algodón.

1.5.1.1.5.1.3.1 Longitud efectiva obtenida mediante el Trazado de Clegg

En el Diagrama se busca el punto medio entre O y A, obteniendo el punto B. Dicho punto se proyecta sobre el Diagrama interceptándolo en el punto C el cual se proyecta hacia el eje de abscisas obteniendo el punto D. Dividimos la distancia OD por 4 y este valor se aplica a partir del punto O del eje de abscisas obteniendo el punto E. Dicho punto se proyecta hacia arriba hasta interceptar el Diagrama por el punto F. Se determina el punto medio entre E y F obteniendo el punto G, el cual se proyecta de nuevo hacia el diagrama hasta interceptarlo por el punto H, el cual se proyecta de nueva hacia abajo obteniendo el punto I del eje

de abscisas. Dividimos la distancia OI por cuatro y el valor se aplica sobre el punto O, obteniendo la distancia OJ. El punto J se proyecta hacia arriba hasta interceptar la curva por el punto K. La distancia JK es el valor de la longitud media en mm calculada mediante el Trazado de Clegg (figura 23).

$$\overline{OB} = \frac{\overline{OA}}{2}$$

$$\overline{OE} = \frac{\overline{OD}}{4}$$

$$\overline{EG} = \frac{\overline{EF}}{2}$$

$$\overline{OJ} = \frac{\overline{OI}}{4}$$

\overline{JK} = Longitud media por el Trazado de Clegg

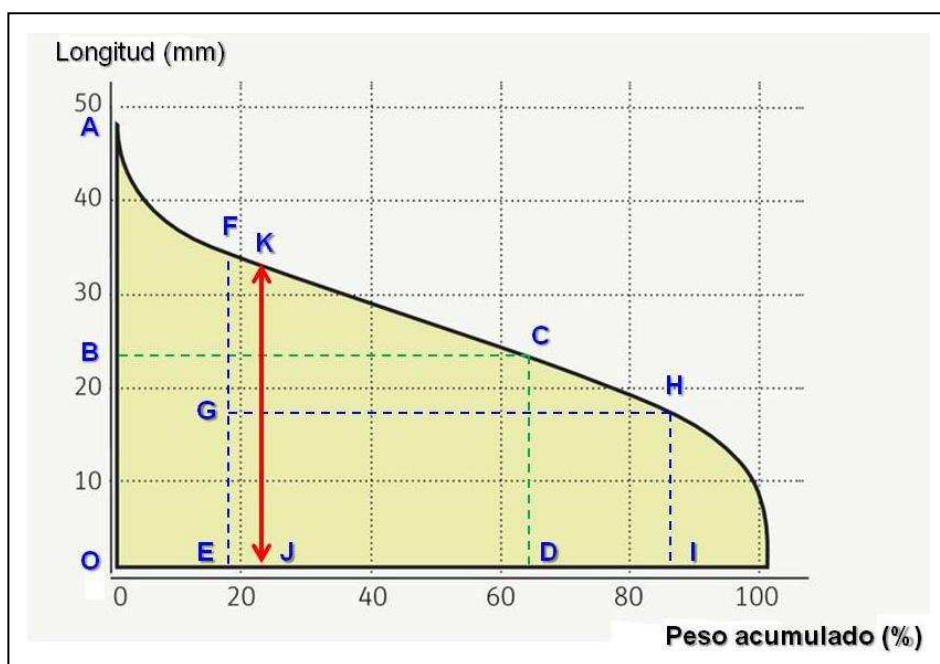


Figura 58. Longitud media de un diagrama por peso por el Trazado de Clegg

1.5.1.1.5.1.3.2 Longitud efectiva obtenida mediante el Trazado de Roërich

Longitud media calculada por el Trazado de Roërich: Se busca el punto del 5 % en peso acumulado del eje de abscisas y se proyecta hacia arriba hasta interceptar el Diagrama por el punto A. Dividimos la distancia 5A por dos obteniendo el punto medio B, el cual se proyecta hacia la derecha hasta interceptar el diagrama por el punto B'. En este punto se proyecta hacia abajo

interceptando el eje de abscisas por el punto C. Se divide la distancia 5C por tres. Esta distancia se cuenta desde el punto 5 hacia la derecha obteniendo el punto D, el cual se proyecta hacia arriba interceptando el diagrama por el punto F. La distancia DF en mm constituye la longitud media del diagrama por peso obtenida mediante el trazado de Roërich (figura 24).

$$\overline{5B} = \frac{\overline{5A}}{2}$$

$$\overline{5D} = \frac{\overline{5C}}{3}$$

\overline{DF} = Longitud media por el Trazado de Roërich

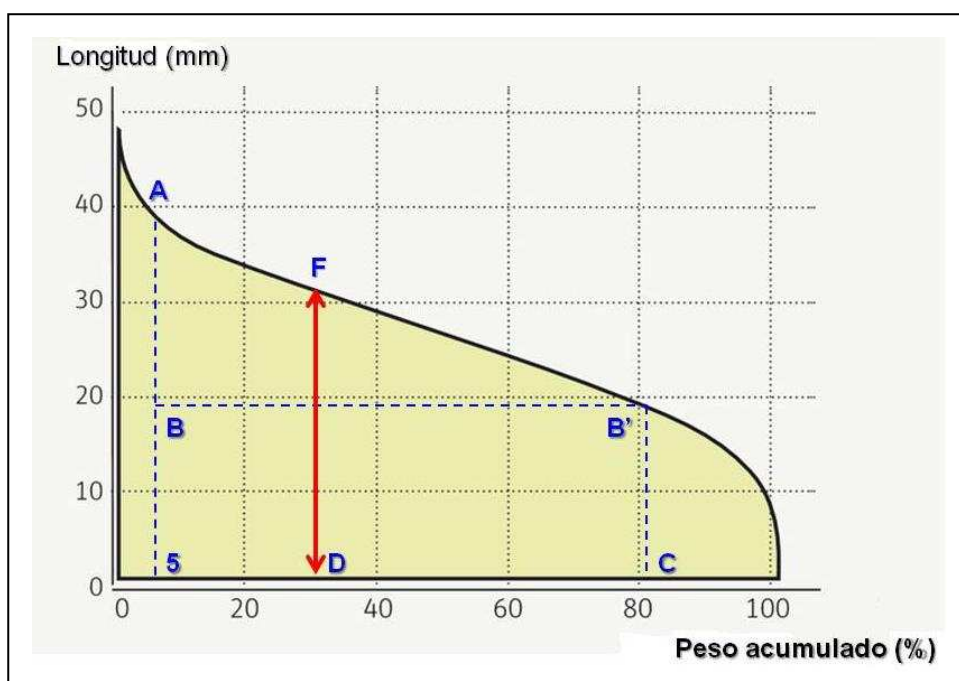


Figura 59. Longitud media de una Diagrama por peso por el Trazado de Roërich

1.5.1.1.5.1.3.3 Longitud del cuartil superior (Upper Quartile Length, UQL)

Es aquella longitud del diagrama por peso en la cual el 75% de todas fibras tienen una longitud inferior a ella y es superada por el 25 % (figura 60).

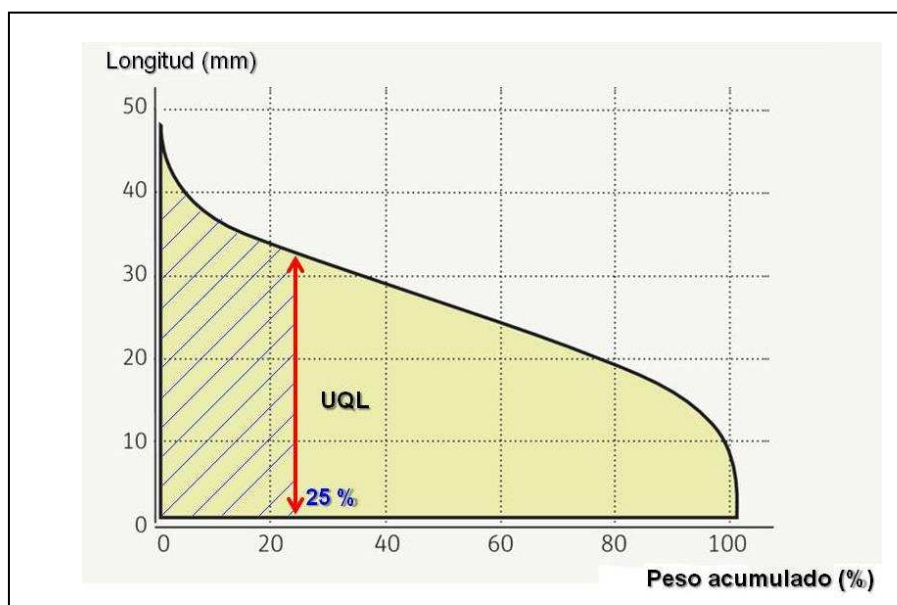


Figura 60. Upper Quartile Length (UQL)

1.5.1.1.5.1.3.4 Porcentaje de fibra corta (SFC%)

Porcentaje de fibras de una longitud inferior a un valor determinado. En el caso del algodón, se considera fibra corta aquella que es inferior a la mitad de una pulgada (12,7 mm) (figuras 61 y 62). Se busca en el eje ordenadas el punto de la longitud de 12,7 mm que se proyecta hacia la derecha hasta interceptar la curva del diagrama. Este punto se proyecta hacia abajo hasta interceptar el eje de abscisas. La distancia desde este punto de intersección y el valor 100 es el porcentaje de fibras cortas 8inferiores a 12,7 mm).

En el caso de las fibras químicas de corte rectangular la fibra corta es aquella que es inferior a la mitad de la longitud nominal. Por ejemplo uan fibra de poliéster de 40 mm la fibra corta es la inferior a 20 mm.

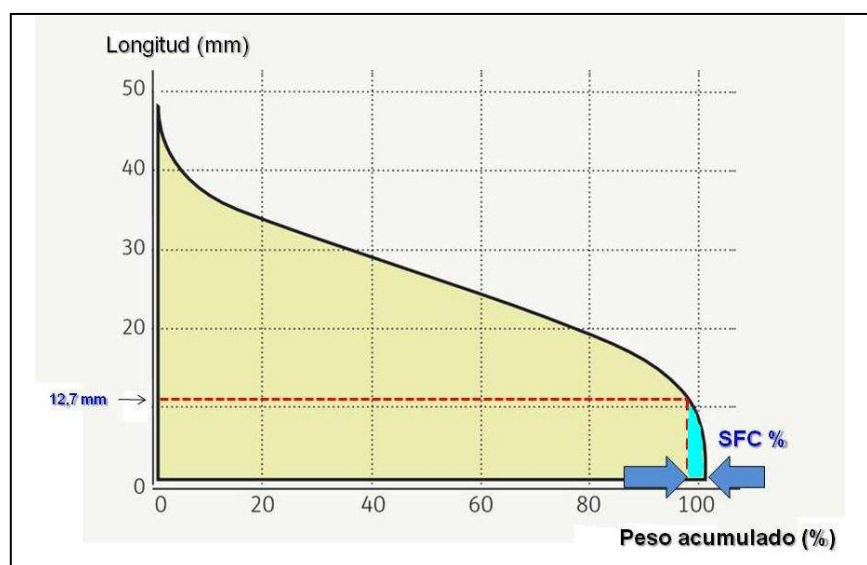


Figura 61. Porcentaje de fibra corta (SFC%) de un diagrama por peso de algodón

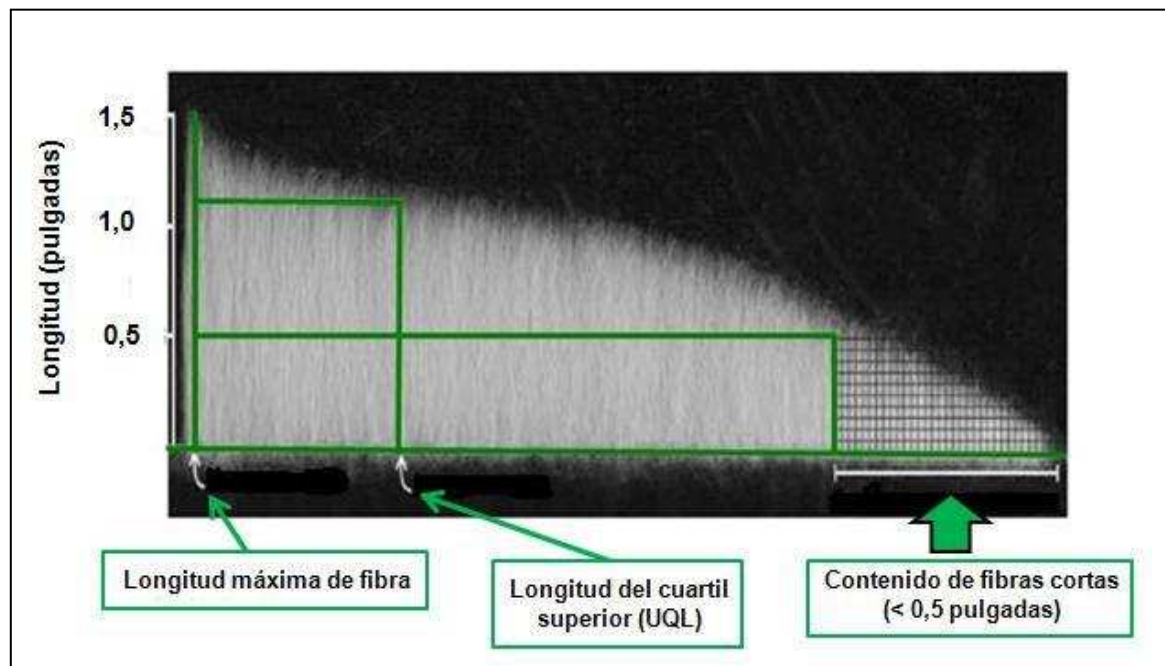


Figura 62. Longitud máxima, longitud del cuartil superior (UQL) y contenido (en %) de fibras cortas (SFC) de un diagrama de algodón

1.5.1.1.5.2 Longímetros laneros

Son iguales que los algodoneros pero la distancia entre peines es de 10 mm. Se utiliza para la medición de la longitud de fibras de lana, pelos y fibras químicas de corte lanero.

Dadas las características de las fibras de lana y pelos (gran dispersión de diámetro de la fibra y de su longitud), los parámetros que definen las características de la longitud de estas fibras son distintos a las del algodón.

1.5.1.1.5.2.1 Longitud real de una fibra

Es la longitud de la fibra colocada totalmente enderezada, una vez eliminada cualquier ondulación de su rizado natural.

1.5.1.1.5.2.2 Longitud aparente o natural de una fibra

Es la longitud ocupada por una fibra con su ondulación o rizado natural. Su valor es inferior al de la longitud real.

Este valor de longitud no es constante para una fibra determinada sino que puede variar a través de las diversas operaciones industriales o simplemente por un cambio en su estado higroscópico.

A pesar de la escasa consistencia que tiene este valor para una fibra de lana, hay que tener presente que el diagrama natural se obtiene basándose en esta longitud aparente así como los parámetros de longitud media, Barba y Altura, como veremos a continuación.

1.5.1.1.5.2.3 Longitud media

Es la media aritmética de las longitudes aparentes de todas las fibras del diagrama.

$$Lm = \frac{\sum l}{n}$$

1.5.1.1.5.2.4 Altura

Es la longitud media de las fibras, deducida de las proporciones, en grosor o en título de cada una de ellas

$$H = \frac{\sum(l \cdot s)}{(s)}$$

1.5.1.1.5.2.5 Barba

Es la longitud media de las fibras, deducida de las proporciones en peso de dichas fibras.

$$B = \frac{\sum(l \cdot p)}{(p)}$$

1.5.1.1.5.2.6 Interpretación gráfica de los parámetros de longitud

Ejemplo de tres fibras (1, 2, 3) de las cuales consideraremos las siguientes magnitudes

| | Fibra 1 | Fibra 2 | Fibra 3 |
|----------|---------|---------|---------|
| Longitud | l_1 | l_2 | l_3 |
| Sección | s_1 | s_2 | s_3 |
| Peso | p_1 | p_2 | p_3 |
| Volumen | v_1 | v_2 | v_3 |

Tabla 9.

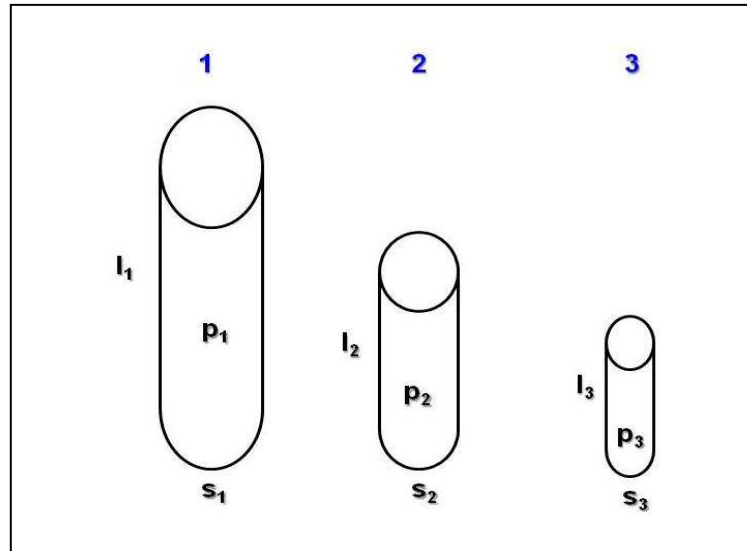


Figura 63.

Partint de les definicions descrites, deduirem els paràmetres de longitud, recordant que:

$$\text{Volúmen} = \text{àrea de la base } (s) \cdot \text{Altura } (l) \quad V = s \cdot l$$

$$\text{Peso} = \text{Volúmen } (v) \cdot \text{densitat } (\rho) \quad P = v \cdot \rho$$

Y que la suma de seccions i volúmenes:

$$s_1 + s_2 + s_3 = \sum (s) = S$$

$$v_1 + v_2 + v_3 = \sum (v) = V$$

$$(s_1 \cdot l_1) + (s_2 \cdot l_2) + (s_3 \cdot l_3) = \sum (s \cdot l) = V$$

$$V = S \cdot A$$

$$A = \frac{V}{S} = \frac{\sum (s \cdot l)}{\sum (s)}$$

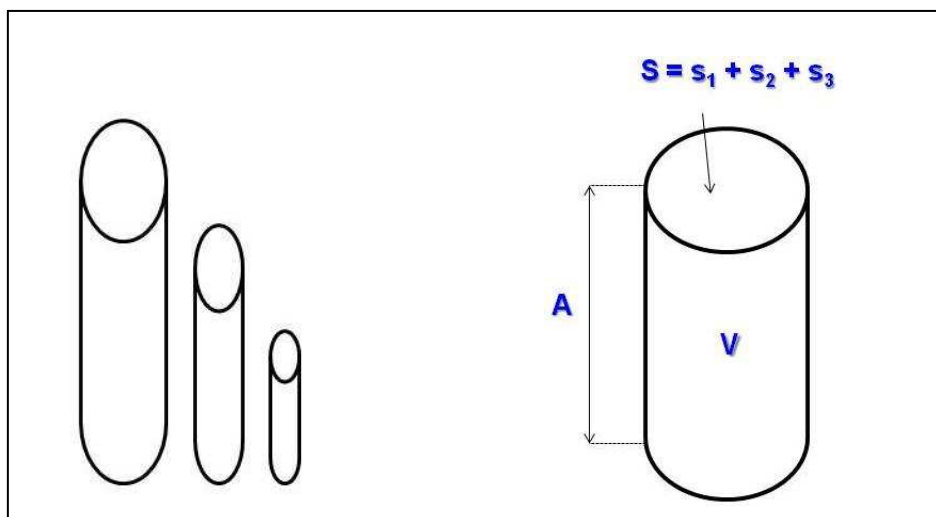


Figura 64

1.5.1.1.5.2.7 Cálculos

Se incluye a continuación un ejemplo de cómo se realizan los cálculos para obtener la Barba, la altura y sus coeficientes de variación.

| Peine | Intervalo de longitud | media | l^2 | p | $p \cdot l$ | p/l | $p \cdot l^2$ |
|-------|-----------------------|-------|-------|------------|--------------------|--------------|----------------------|
| 7 | 60-70 | 65 | 4.225 | p_7 | $p_7 \cdot l$ | | |
| 6 | 50-60 | 55 | 3.025 | p_6 | $p_6 \cdot l$ | | |
| 5 | 40-50 | 45 | 2.025 | p_5 | $p_5 \cdot l$ | | |
| 4 | 30-40 | 35 | 1.225 | p_4 | $p_4 \cdot l$ | | |
| 3 | 20-30 | 25 | 625 | p_3 | $p_3 \cdot l$ | | |
| 2 | 10-20 | 15 | 225 | p_2 | $p_2 \cdot l$ | | |
| 1 | 0-10 | 5 | 25 | p_1 | $p_1 \cdot l$ | | |
| | | | | Σp | $\Sigma p \cdot l$ | $\Sigma p/l$ | $\Sigma p \cdot l^2$ |

Tabla 10. Cálculo de la Barba (B) y Altura (H)

$$\text{Barba } B = \frac{\Sigma(p \cdot l)}{\Sigma(p)}$$

$$CV_B \% = \left(\sqrt{\frac{\Sigma(p \cdot l^2) \cdot 100}{\Sigma(p \cdot l^2)}} - 1 \right) \cdot 100$$

$$\text{Altura } H = \frac{\Sigma(p)}{\Sigma(p/l)} = \frac{\Sigma(s \cdot l)}{\Sigma(s)}$$

$$CV_H \% = \sqrt{\Sigma(p \cdot l) \cdot \Sigma(p/l) - 10.000}$$

1.5.1.1.6 Longímetros capacitivos

1.5.1.1.6.1 Longímetro WIRA

Se utiliza únicamente para cintas peinadas de lana, pelos y fibras químicas de corte lanero. Cuando las cintas tienen dos o más tipos de fibras con constantes dieléctricas diferentes, los resultados obtenidos no reflejan exactamente la verdadera distribución de longitud.

La metodología de análisis con este aparato está fijada por las normas IWTO 5-65 y UNE 40.208.

Consiste, básicamente, en preparar manualmente una probeta mediante unas pinzas de manera que el resultado final de la operación consiste en una probeta en la que todas las fibras estén dispuestas en una misma línea de origen y pinzadas (retenidas) por el origen mediante una cinta de plástico (Figura 65 y 66).



Figura 65. Probeta del ensayo WIRA

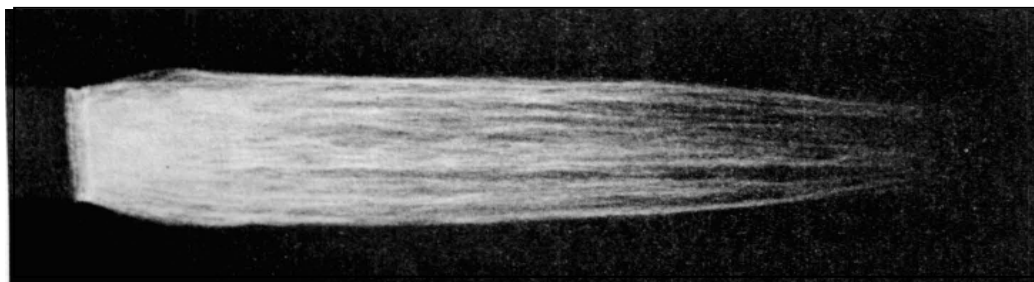


Figura 66. Probeta del ensayo WIRA, obsérvese que todas las fibras tienen un origen común.

La probeta avanza a través de un condensador plano (electrodo de medida de las figuras 67) que mide la variación de la capacidad en función de la masa de fibras que encuentra. La señal obtenida se traduce en una señal luminosa en un papel de registro. Uniendo las sucesivas posiciones de la señal luminosa obtendremos el diagrama.

La información es remitida a un ordenador que dibuja el perfil del Diagrama y realiza los cálculos de Barba, Altura y CV%.

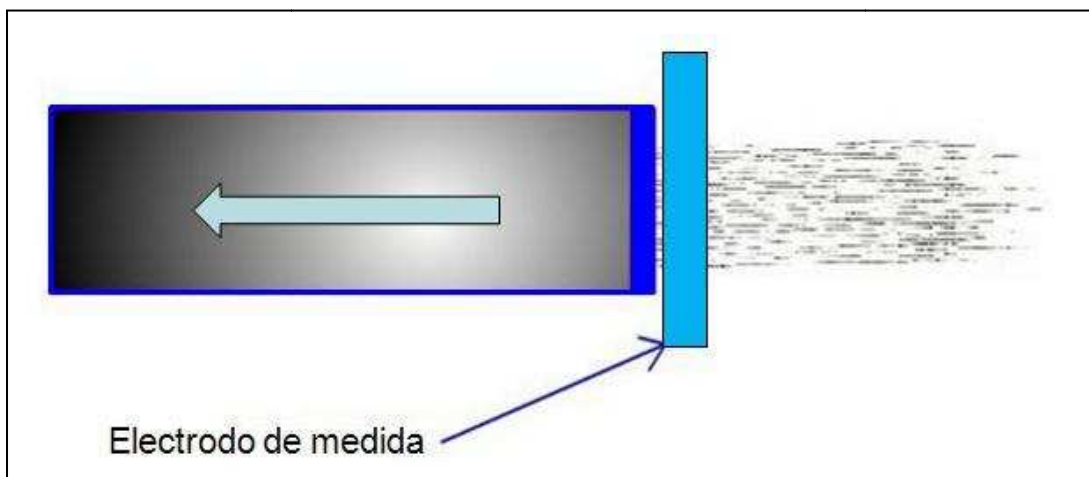


Figura 67. Inicio del ensayo del longímetro WIRA



Figura 68. Aspecto actual del longímetro WIRA.

Fuente: <http://www.hellotrade.com/wira-instrumentation/wira-fibre-diagram-machine.html>

1.5.1.1.6.2 Longímetro ALMETER

Bajo el mismo principio de medición capacitiva, el equipo Almeter está diseñado para determinar la longitud de cintas de lana o fibras químicas de corte lanero. Existe una variante diseñada para fibras algodóneras pero su uso es muy reducido.

El equipo consta de tres elementos:

- a) Fibroliner o sistema de preparación automática. Consiste en un lecho de peines y en una mordaza que va colocando pequeñas extracciones de fibras sobre un soporte portaprobetas, hasta formar una probeta con una masa suficiente de fibras alineadas por uno de sus extremos. La probeta

se coloca entre dos láminas o films de plástico transparente para que no se desprendan.

- b) Cabezal de medición. Se introduce la probeta en el cabezal medidor y después de unos ajustes del 0 y del 100% de masa el carro portaprobetas avanza a una velocidad constante a través de los electrodos de medición del condensador. Al principio del ensayo el medidor detecta una elevada masa de fibras y a medida que va avanzando la cantidad de fibras disminuye en función de la distribución de su longitud (figura 64).

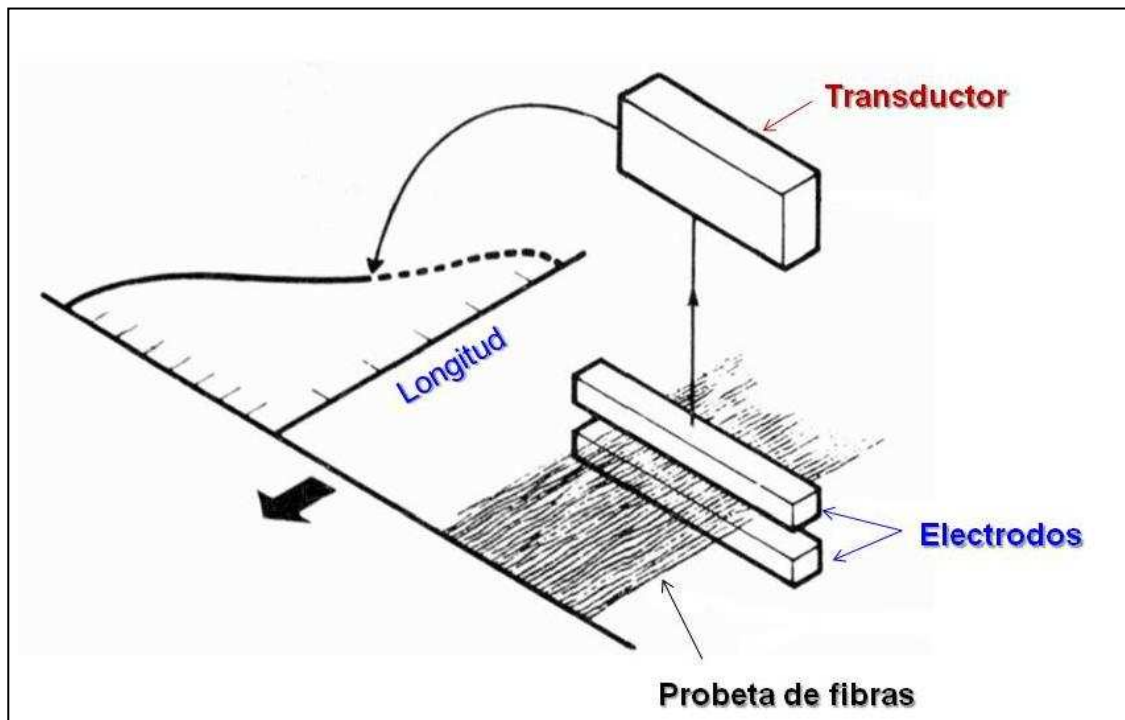


Figura 69. Principio de medida del longímetro capacitivo Almeter

- c) Ordenador. La información recogida por el cabezal medidor se envía a un ordenador que procede al dibujo del perfil del diagrama de fibras y procede a calcular la Barba, Altura, CV% y porcentaje de fibras cortas.

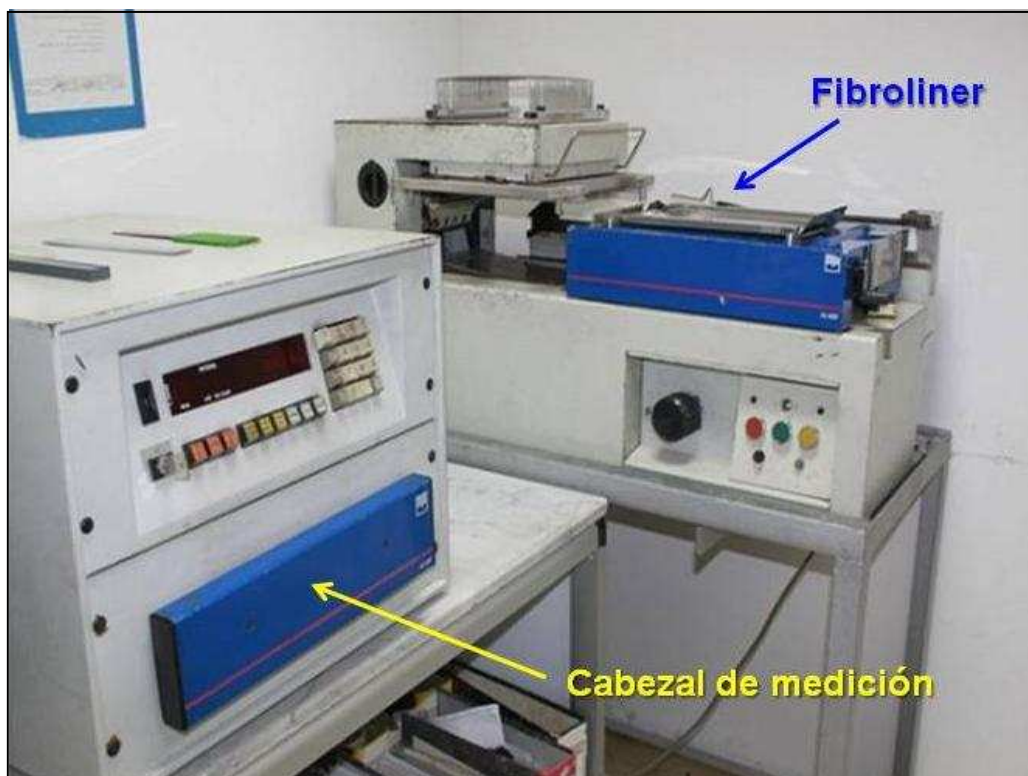


Figura 70. Equipo ALMETER. Al fondo el preparador de probetas Fibroliner y en el primer plano a la izquierda el sistema de medición. Fuente: Adaptado de www.goldentex.com.eg



Figura 71. Preparador de probetas Fibroliner del ALMETER. Fuente: <http://www.sav-biella.it/?p=340>



Figura 72. Detalle del preparador de probetas Fibroliner del ALMETER.
Fuente: <http://www.sav-biella.it/?p=340>



Figura 73. Lecho de peines del Fibroliner del ALMETER. Fuente: <http://www.sav-biella.it/?p=340>



Figura 74. Fibra preparada para hacer la extracción.

Fuente: http://www.wotol.com/3-uster-uster-tester-4-and-tex-lab-model/second-hand-machinery/prod_id/364493/scat_id/879



Figura 75. Lecho de peines del Fibroliner del ALMETER preparado para hacer la probeta.

Fuente: <http://www.sav-biella.it/?p=340>



Figura 76. Cabezal medidor ALMETER. Fuente: <http://www.sav-biella.it/?p=340>

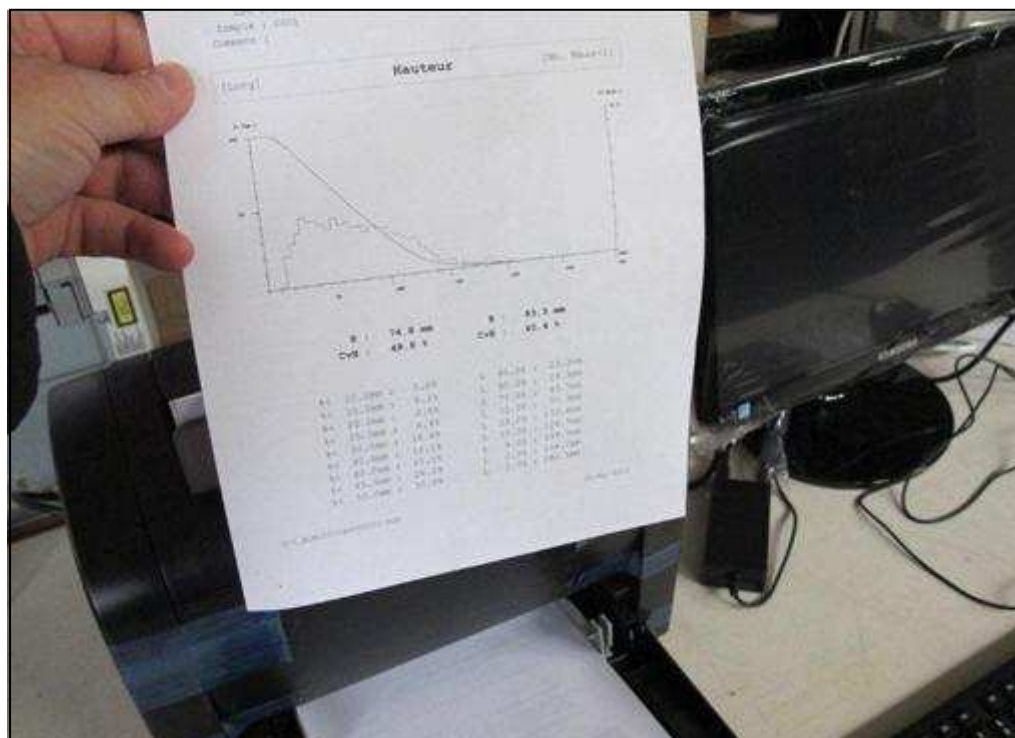


Figura 77. Report ALMETER. Fuente: <http://www.sav-biella.it/?p=340>

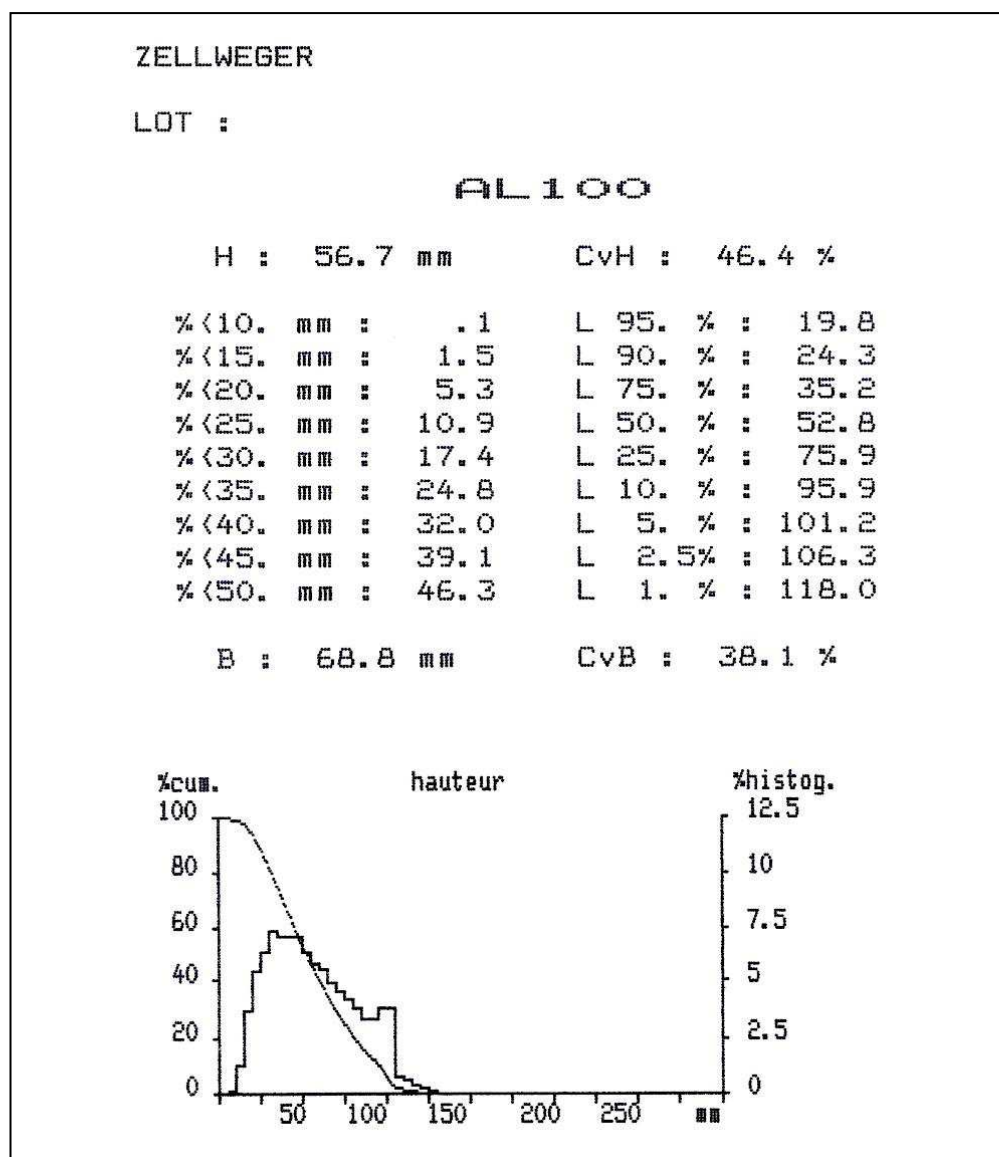


Figura 78. Detalle del report del Longímetro ALMETER 100, con indicación de la Barba (B) y Altura (H) así como el histograma de frecuencias de longitud y diagrama. Fuente: Zellweger USTER.

1.5.1.1.7 Longímetros de análisis de imágenes (OFDA)

Son equipos que determinan la longitud de las fibras realizando un barrido de una probeta de fibras alineadas en un origen común, mediante un lector microscópico autofocus (de 200 a 500 aumentos) conectado a una cámara CCD que analiza digitalmente las imágenes obtenidas. La preparación de la probeta es muy parecida al Fibroliner del equipo Almeter.

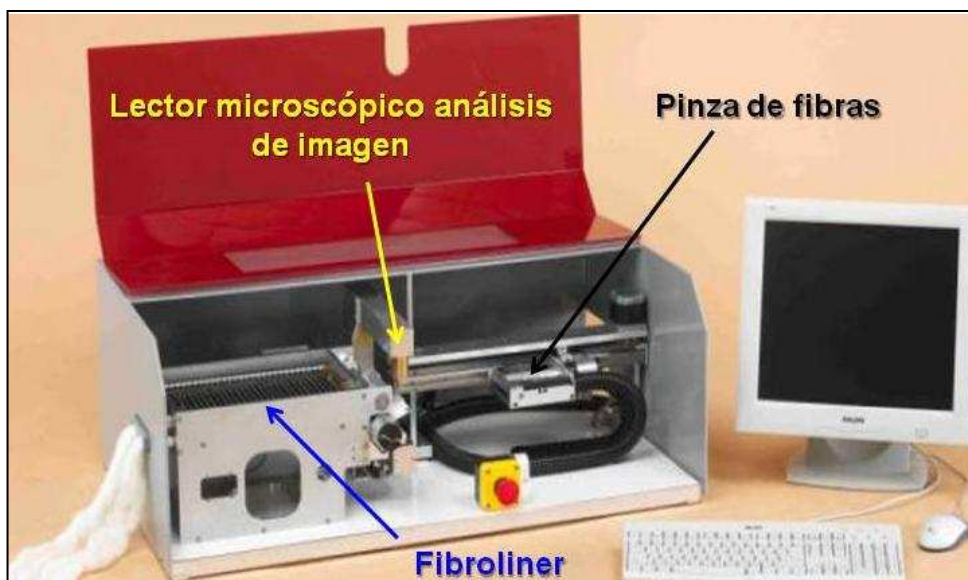


Figura 79. Esquema de las partes del ODFA 4000. Fuente:

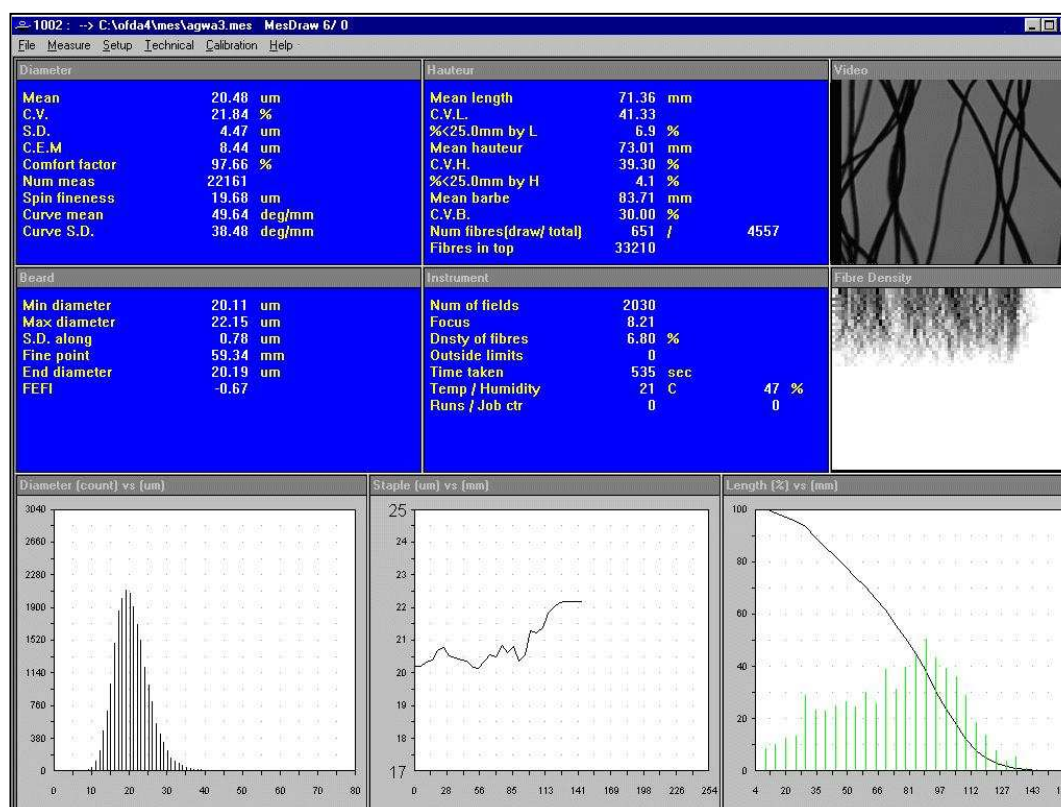


Figura 80. Report del equipo OFDA 4000

El equipo OFDA 4000, es el primer instrumento del mundo capaz de medir directamente el diámetro, la longitud de las fibras (barba, altura y coeficiente de variación, porcentaje de fibras cortas), así como diagrama e histograma por peso. El método de ensayo está reconocido con la norma TM 62 de la IWTO. En

el ensayo mide la longitud de unas 4.000 fibras en dos minutos aproximadamente.

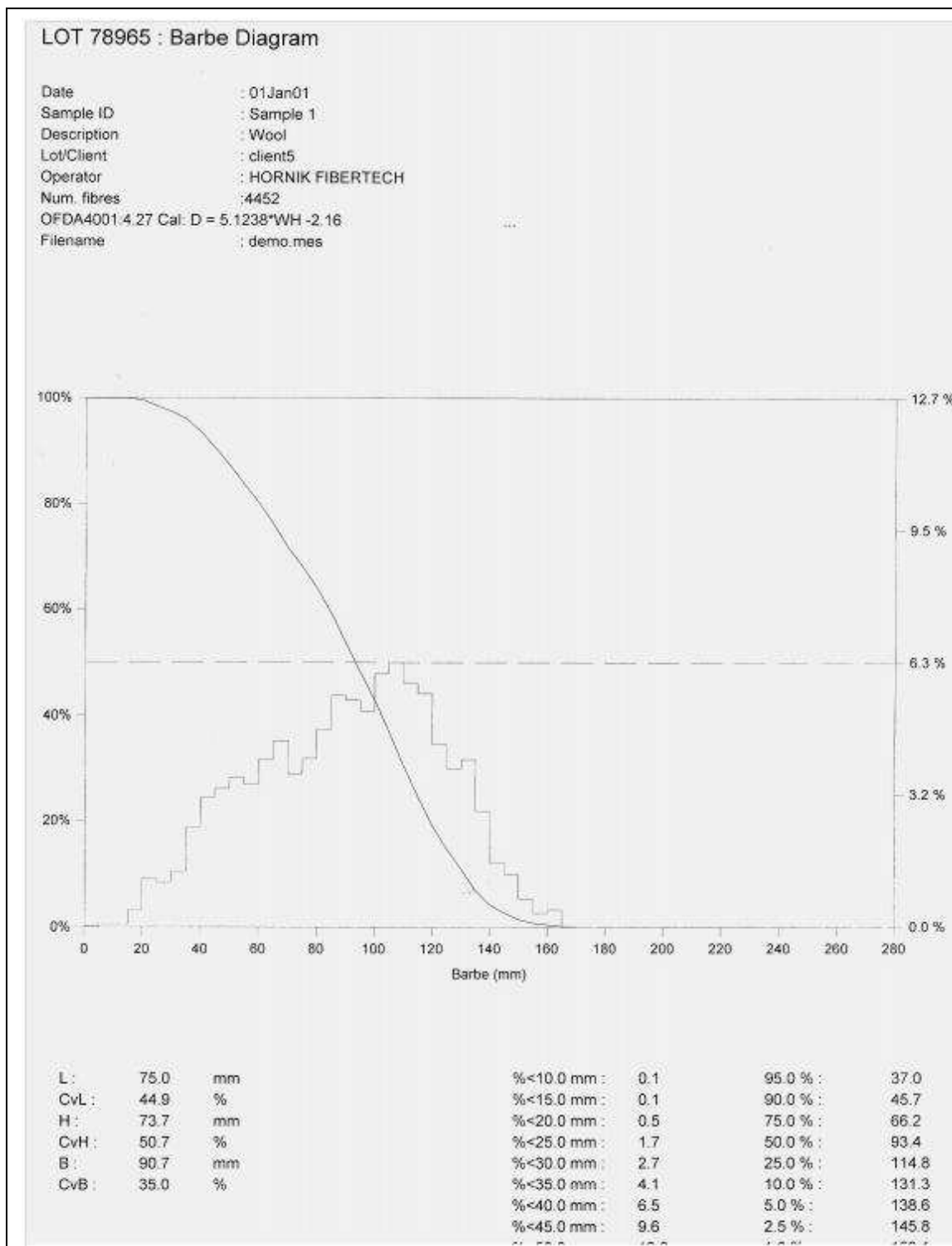


Figura 81. Diagrama e histograma de la Barba (B) del equipo OFDA 4000

1.5.1.1.8 Longímetros fotoeléctricos. Fibrograph

Equipo diseñado para determinar la longitud de las fibras de algodón. Para su calibrado y procedimiento operatorio se siguen las normas UNE 40-460 i ASTM D1447.

El Fibrógrafo es sistema de medición de la longitud de las fibras conceptualmente distinto a todos los sistemas vistos hasta ahora. No analiza la longitud de las fibras dispuestas de manera que su origen sea una línea común sino que analiza la longitud sobresaliente de un conjunto de fibras pinzadas en un punto de su longitud al azar. El fibrosampler es un preparador de probetas que peinada y paraleliza las fibras de algodón y las pinzas por un punto de su longitud al azar. Una vez eliminadas las fibras que no están retenidas por este punto de pinzaje, se determina la longitud de las fibras que sobresalen de este punto. La longitud obtenida no es la longitud real de las fibras sino las longitudes sobresalientes.



Figura 82. Fibrosampler o preparador de probetas

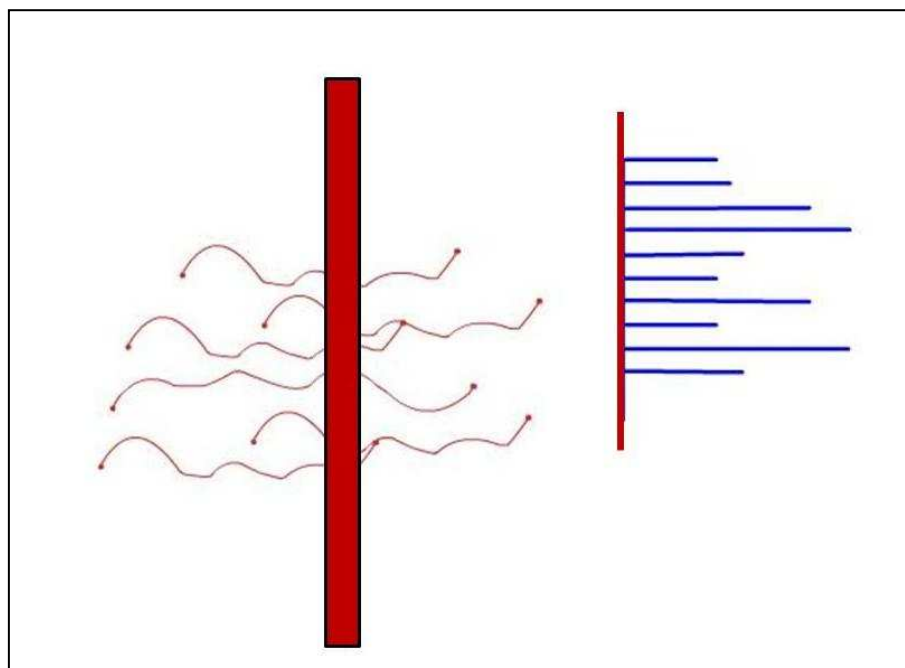


Figura 83. A la izquierda, vista en planta de la probeta del Fibrograph. Está formada por una pinza que pellizca las fibras por un punto al azar de su longitud. A la derecha se muestra la distribución de la longitud sobresaliente de estas fibras pellizadas al azar.

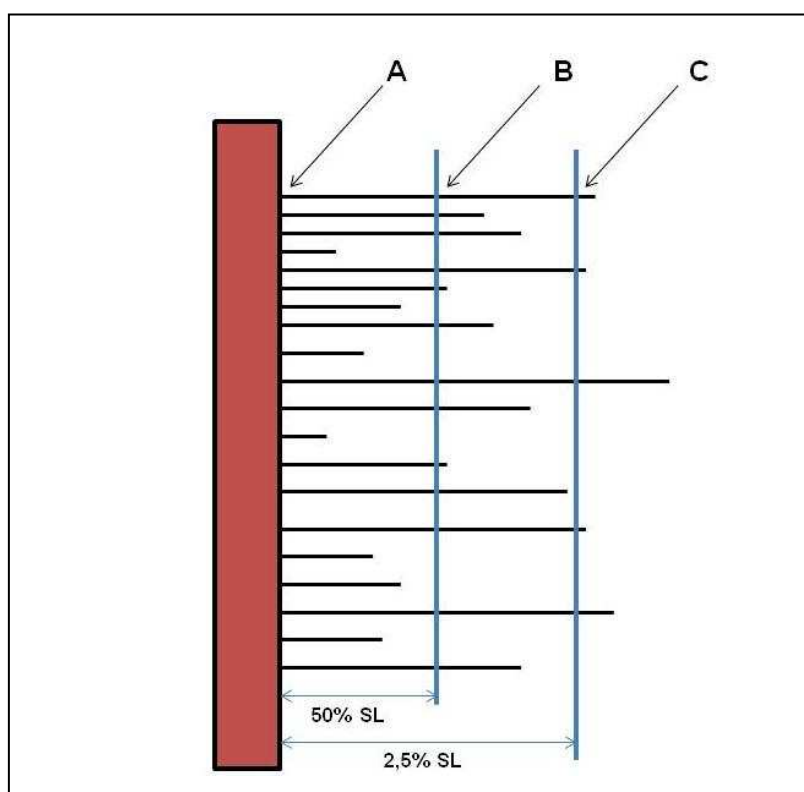


Figura 84. Vista en planta de las fibras emergentes de un punto de pinzaje al azar

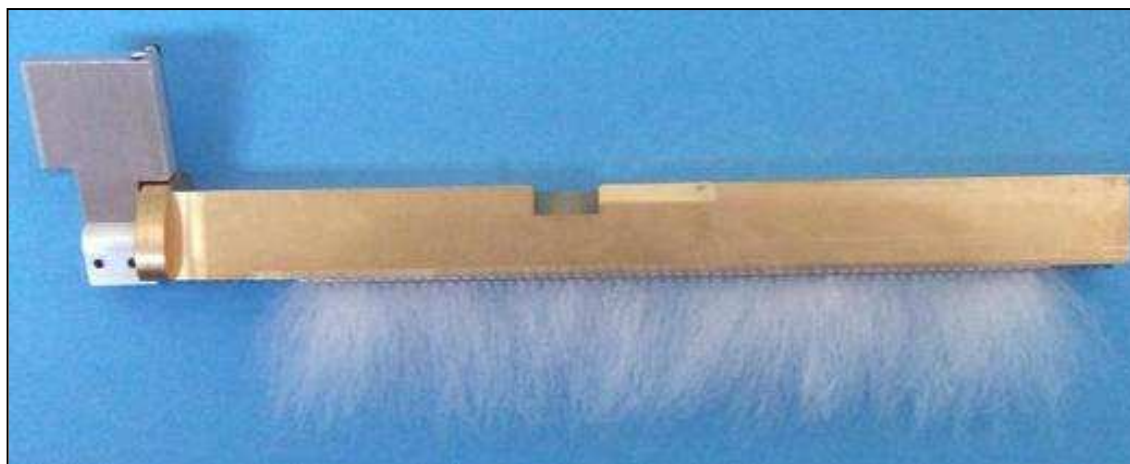


Figura 85. Probeta del Fibrograph

Este equipo se denomina Fibrograph Spinlab. La probeta se coloca entre dos cabezales de medición de las mismas dimensiones (ancho) que ella. Uno de los cabezales, situado debajo de la probeta emite una señal de luz y el segundo cabezal es una célula fotoeléctrica. La probeta se mueve de tal manera que los cabezales realizan un escaneado de la probeta en el sentido de la longitud de las fibras. Al principio hay una elevada cantidad de fibras y la luz que traspasa la probeta es mínima. A medida que va avanzando la probeta la cantidad de fibras que sobresalen es menor y por lo tanto la señal luminosa que recibe la célula fotoeléctrica es mayor.



Figura 86. Equipo Fibrograph Spinlab

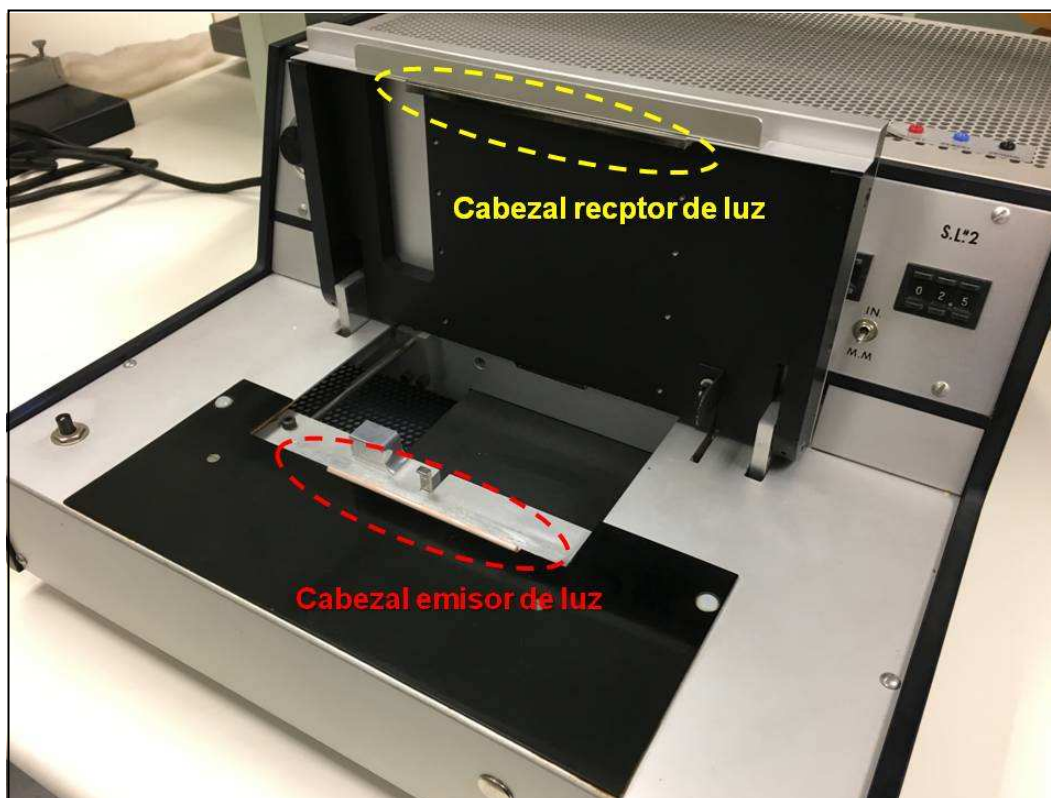


Figura 87. Cabezales de medida fotoeléctricos

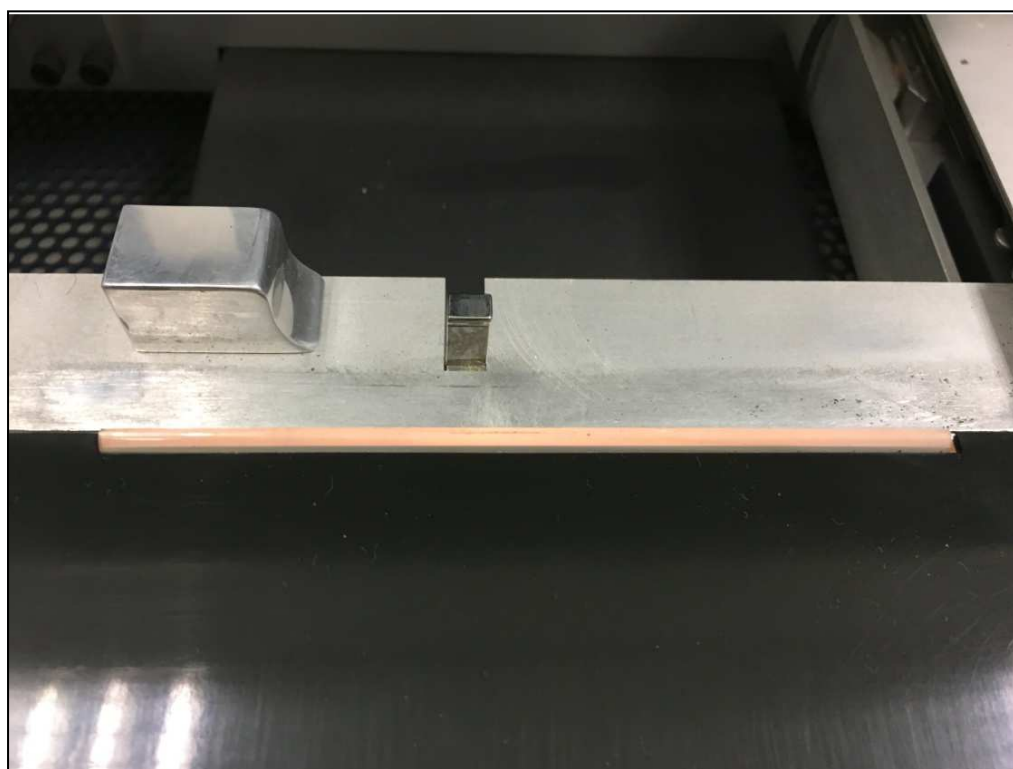


Figura 88. Cabezal emisor de luz



Figura 89. Probeta colocada en el equipo de medida tapando el cabezal emisor de luz

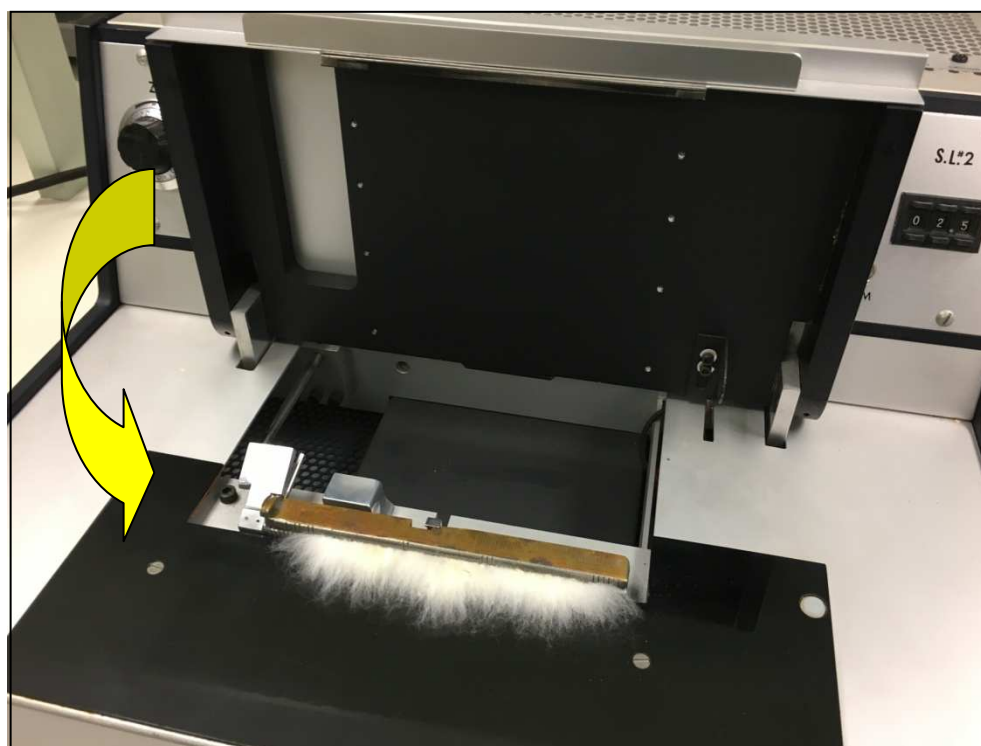


Figura 90. A punto de iniciar el ensayo. La probeta tapa el cabezal emisor de luz. Falta bajar la plataforma con el cabezal receptor de la luz



Figura 91. Inicio del ensayo. La probeta se mueve hacia el interior del equipo para que los cabezales escaneen la probeta



Figura 92. A punto de finalizar el escaneo de la probeta

La empresa japonesa Keisokki fabrica el Classifiber Model KCF/LS-V, una versión moderna y más actualizada a nivel electrónico que va conectada a un ordenador que realiza todos los cálculos relacionados con el fibrograma obtenido en este ensayo.

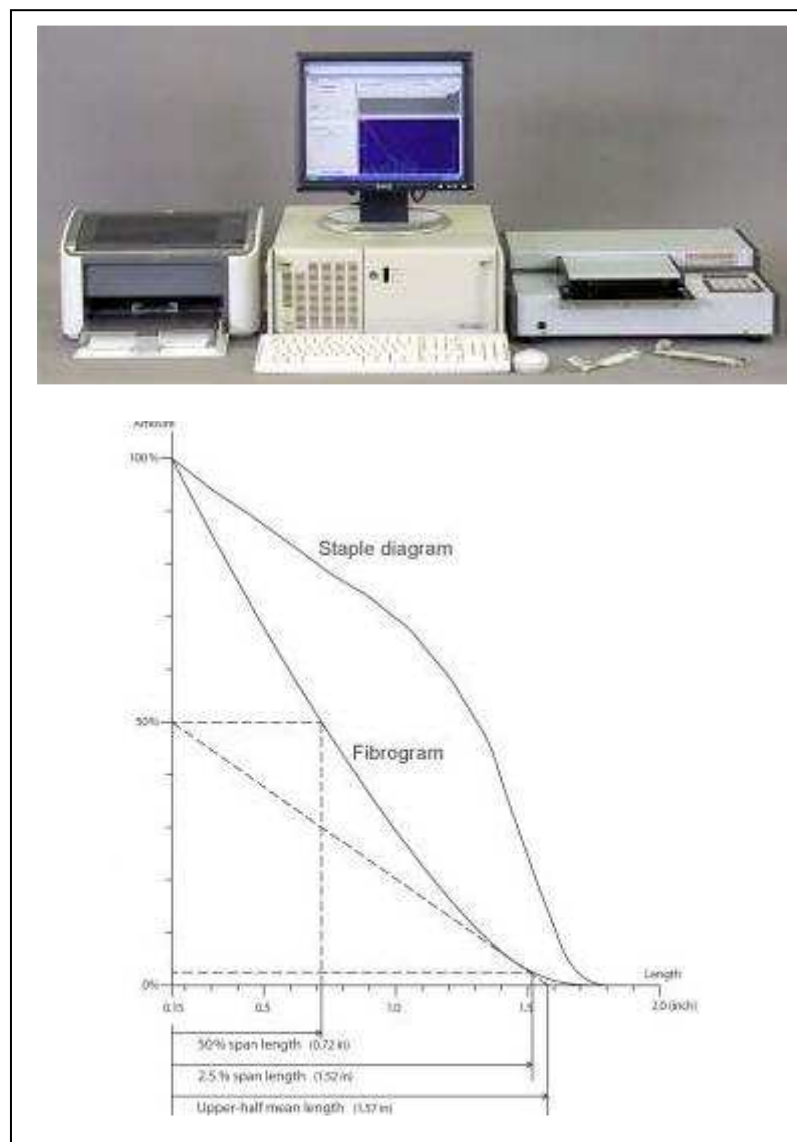


Figura 93. Fibrógrafo Classifiber de Keisokki

La representación gráfica del estudio no es un diagrama sino un fibrograma (ver figura 94, donde el eje de abscisas es la longitud de las fibras sobresaliente en mm y el eje de ordenadas es el porcentaje de ellas.

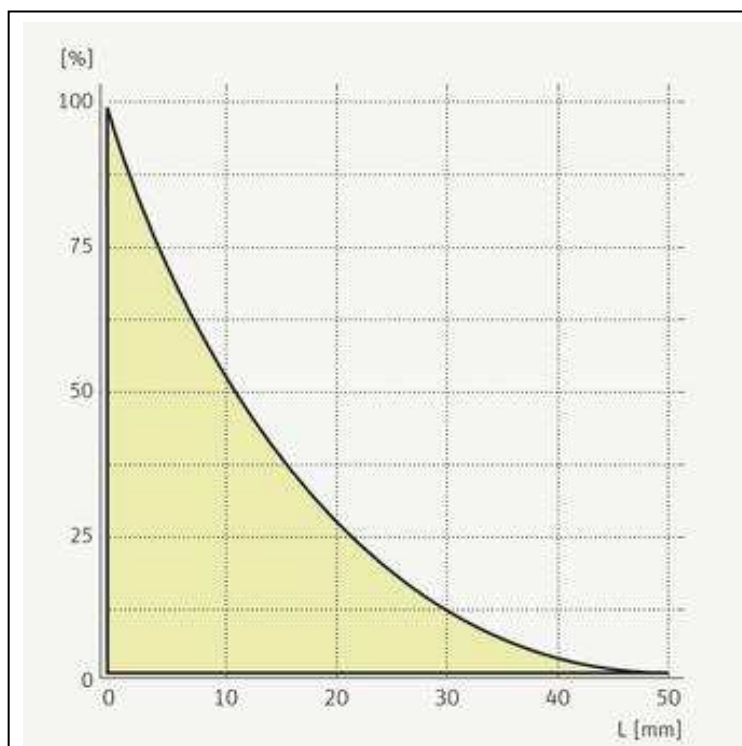


Figura 94. Fibrograma

Fuente: <http://www.rieter.com/tr/rikipedia/articles/technology-of-short-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/various-diagram-forms/fibrogram/>

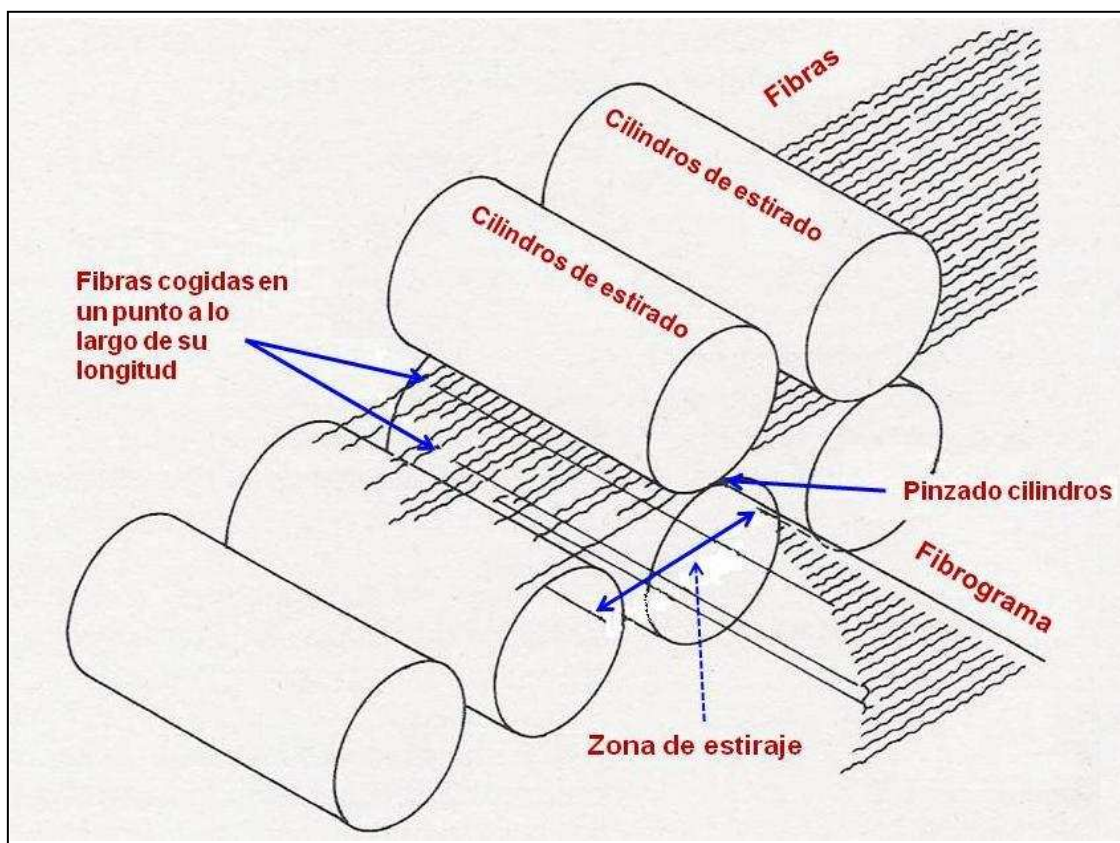


Figura 95. Simulación de un tren de estiraje

Este principio de medición simula lo que ocurre en realidad en un tren de estiraje de una máquina del proceso de hilatura formado por dos pares de cilindros. Como puede verse en la figura 95. Si medimos los longitudes de las fibras emergentes de un punto de pinzado al azar en un tren de estiraje y colocamos de forma ordenada de mayor a menor la longitud emergente obtendremos una curva cuyo perfil es el del un fibrograma.

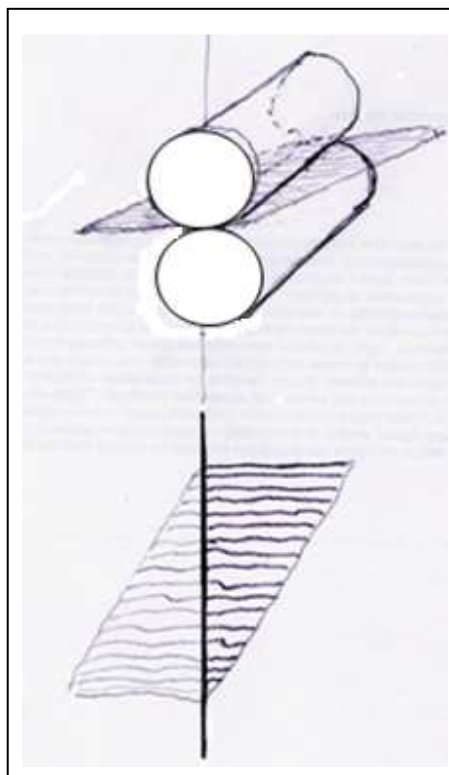


Figura 96. Si todas las fibras de una muestra tuvieran la misma longitud daría lugar a un Fibrograma de forma triangular. La probabilidad de que una fibra sea pinzada al azar por cualquier punto de su longitud es igual en todas ellas.

Una vez realizado el ensayo, el equipo Fibrograph es capaz de determinar los siguientes parámetros.

1.5.1.1.8.1 Longitud media. *Mean length (ML)*

Se pueden obtener dos expresiones de la longitud media de un Fibrograma. Una es la longitud media por peso de fibra y la otra es la longitud media por número de fibras.

La longitud media por número de fibras se obtiene por la intersección con el eje de longitudes de una tangente trazada desde el origen del Fibrograma al eje de las cantidades. La línea intercepta el eje de abscisas por el punto A. La longitud media (*Mean length, ML*) es la distancia OA en mm.

La longitud media por peso, es el doble del área bajo la curva del Fibrograma cuando el eje de cantidades se normaliza a la unidad (1,0 en vez de 100%).

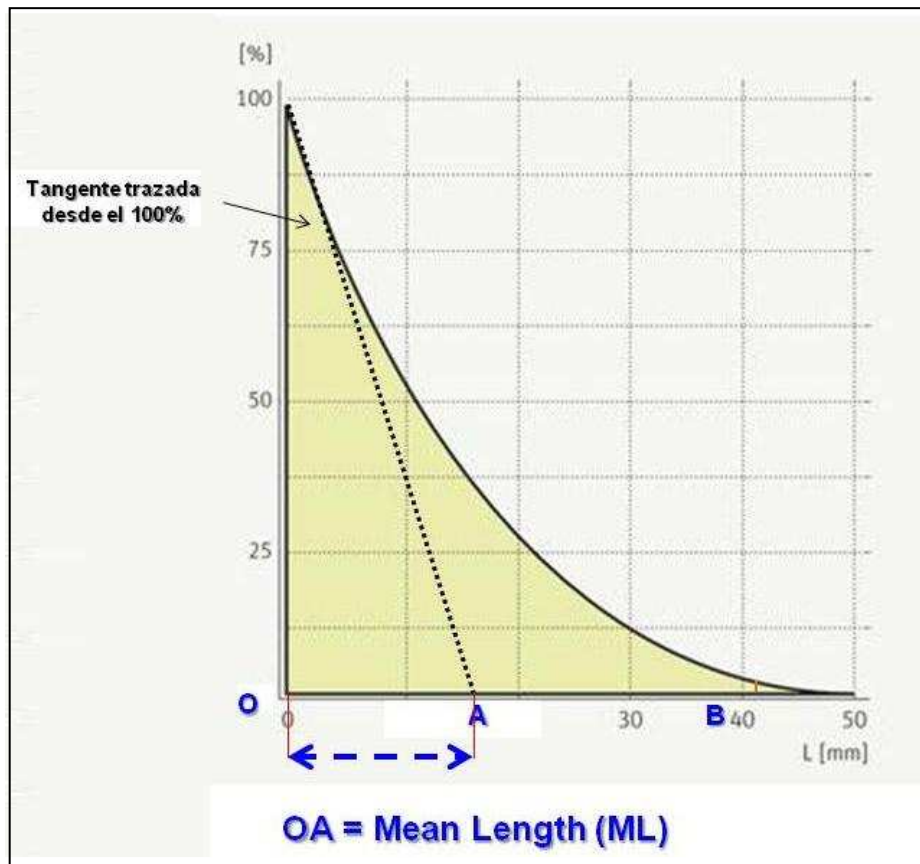


Figura 97. Mean length (ML)

1.5.1.1.8.2 Upper Half Mean Length (UHML). Longitud de la sobremedia

Longitud media por número de fibras del conjunto de fibras constituido por el 50 % de las fibras más largas por peso. Si trazamos una tangente al fibrograma desde el punto del 50 % de las fibras, la línea intercepta el eje de abscisas por el punto B. La distancia OB es el UHML (figura 96).

El Upper Half Mean Length (UHML) se corresponde con la longitud Upper Quartile Length (UQL) determinada del Diagrama por peso obtenido mediante el equipo AFIS.

UQL es aquella longitud del Diagrama por peso en la cual el 75% de todas fibras tienen una longitud inferior a ella y es superada por el 25 %.

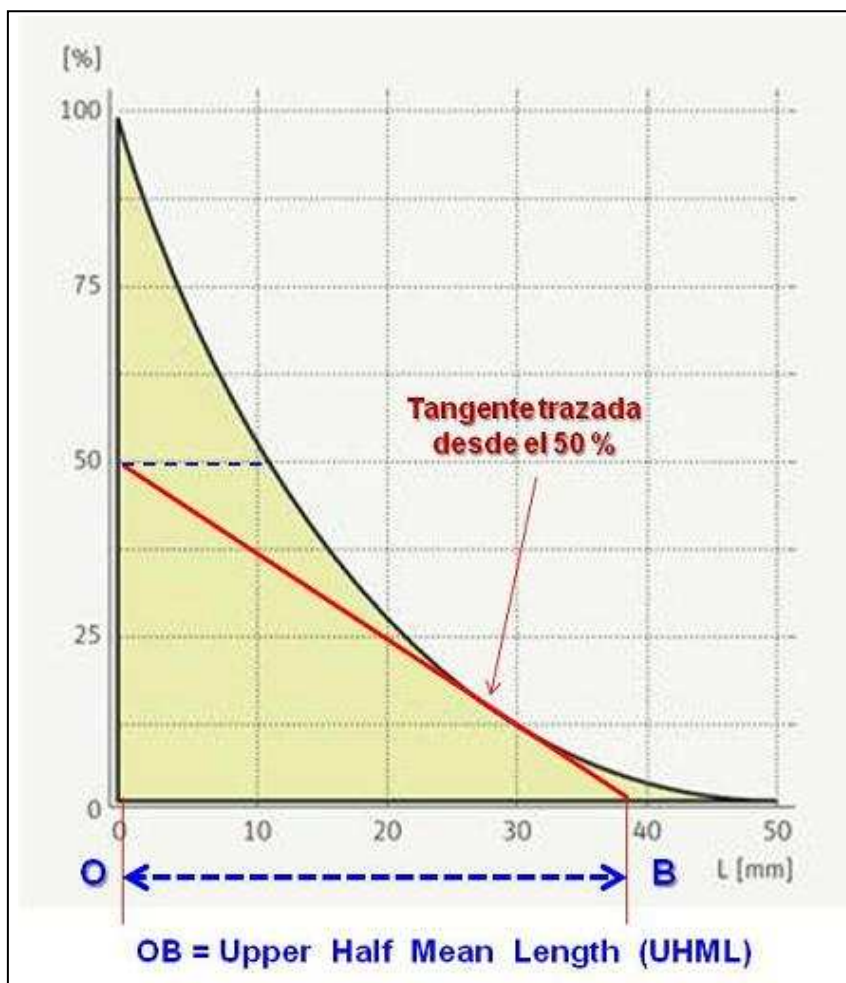


Figura 98. Upper Half Mean Length (UHML)

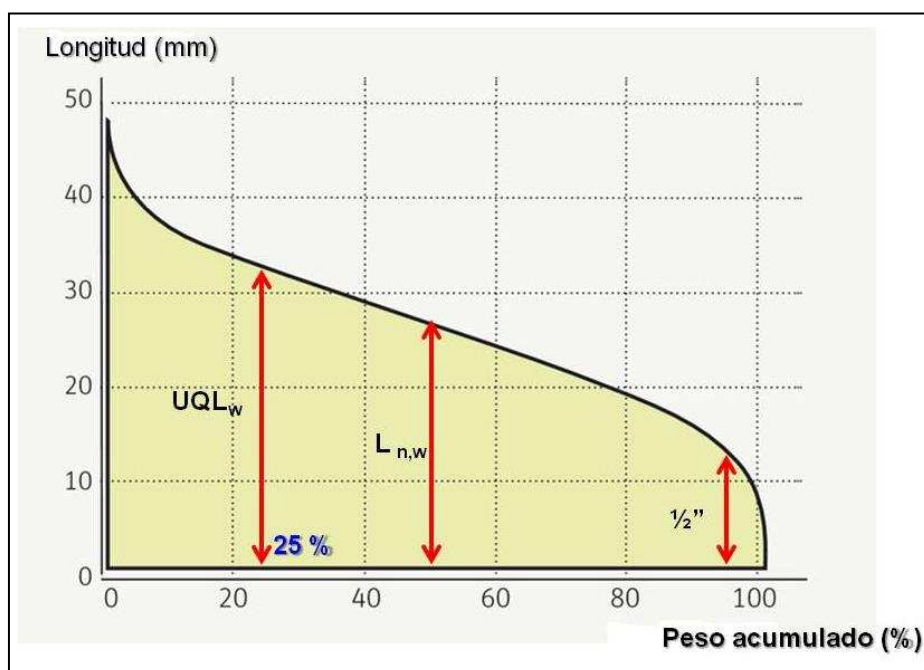


Figura 99. Diagrama por peso obtenido mediante el el equipo AFIS

Por coincidencia o por suerte, UHML y consecuentemente el 2,5 % SL, está al mismo nivel que la longitud determinada manualmente por el método “pulling” para algodones de 1” a 1/8” USA tipo Upland y como la mayoría de la producción en EUA y en nuestras condiciones, está en estos límites se puede admitir que es igual. Pero no es lo mismo ni se ha intentado que nunca lo sea. 2,5% Span Length (SL) no es lo mismo que UHML, pero están cerca uno del otro en la medida de los algodones de tipo medio.

1.5.1.1.8.3 Span length al 50%. SL 50%

Buscamos el punto del 50% de las fibras del eje de ordenadas (L1) y lo proyectamos hacia la derecha hasta interceptar la curva del fibrograma (L1'). La distancia L1L1' es el SL al 50%.

Es la longitud superada por el 50 % de las fibras. Es decir, el 50% de las fibras del fibrograma tienen una longitud igual o mayor que ésta.

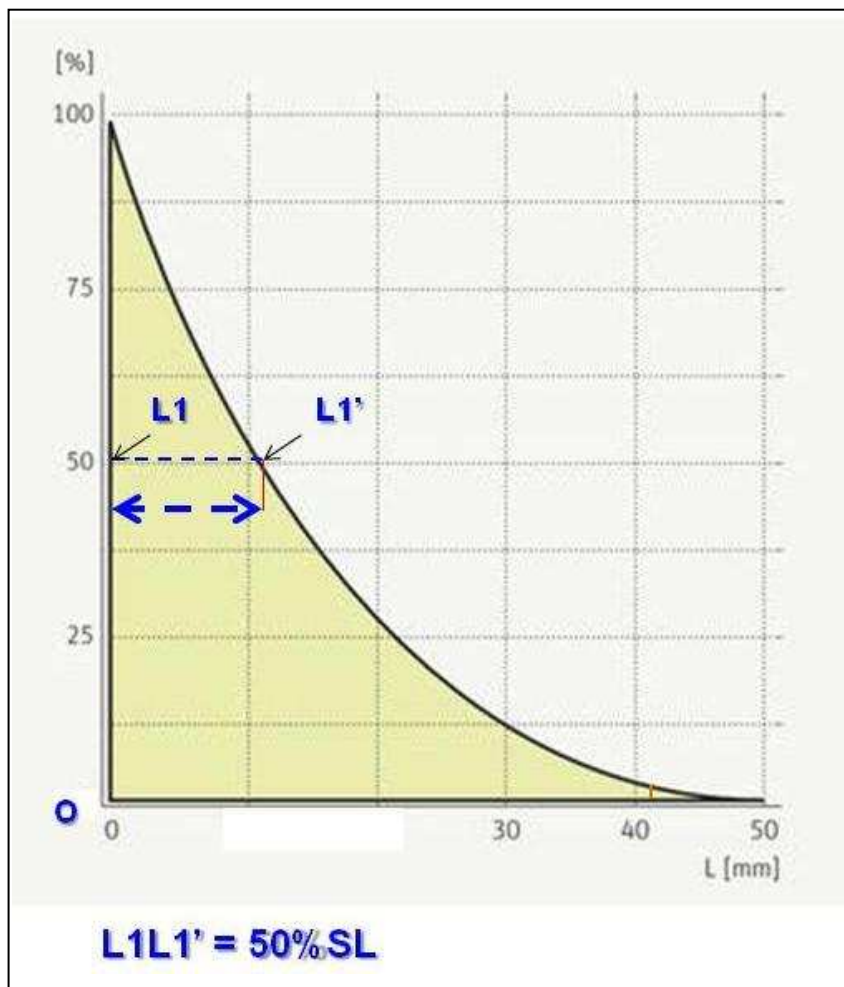


Figura 100. SL 50%

1.5.1.1.8.4 Longitud subtendida. *Span length al 2,5%. SL 2,5%*

Buscamos el punto del 2,50% de las fibras del eje de ordenadas (L2) y lo proyectamos hacia la derecha hasta interceptar la curva del fibrograma (L2'). La distancia $L2 - L2'$ es el SL al 2,50%.

Es la longitud superada por el 2,50 % de las fibras. Es decir, el 2,50% de las fibras del fibrograma tienen una longitud igual o mayor que ésta. Coincide con la Longitud efectiva o comercial.

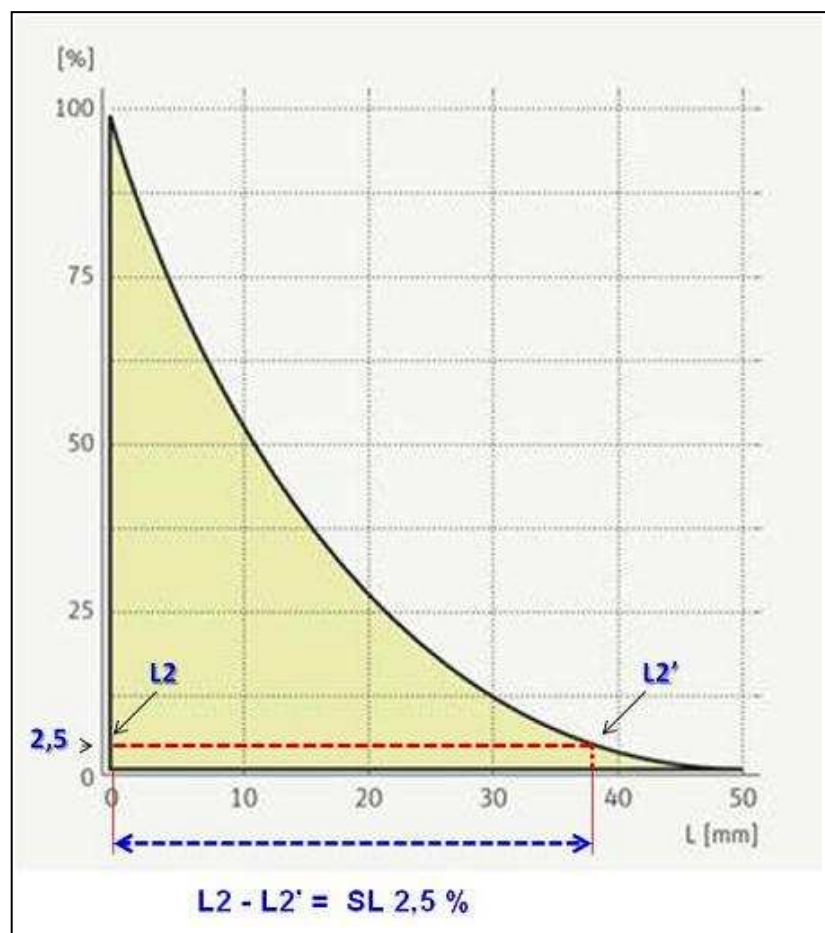


Figura 101. SL 2,50%

1.5.1.1.8.5 Secant Mean length (SML)

Buscamos el punto del 66,7 % del eje de ordenadas y lo proyectamos hacia la derecha hasta interceptar la curva. A continuación trazamos una línea que une el punto del eje de ordenadas 100% con el punto de intersección del 66,7%. Esta línea intercepta el eje de abscisas por el punto E. La distancia OE es el SML.

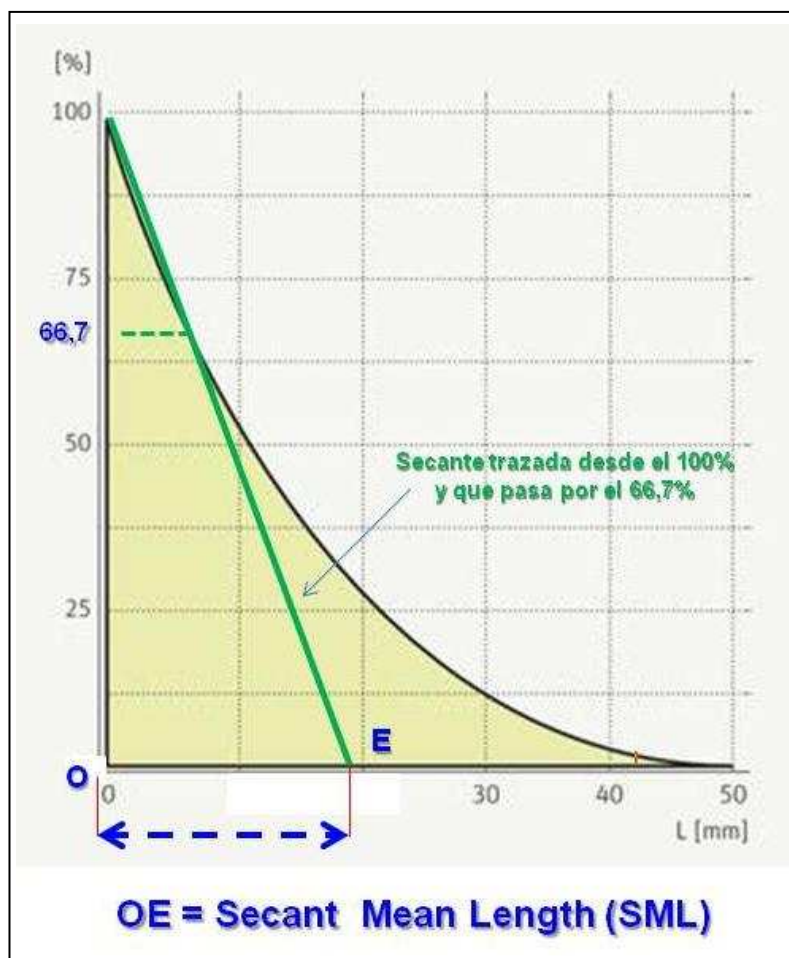


Figura 102. Secant Mean Length (SML)

1.5.1.1.8.6 Contenido de fibra corta. *Short Fiber Content (SFC)*

Porcentaje de fibras de longitud inferior a una longitud determinada. En el caso del Algodón es media pulgada (12,7 mm).

En un fibrograma se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$SFC\% = 50,01 - (0,766 \cdot 2,5\%SL) - (81,48 \cdot 50\%SL)$$

| SFC por número | SFC por peso | Clasificación |
|----------------|--------------|---------------|
| <18 % | <5 % | Muy bajo |
| 19 – 23 % | 6 – 8 % | Bajo |
| 24 – 28 % | 9 – 11 % | Medio |
| 29 – 33 % | 12 – 14 % | Alto |
| >34 % | >15 % | Muy alto |

Tabla 11. Clasificación del Algodón en función del porcentaje de fibra corta (SFC %).

1.5.1.1.8.7 Uniformity Index (UI). Índice de Uniformidad (%)

Es el cociente entre el Mean Length y el Upper Half Mean length. Muestra la uniformidad de la distribución de la longitud de fibra de un fibrograma..

$$\text{Uniformity Index (UI)} = \frac{\text{Mean Length}}{\text{Upper Half Mean Length}}$$

$$\text{UI \%} = \frac{ML}{UHML} \cdot 100$$

| UI | Clasificación de la Uniformidad |
|---------|---------------------------------|
| <77 | Muy baja |
| 77 - 80 | Baja |
| 81 - 84 | Media |
| 85 - 87 | Alta |
| >87 | Muy alta |

Tabla 12. Clasificación del Algodón en función del Índice de uniformidad (UI %)

1.5.1.1.8.8 Uniformity ratio (UR%). Relación de Uniformidad

Se trata, también, de un indicador de la uniformidad del fibrograma. Es el cociente entre 50% SL y 2,5% SL expresado en %.

$$\text{UR \%} = \frac{50\% SL}{2,5\% SL} \cdot 100$$

| Relación de Uniformidad (UR%) | Clasificación |
|-------------------------------|---------------|
| < 0,97 | Muy baja |
| 0,97 – 1,09 | Medio |
| 1,09 – 1,28 | Largo |
| > 1,28 | Muy largo |

Tabla 13. Clasificación del Algodón en función de la Relación de Uniformidad (UR%)

1.5.1.1.8.9 Floating Fiber Index (FFI%). Porcentaje de fibras flotantes

Porcentaje de fibras que no están pinzadas por ninguno de los dos pares de cilindros del tren de estiraje. Se calcula de la siguiente forma:

$$\text{FFI \%} = \left(\frac{UQL}{ML} - 1 \right) \cdot 100 \quad \text{o bien} \quad \text{FFI\%} = \left(\frac{2,5\%SL}{ML} - 0,975 \right) \cdot 100$$

1.5.1.1.9 Tipos de diagramas de fibra

1.5.1.1.9.1 Diagrama rectangular

Es el perfil típico de la distribución de las fibras químicas puesto que todas tienen la misma longitud. Una mayor uniformidad en la distribución de la longitud de fibras es beneficiosa para la resistencia de los hilos obtenidos. Sin embargo durante el estiraje las fibras no son pinzadas progresivamente sino que al ser todas de la misma longitud tienden a moverse por haces de fibras afectando negativamente a la regularidad de masa de los hilos resultantes.

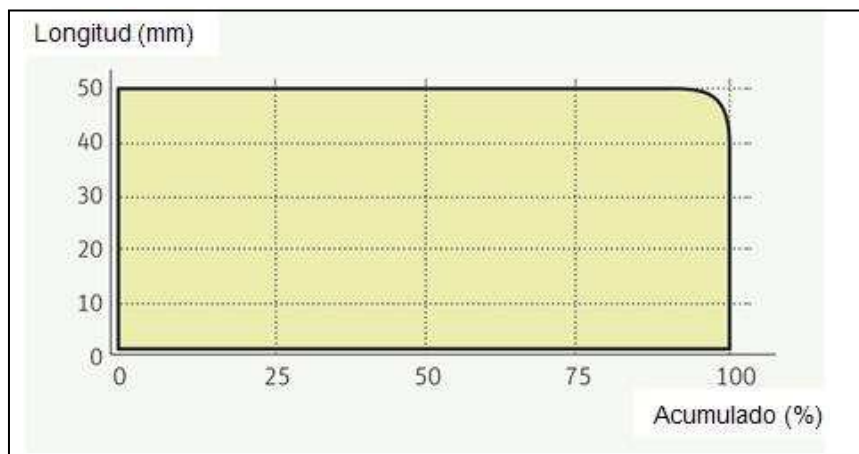


Figura 103. Diagrama rectangular.

Fuente: <http://www.rieter.com/tr/rikipedia/articles/technology-ofshort-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/various-diagram-forms/rectangular-staple/>

1.5.1.1.9.2 Diagrama triangular

Este perfil de diagrama permite un pinzaje progresivo de las fibras en el tren de estiraje sin embargo presenta una elevada cantidad de fibra corta lo cual afecta negativamente a la resistencia, regularidad, vello y defectos.

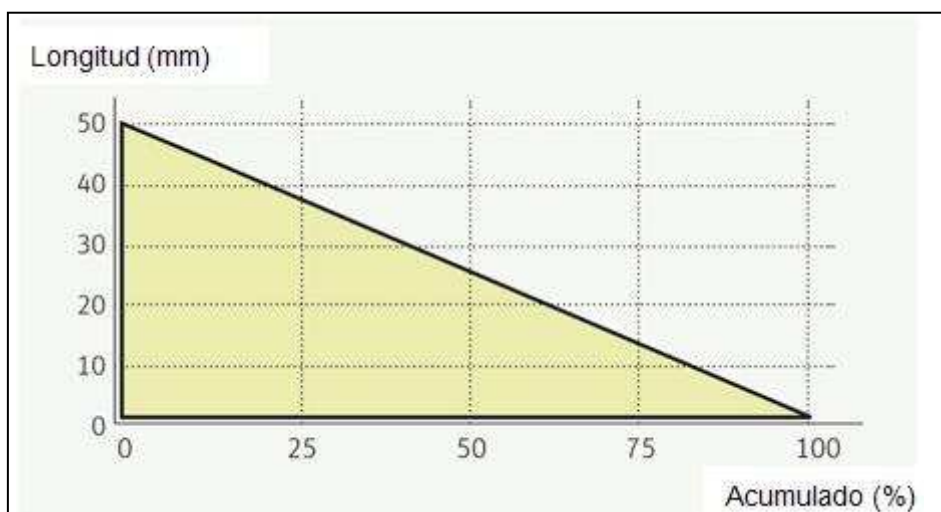


Figura 104. Diagrama triangular.

Fuente: <http://www.rieter.com/tr/rikipedia/articles/technology-ofshort-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/various-diagram-forms/triangular-staple/>

1.5.1.1.9.3 Diagrama trapezoidal

Es el perfil ideal de diagrama puesto que la cantidad de fibra corta es mínima y la distribución de longitudes permite un pinzaje progresivo de las fibras en el tren de estiraje. Es el diagrama típico del algodón peinado.

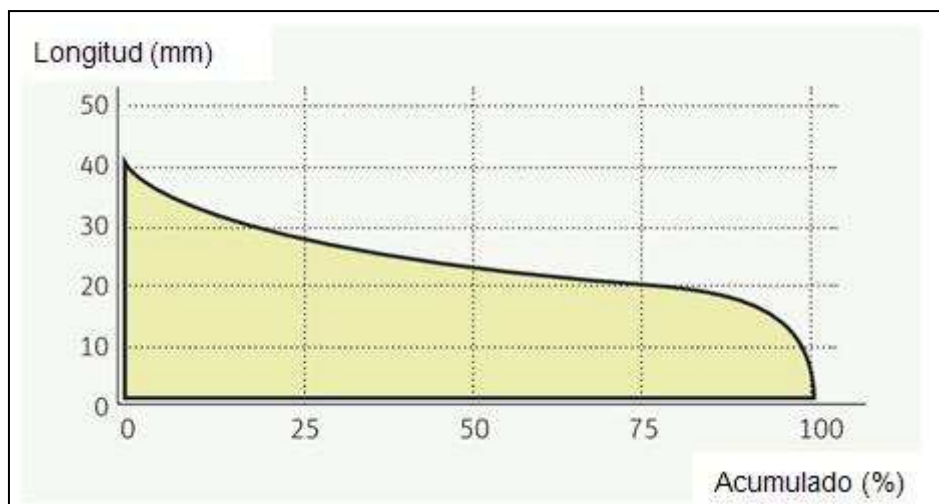


Figura 105. Diagrama trapezoidal.

Fuente: <http://www.rieter.com/tr/riepedia/articles/technology-ofshort-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/various-diagram-forms/trapezoidal-staple/>

1.5.1.1.9.4 Diagrama escalonado

Este perfil irregular y escalonado es debido a una mezcla de fibras muy diferentes en proporciones inadecuadas. En el estiraje las fibras tenderán a moverse por haces produciendo los mismos problemas que el diagrama rectangular.



Figura 106. Diagrama escalonado.

Fuente: <http://www.rieter.com/tr/riepedia/articles/technology-ofshort-staple-spinning/raw-material-as-a-factor-influencing-spinning/fiber-length/various-diagram-forms/stepped-staple/>

1.5.1.2 Finura

La finura de las fibras se expresa como diámetro aparente o bien como masa lineal.

| Tipo de fibra | Finura en micras (μm) |
|-----------------|---|
| Algodón | de 11 a 12 cuando más largo, más fino |
| Coco | 12 - 25 |
| Lino | 12 - 25 |
| Ramio | 25 - 60 (habitualmente: 25 - 30) |
| Cáñamo | 16 - 50 (habitualmente 25) |
| Yute | 17 - 20 |
| Sisal | 200 - 400 |
| Lana | 10 - 70 (habitualmente 16 - 40) cuando más larga, más gruesa |
| Alpaca | 23 - 70 (habitualmente 23 - 30) |
| Llama | 28 - 41 |
| Camello | Vello interior 10 - 30 Vello exterior 30 - 120 |
| Mohair | 23 - 38 |
| Cachemira | 13 - 16 (no más de 19) Vello externo > 50 |
| Angora | 14 - 16 |
| Vicuña | 12 - 15 |
| Seda natural | 10 - 13 |
| Fibras químicas | Microfibras: alrededor de 10 micras (< 1 dtex). Nanofibras: 500 nanómetros |

Tabla 14. Gama de finuras de las fibras textiles

El diámetro aparente se utiliza para describir la finura de las fibras naturales que son circulares (diámetro real) o casi circulares (poliédricas, ovales o arriñonadas) y la unidad utilizada son las micras (μm) (milésima de milímetro).

La masa lineal (peso por unidad de longitud) depende del grosor de la fibra pero también de su densidad, puesto que para un mismo peso, el volumen de una fibra será mayor cuanto más baja sea su densidad.

La unidad utilizada para determinar la finura de las fibras químicas es el tex (peso en gramos de 1.000 metros de fibra), en particular su submúltiplo, el decitex (dtex) que es el peso en gramos de 10.000 m de fibra. A veces, aunque con menor frecuencia, se utiliza también el denier (de) que es el peso en gramos de 9.000 m de fibra.

$$\text{denier} \cdot 1,111 = \text{dtex}$$

$$\text{denier} = \frac{\text{decitex}}{1,111}$$

$$\text{Título (tex)} = \pi \cdot \rho \cdot \frac{d^2}{4} \cdot 10^3$$

$$\text{Diámetro } \mu\text{m} = \sqrt{4 \cdot 10^3 \cdot \frac{\text{tex}}{\pi \rho}}$$

$$\text{Superficie específica} = \sqrt{4\pi \cdot \text{tex} \cdot \frac{10}{\rho}}$$

$$\rho = \text{densidad (g/cm}^3\text{)}$$

$$d = \text{diámetro } (\mu\text{m})$$

La finura, es una de las características de la geometría de las fibras que mayor importancia tiene puesto que afecta a propiedades de gran trascendencia en el uso y precio de las fibras.

Cuando mayor sea el grosor de las fibras, mayor será también su rigidez a la flexión lo cual influye en el tacto de los hilados y tejidos obtenidos. Las fibras gruesas dan lugar a tejidos con un tacto más duro puesto que cuestan más flexionarlas, mientras que las fibras finas se flexionan con un menor esfuerzo, en consecuencia tienen un tacto más “sedoso” es decir, el tacto que ofrece la fibra natural más fina que hay. Siguiendo esta misma lógica, las fibras finas darán lugar a tejidos con mayor cayente puesto que su rigidez a la flexión es menor.

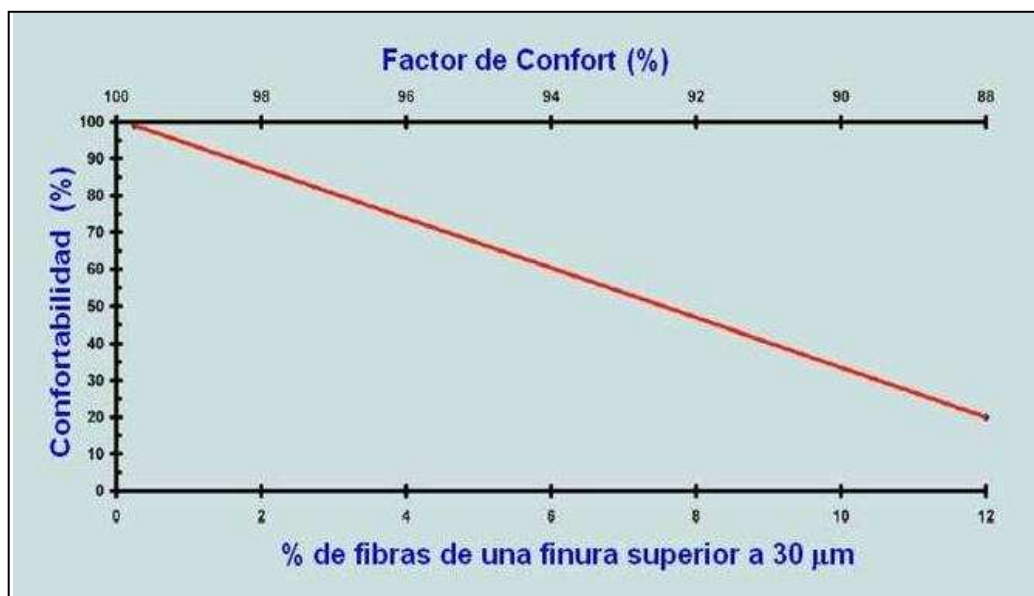


Figura 107. Sensación de confort producido por un tejido de lana que está en contacto con la piel humana en función del % de fibras gruesas

Fuente: <http://www.awtawooltesting.com.au/index.php/en/resources/brochures-and-handbooks>

Siguiendo el razonamiento anterior, cuando las fibras gruesas de lana rozan nuestra piel, tiende a clavarse en ella y no a deslizarse debido a su gran rigidez. Ello explica la sensación de “picor” que nos produce la lana cuando el porcentaje de fibras gruesas que contiene es elevado. En la figura 107 puede verse como cambia la confortabilidad de un tejido de lana que está en contacto directo con la piel humana, en función del contenido de fibras gruesas (superiores a 30 μm).

Puesto que toda acción implica una reacción, si una fibra cuesta más de deformar, más fácilmente recuperará también la deformación aplicada y por lo tanto las fibras gruesas tendrán menor tendencia al arrugado que las finas. Darán lugar, asimismo, a materiales más esponjosos y por lo tanto serán más adecuadas para ser utilizadas como fibras de relleno. Debido a su mayor rigidez a la flexión las fibras gruesas tendrán menor tendencia a formar neps en el proceso de hilatura (durante el cardado, especialmente). Los hilados hechos con fibras gruesas costarán más de torcer y en consecuencia tendrán más tendencia a formar “caracolillo”.



Figura 108. Las fibras finas tienen más tendencia al arrugado que las fibras gruesas.

Fuente: <http://www.guineachic.com/es/productos/detalles/pantalon-rosa-arrugado-tejido-brillante/103>

Puesto que cada sistema de hilatura tiene un número mínimo de fibras por sección teórico, por debajo del cual la calidad del hilado obtenida es insuficiente, la finura de las fibras condicionan su hilabilidad, es decir el grosor (título) mínimo de los hilados que pueden obtenerse esta fibra. Así pues, si decimos que la hilatura por anillos ha de tener, al menos 60 fibras por sección transversal, no es lo mismo si utilizamos una fibra de 1 dtex, que dará un hilo resultante será 60 dtex (6 tex) que si utilizamos una fibra de 1,5 dtex que daría un hilo resultante de 90 dtex (9 tex). Por otra parte con fibras más finas se obtendrán hilados más regulares y con menor número de defectos puesto al haber un mayor número de fibras habrá también una mayor cohesión interfibrilar debido al rozamiento entre ellas y un mejor control del fluj de fibras en los trenes de estiraje.



Figura 109. Las fibras finas tienen un mayor cayente que las gruesas.
Fuente: <http://www.cucicucicoo.com/wp-content/uploads/2016/03/Fabric-drape-7.jpg>

Las fibras finas tienen, asimismo, una mayor superficie específica que las fibras gruesas y en consecuencia una mayor superficie accesible por líquidos, en consecuencia una fibra fina absorberá más líquido que una gruesa. Esta propiedad es de especial interés para la obtención de materiales absorbentes (pañales, compresas sanitarias, bayetas y mopas, etc.), y afecta también a la cinética de aquellos procesos en que se utiliza el agua como medio de transporte para la aplicación de otros productos

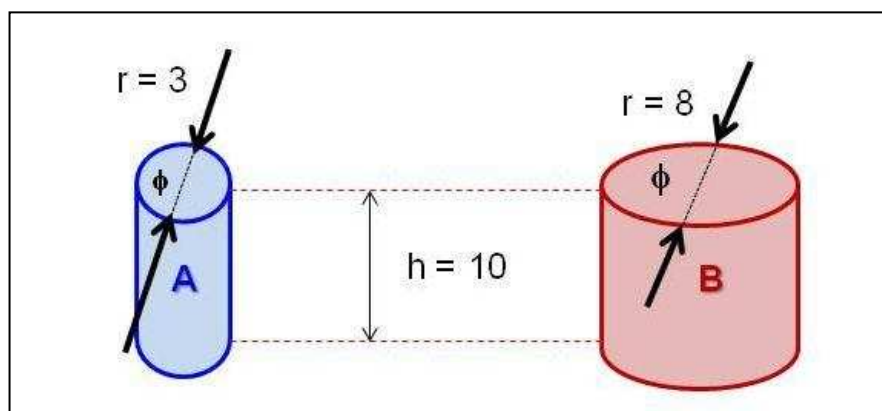


Figura 110 . Datos para calcular la superficie específica de dos fibras iguales pero de distinta finura.

Calculemos la superficie específica de dos fibras del mismo polímero pero de distinta finura. La fibra A tiene un radio de 3 mm y una fibra B de 8 mm (ver figura 110).

$$\text{Superficie específica} = \frac{\text{Área}}{\text{Volumen}}$$

$$\text{Área de la fibra A} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 3 \cdot 10 = 188,4$$

$$\text{Volúmen de la fibra A} = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \cdot 3^2 \cdot 10 = 282,6$$

$$\text{Superficie específica de la fibra A} = \frac{188,4}{282,6} = 0,66$$

$$\text{Área de la fibra B} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 8 \cdot 10 = 502,4$$

$$\text{Volúmen de la fibra B} = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \cdot 8^2 \cdot 10 = 2.009,6$$

$$\text{Superficie específica de la fibra B} = \frac{502,4}{2.009,6} = 0,25$$

la superficie específica de la fibra A es > a la de la fibra B



Figura 111. Bayetas o paños absorbentes realizados con microfibras para mejorar su capacidad de absorción de líquidos.

Fuente: <http://www.vileda.com/cl/pa-o-piso-x-1-con-microfibra-vileda-7663.html>

La finura de las fibras afecta también a la reflexión a la luz. Si un hilado está formado por fibras finas, tendrá un mayor número de fibras por sección y por lo tanto una mayor número de superficie de reflexión.

Finalmente la finura de las fibras afecta a su valoración comercial y por tanto a su precio final, por lo tanto la determinación precisa de la finura de las fibras textiles tiene una gran importancia tanto técnica como económica.

Las fibras químicas, a diferencia de las naturales, tienen una forma de la sección transversal, y por lo tanto su finura, muy regular.

La finura de las fibras de poliéster algodónero oscila entre 1,3 y 3 dtex, con longitudes entre 38 y 60 mm. El poliéster lanero, en cambio tiene unas finuras comprendidas entre 3,3 y 6,7 dtex y unas longitudes de corte de 60 a 150 mm. El poliéster destinado a rellenos tiene una finura comprendida entre 6,7 y 12 dtex y

una longitud de corte de 60 mm. La gama de títulos de los multifilamentos de poliéster oscila entre 33 y 275 dtex y el número de filamentos por sección de 18 a 50, siendo los títulos de los filamentos individuales de 1,7 a 5,5 dtex.

La finura de las fibras acrílicas oscila entre 1,3 y 18 dtex, con longitudes de corte de 28 a 180 mm. La fibra acrílica para relleno utiliza finuras comprendidas entre 3,3 y 6,7 dtex y longitudes de corte de 40 a 100 mm.

Desde hace ya algunos años se observa una tendencia a producir fibras químicas muy finas con el fin de parecerse a la finura de la seda. Esto ha dado lugar a una cierta confusión por su denominación como “microfibras” puesto que no existe un acuerdo definitivo sobre los límites de finura a partir de los cuales pueden denominarse como tales a estas fibras. La definición de fibra ultrafina, por ejemplo, varía según sea la convención empleada. El Comité Textil, Alemán, define como microfibra a aquella más fina que 1,2 dtex para poliéster y más fina que 1,0 dtex para poliamida. A nivel comercial las fibras de 1 denier (1,11 dtex) se denominan como ultrafinas. Sin embargo la denominación de fibras ultrafinas debería reservarse para aquellas cuya finura es inferior 0,5 den (0,55 dtex). Las fibras de finura inferior a 0,1 den (0,111 dtex) se denominan comercialmente como “superultrafinas”.

1.5.1.2.1 Determinación de la finura

Para la determinación de la finura de las fibras, se utilizan diferentes tipos de equipos de medida que utilizan varios principios. Cada uno de ellos está diseñado para medir un determinado tipo de fibra y tanto su eficacia, fiabilidad, rapidez y coste de los ensayos son distintos.

- Análisis de imagen
- Sistemas fotoeléctricos
- Sistemas permeamétricos
- Sistemas gravimétricos
- Sistemas vibroscópicos
- Sistemas de ondas sonoras

1.5.1.2.1.1 Sistemas basados en el análisis de imágenes

Existen varios sistemas para determinar la finura de las fibras mediante las técnicas de análisis de imagen. En la tabla X se muestran las distintas variantes.

| Principio | Nombre del equipo | Fibra que mide |
|---|--------------------|--|
| Microscopio óptico de proyección | Lanámetro | Lana y pelos |
| Microscopio óptico digitalización imagen | Microscopio óptico | Lana, pelos y fibras de sección circular |
| Imágenes digitales obtenidas con un microscopio óptico específico | OFDA + Cottonscope | Lana y pelos |
| Láser | Lasercan-Siro | Lana y pelos |

Tabla 15. Métodos de determinación de la finura de fibras basados en el análisis de imagen.

1.5.1.2.1.1 Lanámetro o microscopio de proyección

Se trata de un microscopio óptico ligeramente modificado puesto que no existe ocular por donde se observa la fibra sino que en su substitución, la imagen se proyecta sobre una pantalla circular que permite determinar el ancho de la fibra mediante la ayuda de una regla que está sujeta a la pantalla de proyección. El fundamento del ensayo consiste en proyectar en una pantalla de cristal, la imagen del perfil de pequeños trozos de fibras y anotar el ancho. El equipo está diseñado para la medida de la finura de fibras de lana y pelos animales.



Figura 112. Lanámetro o microscopio de proyección

Para realizar las medidas del ancho de la fibra, debe escogerse varias muestras de fibra del lote y homogeneizarlas. A continuación se extraen hasta 40 probetas distintas de fibras y de cada una de ellas se extraen 25 fibras (es decir un total de 1.000 fibras) que volverán a homogeneizarse. Estas 1.000 fibras son lavadas para eliminar su grasa (mediante extracción con benceno u otro disolvente). Una vez acondicionadas en una atmósfera estándar, se procede a realizar un corte de 0,5 a 1,0 mm de longitud con un micrótopo adecuado. Las fibras se colocan en un portaobjetos utilizando un líquido de montaje especial (que no hincha las fibras ni altera el índice de refracción) y se procede a su observación con el microscopio. La longitud del corte ha de ser muy pequeño, de forma que su longitud sea inferior al ancho de la pantalla de proyección. Debe seguirse una estrategia de rastreo de la preparación para evitar medir la misma fibra varias veces (ver figura 113). Es necesario medir al menos 500 fibras por lo que el ensayo es muy lento y requiere el concurso de dos personas. Este equipo se utiliza para determinar la finura (en micras) de lana y/o pelos. El equipo no es muy caro pero el ensayo es muy lento (lectura de 200 fibras por hora).

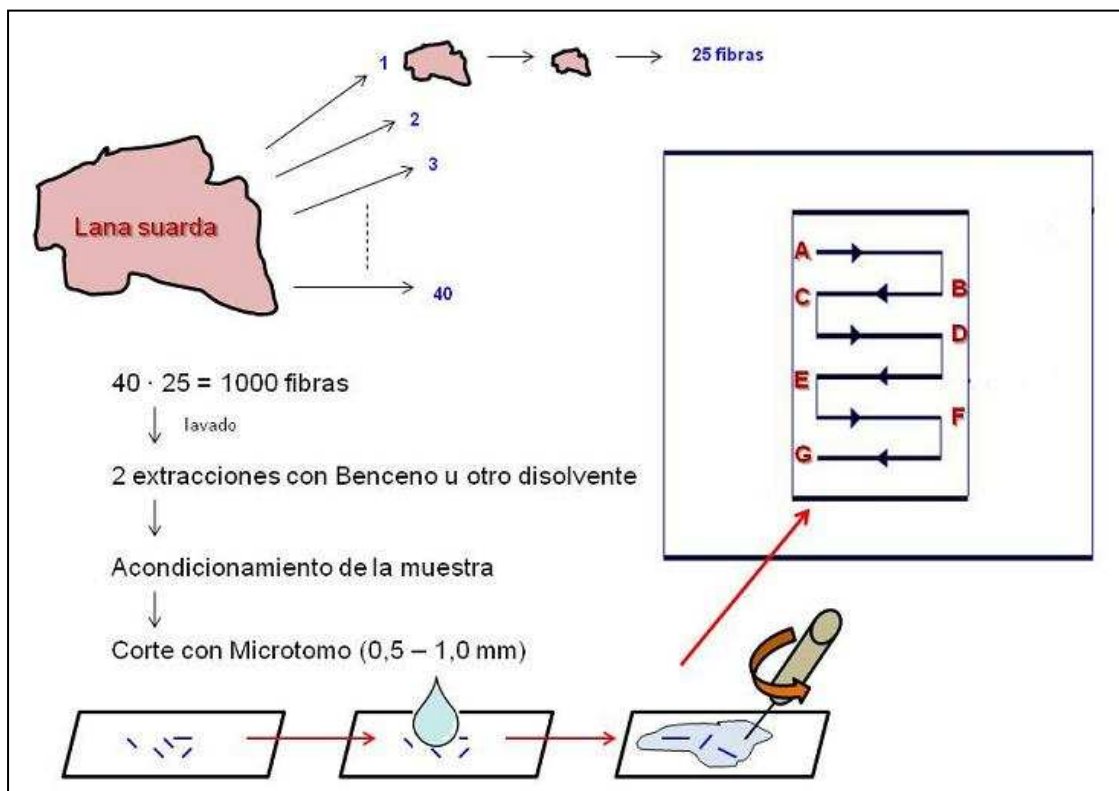


Figura 113. Procedimiento de preparación de las probetas para el Lanómetro.

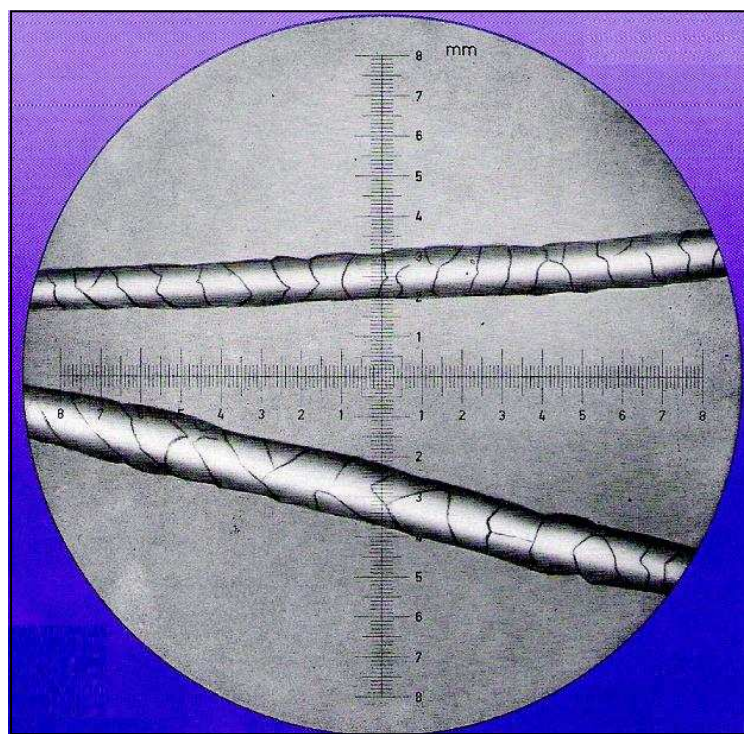


Figura 114. Imagen de la fibra de lana proyectada en la pantalla del Lanómetro. Fuente: Projectina

1.5.1.2.1.2 Microscopio óptico con digitalización de imágenes

Una variante moderna del lanómetro consiste en un microscopio óptico convencional que lleva incorporado en el ocular una cámara digital que proyecta las imágenes en una pantalla de ordenador. Cuando la imagen de la fibra está digitalizada, un software de análisis de imagen permite determinar el ancho de la fibra a partir de los píxeles de la imagen.



Figura 115. Microscopio óptico con sistema de digitalización de imágenes.

Fuente: https://www.youtube.com/watch?v=IK7VjMUEH_0

Véase a continuación unos videos sobre la preparación de la probeta con micrótopo y funcionamiento de este tipo de microscopio óptico:

<https://www.youtube.com/watch?v=HYFbUhgDqKk>

https://www.youtube.com/watch?v=IHur73a_O8U

1.5.1.2.1.3 Sistema OFDA (*Optical-based Fibre Diameter Analyser*)

Microscopio óptico, conceptualmente similar al lanómetro, que dispone de una plataforma móvil de portaobjetos motorizada para realizar un escaneado de la preparación de las fibras. Digitaliza las imágenes y determina el ancho de la fibra a partir de los píxeles de las imágenes obtenidas. Se trata de un ensayo rápido y sencillo capaz a de medir hasta 20.000 fibras en un minuto. Equipo adecuado para medir la finura de Lana y Pelos, si bien podría ser aplicable a otras fibras químicas de sección circular. Es el único sistema de determinación de la finura de la lana basado en análisis de imagen homologado por el International Wool Textile Organisation (IWTO).

Existen diversos modelos de un mismo concepto de equipo, que varían en función de su grado de automatización, portabilidad, etc. Véanse los distintos modelos en:

OFDA 100: http://www.ofda.com/Natural_fibres/Ofda100.html

OFDA 2000: http://www.ofda.com/Natural_fibres/Ofda2000.html
<https://www.youtube.com/watch?v=2AOGel5dinI&t=103s>
<https://www.youtube.com/watch?v=fJVS6kfGw0A>

OFDA 4000: http://www.ofda.com/Natural_fibres/Ofda4000.html
<https://www.youtube.com/watch?v=PIGMSani0Fk&t=8s>

OFDA 5000 (Fibras de vidrio, cerámica y microfibras):
http://www.hornik.cc/ofda_5000.php
<https://www.youtube.com/watch?v=7Yqne2yX6YA&t=2s>



Figura 116. Imágenes del equipo quipo OFDA 100.
Fuentes: http://www.hornik.cc/products/ofda100_package.jpg
<http://www.hornik.cc/products/5000.jpg>

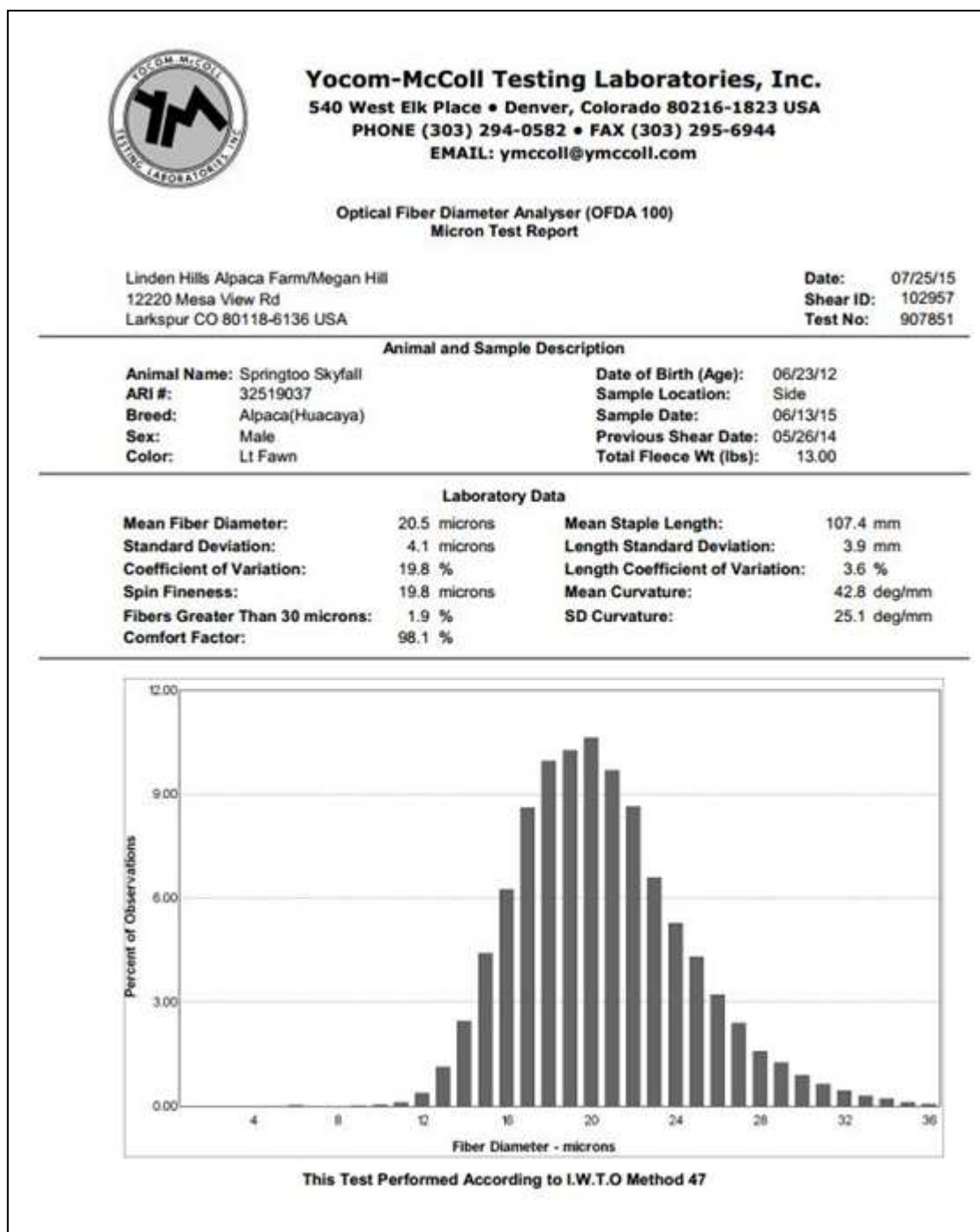


Figura 117. Resultados de un análisis de la finura y longitud de una muestra de fibra de Alpaca con el equipo OFDA 100.

Fuente: http://www.openherd.com/userPhotos/HistCerts/2015_635735498731681891.jpg

1.5.1.2.1.2 Sistemas Láser (Sirolan Lasercan)

Equipo de medida de la finura de la Lana y pelos, basado en tecnología Láser. Para la realización del ensayo, se cortan pequeños trozos de fibra y se introducen en circuito con isopropanol. Cuando el fluido (con las fibras en

suspensión) alcanza un régimen laminar, un rayo láser lo intercepta, generando una señal eléctrica proporcional a la cantidad de luz incidente sobre ella. En definitiva, cuando un fragmento de fibra pasa a través del haz, la señal eléctrica generada sufre una reducción de intensidad que es directamente proporcional al área proyectada y, por lo tanto, a su diámetro. La calibración del equipo se hace mediante un microscopio de proyección. El ensayo es muy eficaz y rápido, estando regulado por la International Wool Textile Organisation Test Methods (IWTO-12-00).

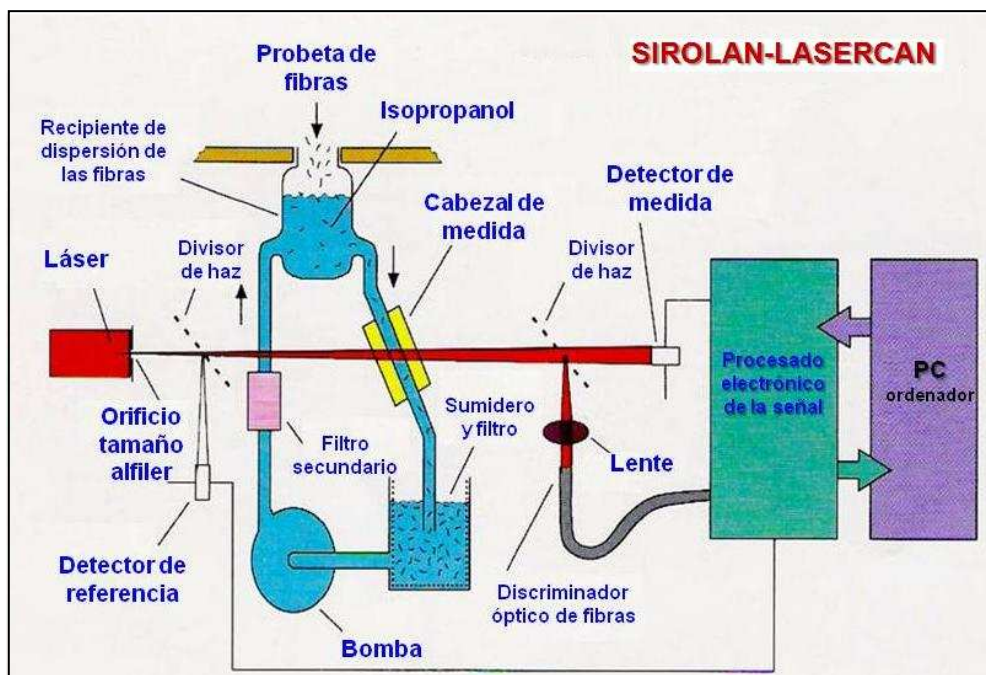


Figura 118. Esquema de funcionamiento del equip Sirolan-Lasercan



Figura 119. Equipo Sirolan Lasercan.

Izquierda: Fuente: <http://www.itecinnovation.com/productDetails.php?id=52>
 Derecha: <https://csiropedia.csiro.au/wp-content/uploads/2015/01/6226133.jpg>

| Instrumento | 20 micras | 25 micras |
|-----------------|---------------|---------------|
| Lanámetro | ± 0,60 | ± 1,40 |
| Airflow * | ± 0,41 | ± 0,55 |
| OFDA | ± 0,30 | ± 0,66 |
| Lasercan | ± 0,25 | ± 0,64 |

Tabla 16. Precisión de la medida del diámetro a un nivel de confianza del 95 %
 *: basado en fibras < 26 micras y > de 26 micras respectivamente

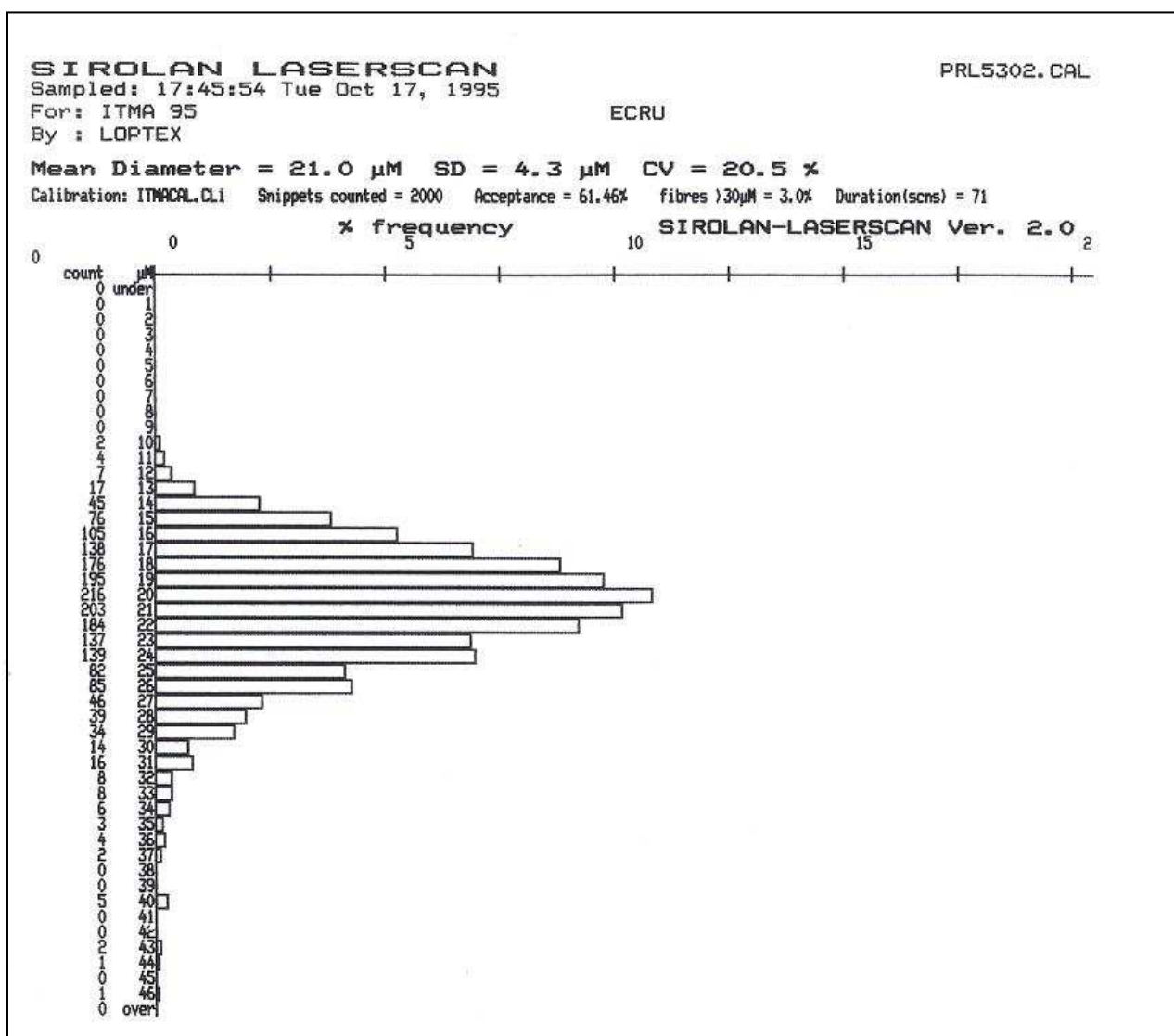


Figura 120. Report del ensayo de la finura de lana con el equipo Sirolan Lasercan.

Ver: Standard Test Method for Diameter of Wool and Other Animal Fibers By Sirolan-Laserscan Fiber Diameter Analyser.

<ftp://185.72.26.245/Astm/1/Section%2007/ASTM0702/PDF/D6466.pdf>

Ver catálogo Lasercan Technology:

<http://www.awtawooltesting.com.au/index.php/en/resources/brochures-and-handbooks>

Ver video del ensayo: <https://www.youtube.com/watch?v=KXdMlcks99s&t=74s>

1.5.1.2.1.3 Sistema Cottonscope

CottonscopeCS. Desarrollado por CSIRO Australia, utiliza la tecnología de los equipos OFDA y un algoritmo específico para medir la madurez del algodón. CS es un sistema óptico que utiliza dos lámparas LED de color y una cámara de color específica que permite la medición precisa de la birrefringencia de las fibras individuales.

Este equipo determina la densidad lineal media de la fibra directamente midiendo la longitud total de una masa conocida de los fragmentos de fibra para calcular la masa por unidad de longitud. Los fragmentos de fibra preparados y pesados previamente se suspenden en un medio acuoso dentro del instrumento antes de entrar en la célula de medición. Los fragmentos suspendidos se bombean a través del cabezal de medición donde se forman imágenes y se utiliza el análisis de imagen para determinar la longitud total del fragmento dentro de la imagen. La densidad lineal media de fibras, H , de una muestra se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$H = M \cdot \frac{v/V}{l}$$

Donde M es la masa total de los fragmentos de fibra analizados, V el volumen total de la suspensión y l es la longitud medida de fragmentos de fibra en el volumen sub-muestreado, v . En el instrumento, V es aproximadamente 4.000 ml y v es aproximadamente 1,5 ml. Durante una medición se analizan varios centenares de imágenes individuales y el valor medio de l es el de la ecuación anterior.

El modelo CottonscopeHD (CSHD) evolucionó de CottonscopeCS, pero tiene una cámara monocromática, un solo color LED y mide el diámetro a una resolución más alta. CottonscopeHD (CSHD) es un sistema automático y rápido de análisis de imágenes capaz de medir fragmentos de fibras cuyo diámetro oscila entre 0,5 y 50 μm . Mide hasta 20.000 fibras por minuto suministrando el diámetro medio y su distribución, curvatura media y su distribución de curvatura, así como la distribución de longitudes de fibras inferiores a 0,7mm. Puede medir algodón, lana y pelos así como fibras químicas de polímero sintético, fibras de vidrio y cerámica.

En la Figura 121 se muestra una ilustración del esquema de la función CottonscopeHD. Las fibras se cortan, a una longitud de 0,7 mm, medida óptima para la dispersión y el análisis de las fibras, mediante un dispositivo de guillotina. Las fibras que no son perpendiculares al hueco serán más largas que 0,7mm, pero esto no causa ningún sesgo en la medición del diámetro. Las fibras se introducen en un recipiente de agua destilada o filtrada (3) donde se emplea un agitador magnético para dispersar las fibras. Algunas fibras pueden requerir un tiempo de agitación más largo o el uso de un tensoactivo (5 ml) para mejorar la dispersión. En el caso de muestras que presentan dificultades de dispersión,

pueden realizarse la operación en otro recipiente y luego verterlas en el recipiente de medición. Las fibras pasan a través de un hueco (4) entre un prisma de ángulo recto y una ventana de vidrio, donde las imágenes son capturadas por una cámara digital (7) que utiliza luz procedente de una fuente de LED estroboscópica (5). Las imágenes obtenidas, se capturan usando un sistema óptico diseñado específicamente (6) para obtener una elevada profundidad de campo que un microscopio estándar no proporciona. Después de haber medido un número predeterminado de fibras, el agua que contiene las fibras drena automáticamente al depósito (1) a través del filtro extraíble (4) y se bombea agua limpia (2) al recipiente (3), de forma que queda listo para el siguiente ciclo de medición.

La cámara captura 50 imágenes por segundo y cada imagen se analiza en tiempo real. Se detecta cada fibra y se calcula un diámetro medio a partir de múltiples puntos a lo largo de su longitud. Mide también la curvatura y longitud de fibra. La información se muestra en tiempo real en la pantalla del ordenador y se guarda en el disco duro. El algoritmo específico que analiza los sub-píxeles de las imágenes, que fue desarrollado en 1990 por Mark Brim, permite obtener las mediciones del diámetro utilizando una amplia gama de focos y niveles de luz. Dicho algoritmo también se utiliza en los instrumentos OFDA. Se han comparado las medidas del diámetro de una misma fibra de Poliéster por el equipo OFDA5000 y el CottonscopeHD obteniendo una correlación excelente ($R^2 = 0.9969$).

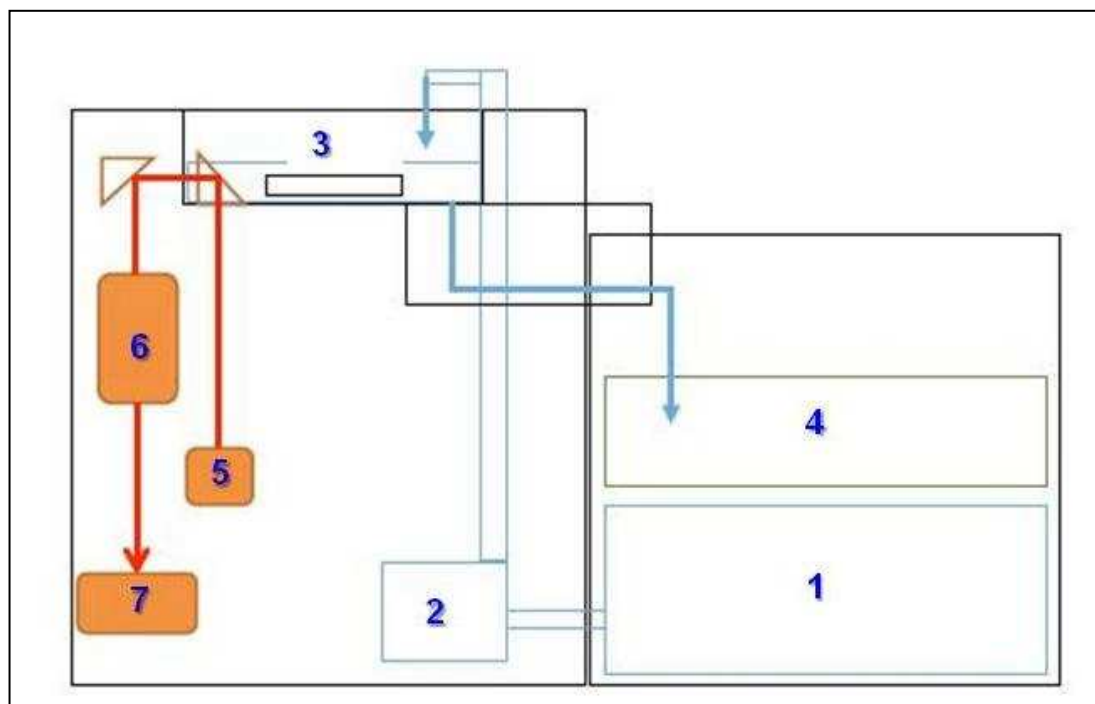


Figura 121. Esquema del equipo CottonscopeHD

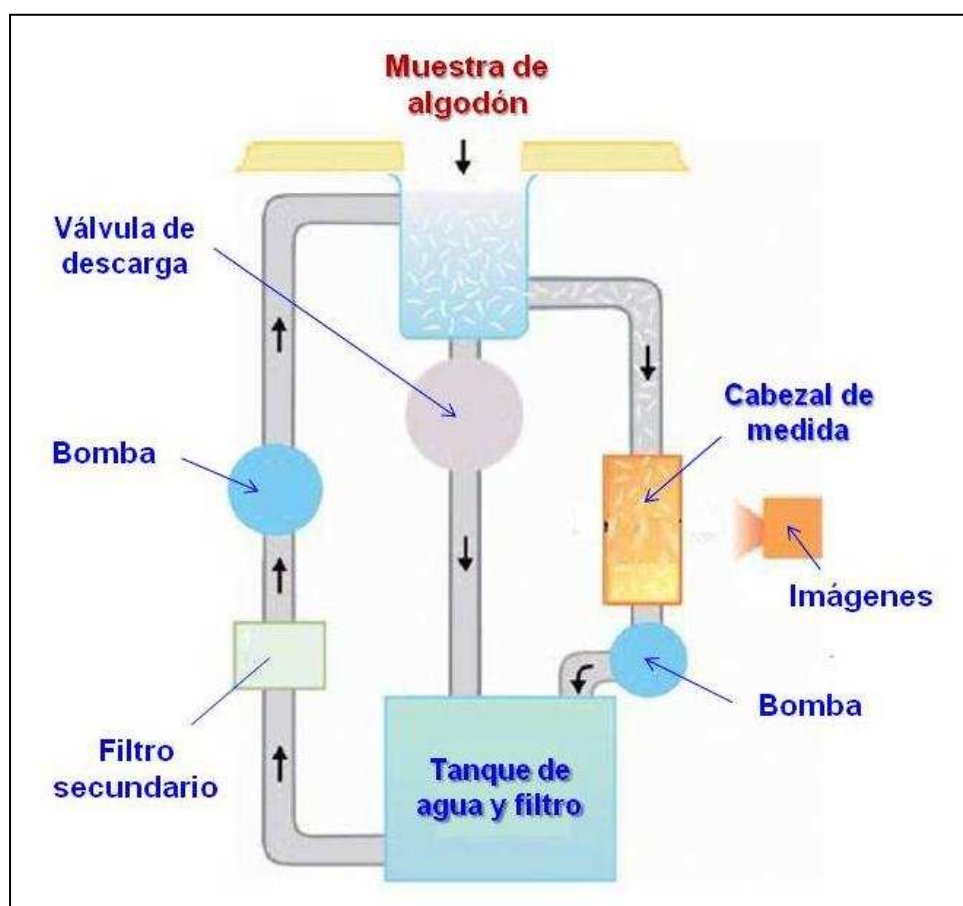


Figura 122. Esquema de funcionamiento del equipo Cottonscan

La curvatura de fibra es la medida del grado flexión en grados por mm. Los valores medios oscilan entre 1 grado / mm y 100 grados / mm. La curvatura de la fibra está relacionada con su voluminosidad, recuperación de la compresión y por lo tanto con su capacidad de aislamiento.

La medida de la curvatura de la fibra se hace sobre una porción de 200 μm de fragmento de fibra y se expresa en grados $^{\circ}$ / mm. Una fibra recta tendrá una curvatura de 0 $^{\circ}$ / mm. En la figura 124, la porción de fibra tiene 1 mm de longitud y el ángulo A está en $^{\circ}$, por lo que la curvatura es A $^{\circ}$ / mm. La curvatura se mide a una resolución de 1 $^{\circ}$ / mm. La curvatura media y la desviación estándar de la curvatura se calculan a 0,1 $^{\circ}$ / mm. Tanto la OFDA como la CSHD miden la curvatura de esta manera, pero debido a la diferente presentación de la fibra, las medidas de la curvatura serán diferentes. La medición de la curvatura depende en gran medida de la preparación de la muestra

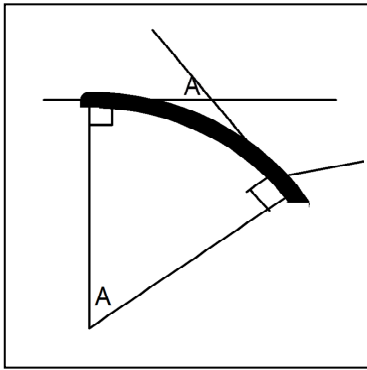


Figura 123. Medida del ángulo curvatura de la fibra

Tradicionalmente, el volumen de la lana se ha medido mediante el bulkometer (Figura 125), que consiste en un cilindro metálico en el interior del cual se coloca un peso conocido de lana. Dicho cilindro está cubierto por un pistón. La altura que alcanza el pistón indica la resistencia a la compresión de la lana y en definitiva, su voluminosidad.



Figura 124. Equipo Bulkometer

La voluminosidad de la fibra de la lana puede predecirse mediante la siguiente fórmula basada en mediciones OFDA.

$$Volumen = A + B \cdot MFD \cdot CURV$$

$$MFD = \text{diámetro medio en } \mu\text{m}$$

$$CURV = \text{Curvatura media en } (^\circ/\text{mm})$$



Figura 125. Aspecto del equipo Cottonscope.

Fuente: <https://www.cottonscope.com/untitled-c1739>

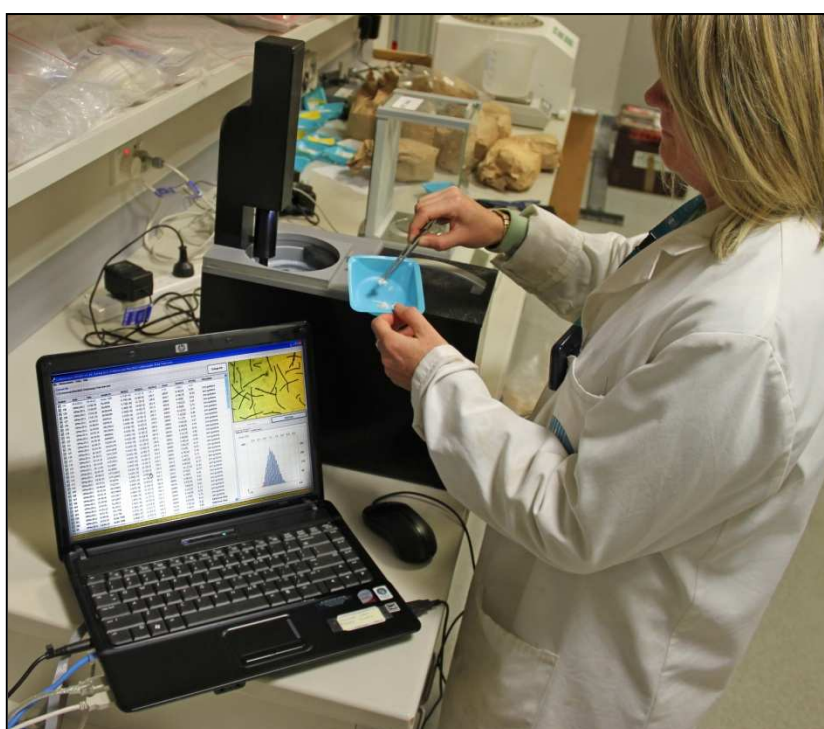


Figura 126. Realización del ensayo con el equipo Cottonscope

Fuente: <http://www.scienceimage.csiro.au/mediarelease/images/mr11-Eureka/cottonscope.jpg>

Ver video del ensayo en : <https://www.youtube.com/watch?v=8OYEkpUCvXo>

1.5.1.2.1.5 Sistemas permeamétricos

Consisten en determinar la permeabilidad al aire de una masa porosa de fibras. Cuando más gruesas son las fibras, la permeabilidad al aire de una masa constante de fibras comprimidas a un volumen constante es mayor puesto que el paso del aire a través de la probeta de fibras es proporcional a su área específica y por tanto a su finura.

Para realizar el ensayo, se coloca la probeta de fibras formada por una masa conocida y precisa de fibras (convenientemente abiertas y desapelmazadas uniformemente) en el interior de un recipiente tubular cuya base presenta una serie de agujeros para permitir el paso del aire. Esta masa conocida de fibras se comprime hasta ocupar un volumen conocido y constante mediante un tapón-rosca que también presenta una serie de agujeros. Una vez colocada la probeta y mediante un pequeño compresor, se provoca la aspiración del aire del laboratorio para que atraviese la probeta tal como se muestra en la figura siguiente. Se ajusta la presión mediante un regulador con el fin que en todos los ensayos se produzca la misma depresión. El aire atraviesa la probeta y en función de la finura de las fibras se generará un caudal de aire de salida distinto que provocará que el flotámetro del medidor de flujo de aire y en definitiva de la finura de la fibra, mostrado en la figura 130 alcance un nivel determinado.

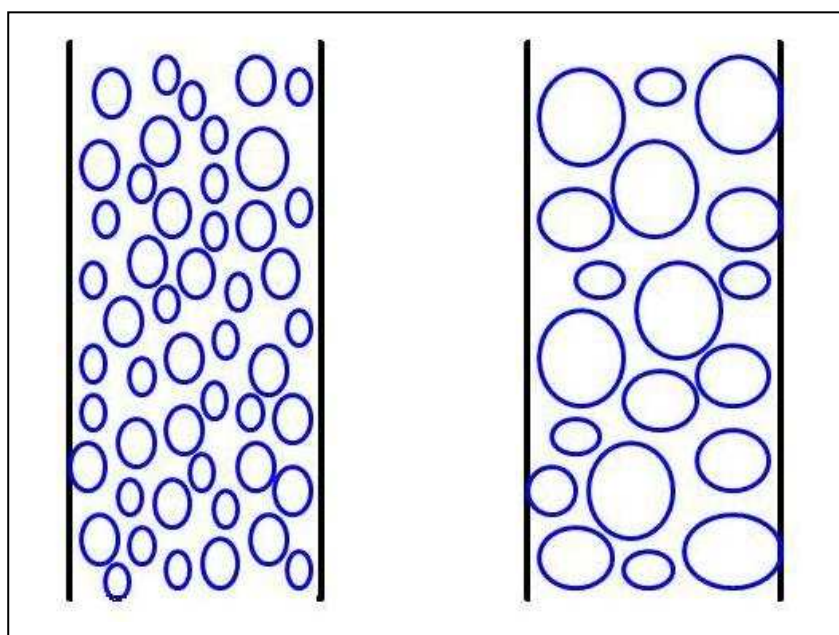


Figura 128. La permeabilidad al aire de una masa constante y porosa de fibras, comprimida a un volumen constante, es mayor en fibras gruesas (derecha) que en finas (izquierda).

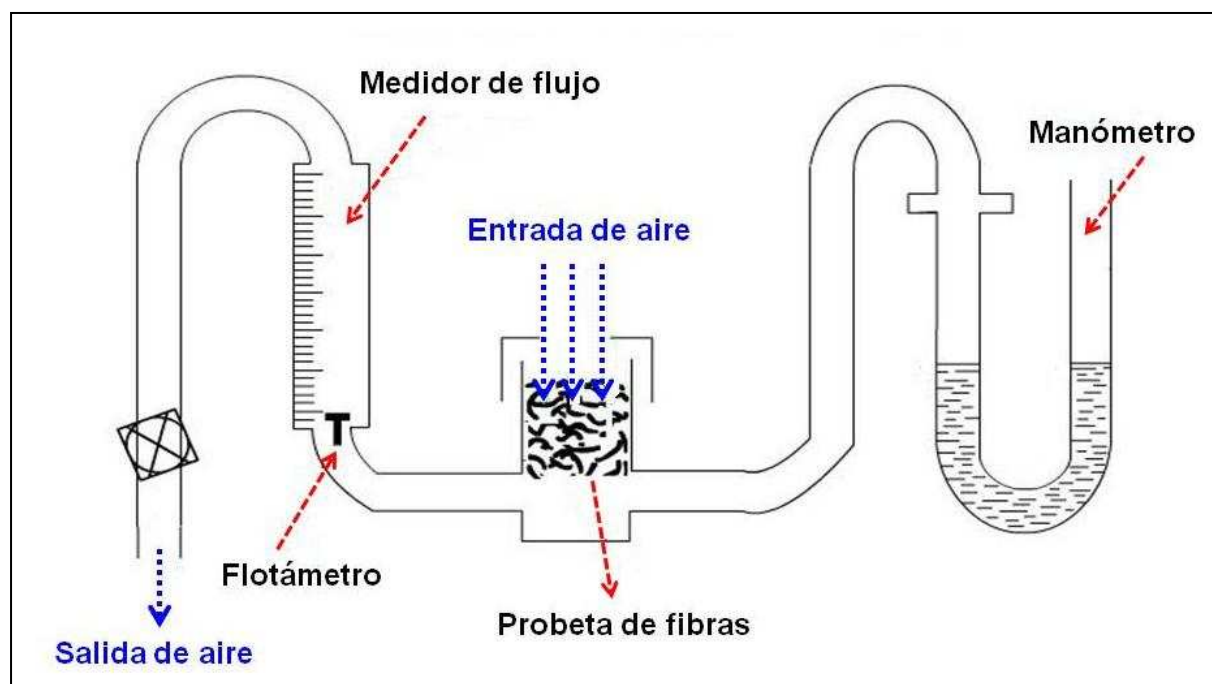


Figura 129. Esquema de un sistema de medida de la permeabilidad de las fibras.
Fuente. Adaptado de <http://nptel.ac.in/courses/116102029/16>

El equipo para determinar la finura de lana y pelos se llama Air-Flow mientras que el utilizado para la determinación de la finura del algodón se denomina Micronaire.



Fig 130. Izquierda. equipo Micronaire. Derecha equipo Air Flow..
Fuente equipo Micronaire: <http://www.textileinstruments.net/okit88/UploadFiles/Micronaire-Tester.jpg>

La figura 132, muestra la forma típica de la sección transversal de la fibra de algodón en la que destacan, el perímetro de la fibra (P), el área de la pared celular (Ac) y el área del lumen (AL).

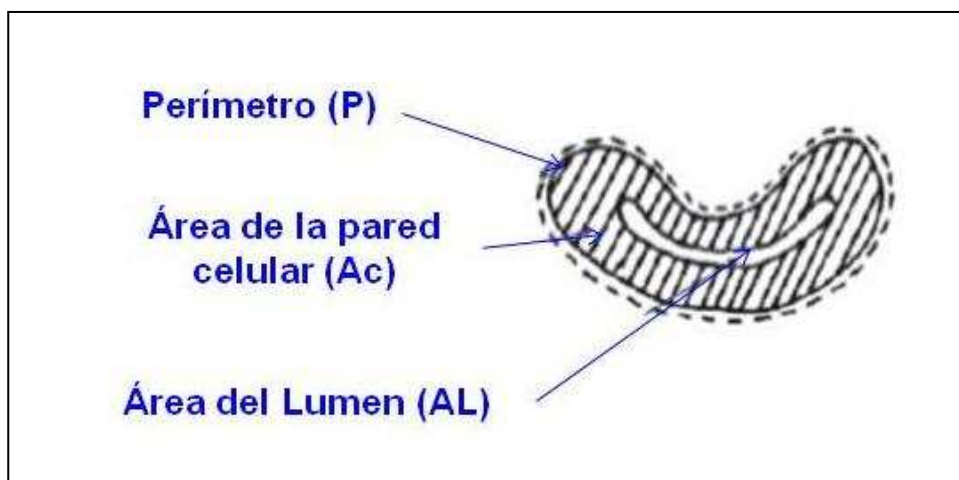


Figura 131. Esquema de la sección transversal de la fibra de algodón

Tal como demostraron Pierce y Lord en 1939, el grado de engradecimiento de la pared (θ) se define como la relación existente entre el área de la pared celular (Ac) con la de un círculo que tiene el mismo perímetro que la sección transversal de la fibra, es decir,

$$\theta = \frac{4\pi Ac}{P^2}$$

La madurez de la fibra se define asimismo como:

$$M = \frac{\theta}{0,577} = \frac{4\pi Ac}{0,577 \cdot P^2}$$

Por definición, la densidad lineal de fibras o título (H) es la masa por unidad de longitud. Otra cantidad relacionada es el valor de Micronaire, que se obtiene experimentalmente mediante el ensayo de la permeabilidad al aire de una masa constante y porosa de fibras de algodón que ocupan un volumen constante. Lord demostró que el valor del índice Micronaire (Mic) es una función del producto tanto de la densidad lineal de fibra (H) como de la madurez de la fibra (M), siendo la relación empírica:

$$H \cdot M = 3,86 \cdot Mic^2 + 18,16 \cdot Mic + 13$$

El ensayo permeamétrico Micronaire se fundamenta en la teoría del flujo de fluidos a través de agregados de partículas que sigue la ley de Poiseuille. Aplicando esta ley al caso particular del flujo laminar de aire a través de un tapón poroso, Kozeny estableció la siguiente ecuación que puede aplicarse a las fibras textiles:

$$So^2 = \frac{1}{K} \cdot \frac{A\Delta P}{\mu L Q} \cdot \frac{\epsilon^3}{(1 - \epsilon)^2}$$

siendo:

So = Superficie específica de las partículas en cm^2/cm^3

A = Área de la sección recta del espécimen en cm^2

ΔP = Diferencia de presión entre los extremos del espécimen en g/cm^2

μ = Viscosidad del aire a 75 °F y 75% HR en 10^{-6} poises

L = longitud del espécimen en cm

K = Constante que depende del tamaño y disposición de las fibras = Ko/\aleph donde Ko = factor de forma de la sección del canal del flujo y \aleph = factor constante para cada alineación de fibras.

ϵ = porosidad o proporción del espacio ocupado por el material o sea:

$$\frac{\text{Volumen del recipiente} - \text{Volumen del algodón}}{\text{Volumen del recipiente}}$$

Con otros factores constante esta ecuación indica que la relación del flujo es proporcional a $1/So^2$. Los diferentes instrumentos de corriente de aire miden la superficie específica de la fibra So midiendo la relación de flujo de aire Q (o por diferencia de presión).

Originariamente se consideró que la permeabilidad al aire de un espécimen estaba determinado por su densidad lineal. Esta aproximación dio lugar al desarrollo de la escala Micronaire. Sin embargo esta interpretación se reformuló cuando se tuvo una comprensión más completa de los principios básicos del comportamiento de la corriente de aire.

Sin embargo el uso del ensayo Micronaire se ha generalizado tanto que se conservó la primera escala curvilínea. Los números marcados en la escala son ahora necesariamente considerados como formado una escala arbitraria de permeabilidad del aire asociada solamente con este tipo de ensayo dando lugar simplemente a lecturas Micronaire.

Actualmente el Índice Micronaire es una función de la madurez de la fibra (M) y de la densidad lineal o título de la fibra (H), con el resultado de que la densidad lineal de la fibra ($mtex$) para un Micronaire particular, dependerá de la madurez de la fibra, siguiendo la siguiente ecuación que ya se ha citado anteriormente:

$$H \cdot M = M^2 H_s = 3,86 \cdot Mic^2 + 18,16 \cdot Mic + 13$$

donde:

H_s = es la finura (título) estándar de la fibra o densidad lineal que es la finura que la fibra tendría a la madurez típica de uno.

Mic = es el índice Micronaire según se mide en un medidor de corriente de aire estándar.

El peso estándar de fibra por cm o finura estándar H_s se calcula por la simple relación $H_s = H/M$.

Otros cálculos han demostrado que el perímetro se puede estimar con el valor H_s : **Perímetro** = $3,8 \cdot \sqrt{H_s}$

El producto MH puede ser escrito como $M^2 H_s$ (**porque** $H_s = H/M$) para separar definitivamente la madurez de la fibra y la finura intrínseca de la fibra.

Esta aproximación permite que se haga una interpretación más crítica de los valores del índice Micronaire. El resultado Micronaire dependerá, según su variación sea debida a cambios en la finura intrínseca del algodón o a cambios en la madurez de la fibra.

Si la densidad lineal (título) estándar de la fibra permanece constante, la lectura del índice Micronaire se incrementará con el aumento de la madurez de la fibra.

Los ensayos realizados con equipos permeamétricos son relativamente rápidos (habitualmente se analizan 4 probetas distintas y cada probeta se analiza a su vez cuatro veces), el equipo no es muy caro, sin embargo nos suministra la finura media de las fibras y no su variabilidad.

Mientras que en la lana y pelos la finura que suministra el equipo Air-flow es en micras, en el caso del algodón el equipo Micronaire muestra los resultados de finura en el llamado "Índice Micronaire" que como se ha visto anteriormente es un indicador tanto de la finura de la fibra (en microgramos por pulgada) como de su madurez.

Véase el video del ensayo Micronaire del algodón en:

<https://www.youtube.com/watch?v=8UrMFdFsLic>

1.5.1.2.1.6 Sistemas gravimétricos

El principio de este sistema de medición, se basa en cortar las fibras a una longitud determinada y a continuación se procede a pesar un determinado número de ellas. Con esta información sobre lo que pesa una determinada longitud de fibra se puede calcular fácilmente el título en dtex. No permite, sin embargo, determinar el CV% de la finura. Utilizado fundamentalmente en fibras químicas. Para la realización del ensayo se coge una cierta cantidad de fibras, se pinza por los extremos y se le aplica una pretensión suficiente para eliminar su rizado sin deformar mecánicamente la fibra. Una vez la fibra están tensas, se

corta mediante unas guillotinas que están separadas entre sí una distancia conocida de forma que todas la fibras tendrán la misma longitud. A continuación se cuenta una cierta cantidad de fibras (un centenar aproximadamente) según indique la norma aplicable y a continuación se procede a determinar su peso mediante una balanza de precisión. Sabiendo la longitud de la fibra cortada por las guillotinas y la cantidad de fibras que se han pesado se puede obtener el peso por unidad de longitud de la fibra y por lo tanto su título en dtex.

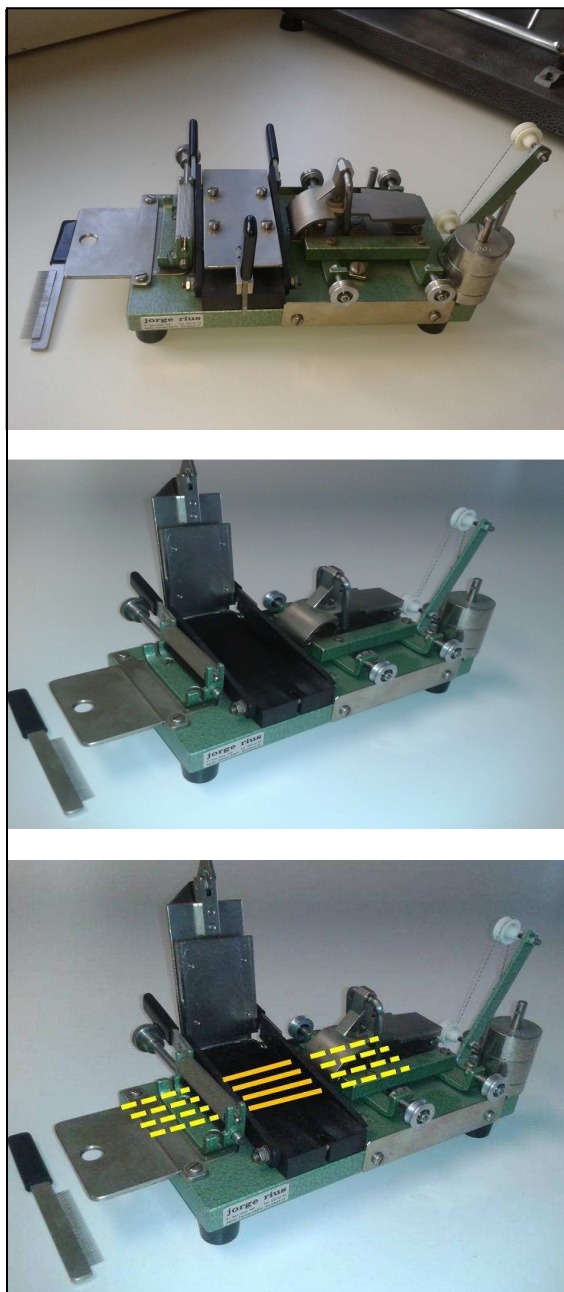


Figura 132. Equipo utilizado para la determinación gravimétrica de la finura de fibras químicas.

1.5.1.2.1.7 Sistemas Vibroscópicos

Se basa en el principio de la proporcionalidad existente entre la finura de las fibras y su frecuencia de resonancia de vibración. Analiza individualmente las fibras. Es, con diferencia, el método más utilizado para determinar la finura de las fibras químicas.

El Vibroscopio determina automáticamente la densidad lineal (título) de fibras individuales utilizando el método de vibración de las normas ASTM D 1577, 312.05.2 DIN ISO EN 1973. Con este método de ensayo, la frecuencia de resonancia de la muestra se mide a una longitud de probeta constante ya una pretensión también conocida. Los datos obtenidos con este ensayo, se utilizan entonces para calcular la densidad lineal de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$dtex = \frac{Fv}{4 \cdot f^2 \cdot L^2}$$

donde:

Fv = Pretensión (mg)

f = Frecuencia de resonancia (Hz)

L = Longitud de la probeta (mm)

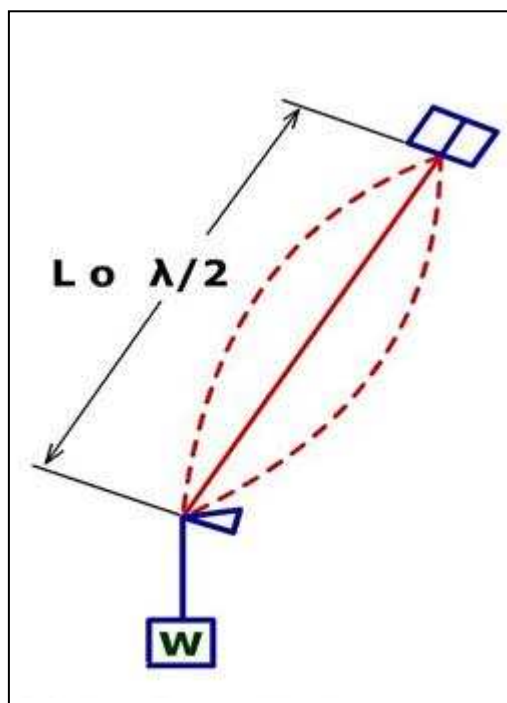


Figura 133. Principio de ensayo del Vibroscopio

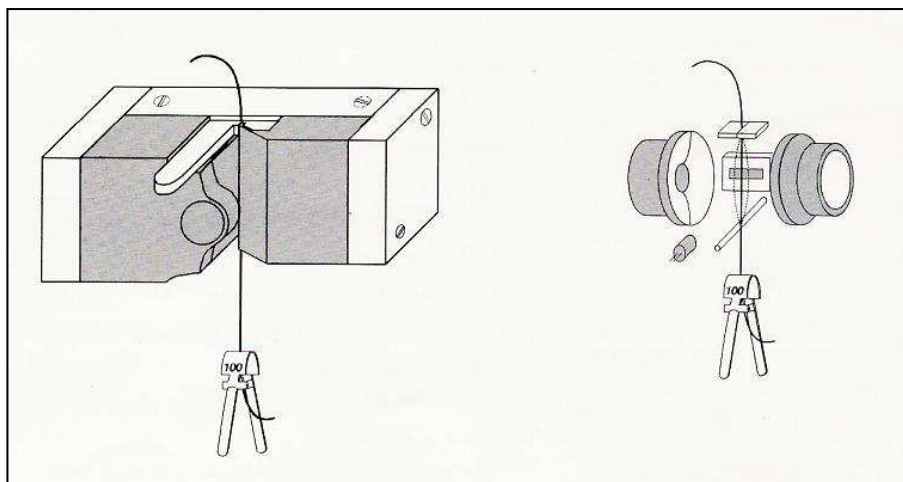


Figura 134. Cabezal de medición del VIBROMAT ME.
Fuente: Catálogo Textechno



Figura 135. Equipo Vibromat de Textechno.
Fuente: <http://www.allstatestextiles.com/images/machphotos/Lab%20Equip/11858.JPG>

Véase los catálogos de los equipos:

- FAVIMAT + de Textechno en:

<https://www.textechno.com/wp-content/uploads/2015/11/FAVIMAT-FAVIGRAPH.pdf>

- VIBROSKOP 500 Lenzing Instruments:

<http://www.lenzing-instruments.com/produkt.infos/vibroskop500.pdf>

Ver video del ensayo FAVIGRAPH Single fibre linear density- (fineness) and tensile tester- Continuous Testing en:

<https://www.youtube.com/watch?v=MSuvulKhKyE>

1.5.1.3 Rizado

Las fibras textiles presentan habitualmente ondas, rizados o dobleces a lo largo de su longitud. El rizado puede ser bidimensional (en forma de diente de sierra) o tridimensional (helicoidal).

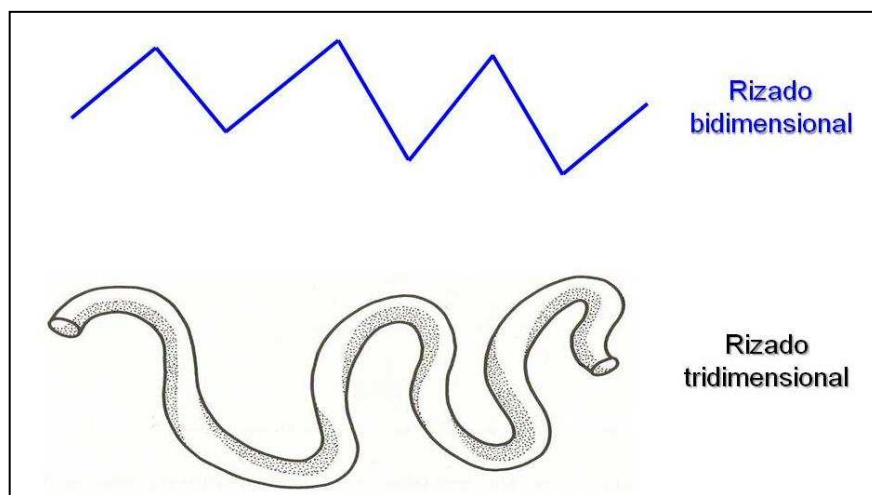


Figura 136. Tipos de rizado de las fibras textiles



Figura 137. Fibra hueca de poliéster de rizado helicoidal, utilizada para relleno de almohadas.

Fuente: Velfont. <http://velfont.com/es/producto/Almohada-Cadi>

La lana y los pelos animales presentan habitualmente un rizado tridimensional, mientras que el algodón presenta vueltas de torsión longitudinales. Las fibras químicas no presentan rizado y por lo tanto es necesario aplicarles un

tratamiento (normalmente térmico y mecánico) con el fin de que adquieran esta propiedad.



Figura 138. El algodón presenta vueltas de torsión longitudinales.



Figura 139. Rizado del vellón de lana de la oveja. Fuente: <http://www.bundaleermerinostud.com.au/>

El rizado contribuye a aumentar la voluminosidad de los hilados y tejidos obtenidos, lo cual tiene una especial importancia en el caso de artículos de relleno (tapicería). En el caso del relleno de sacos de dormir y anoraks, el incremento del volumen contribuye a aumentar el aislamiento térmico y por lo tanto al confort. El incremento de la voluminosidad contribuye a aumentar también la capilaridad y por lo tanto la absorción de humedad.

El rizado contribuye también a aumentar la cohesión interfibrilar en el proceso de hilatura y por lo tanto tiene una especial importancia en control de fibras del velo de carda y los procesos de estiraje de cintas y mechas.



Figura 140. Equipo de medida del rizado para fibras químicas, Vibrotex 400 de Lenzing.
<http://www.lenzing-instruments.com/en/products/staple.fiber.testing/crimp/vibrotex-400>

No existe un acuerdo sobre la forma de medir las propiedades del rizado de las fibras, sin embargo el equipo más utilizado para determinar las propiedades del rizado de las fibras químicas es el Vibrotex de Lenzing. Dicho equipo además de determinar el número de rizos por unidad de longitud, analiza la estabilidad y elasticidad del rizado después de someterse a deformaciones longitudinales.

En la figura siguiente se muestra una forma de determinar las propiedades de rizado de una fibra de poliéster.

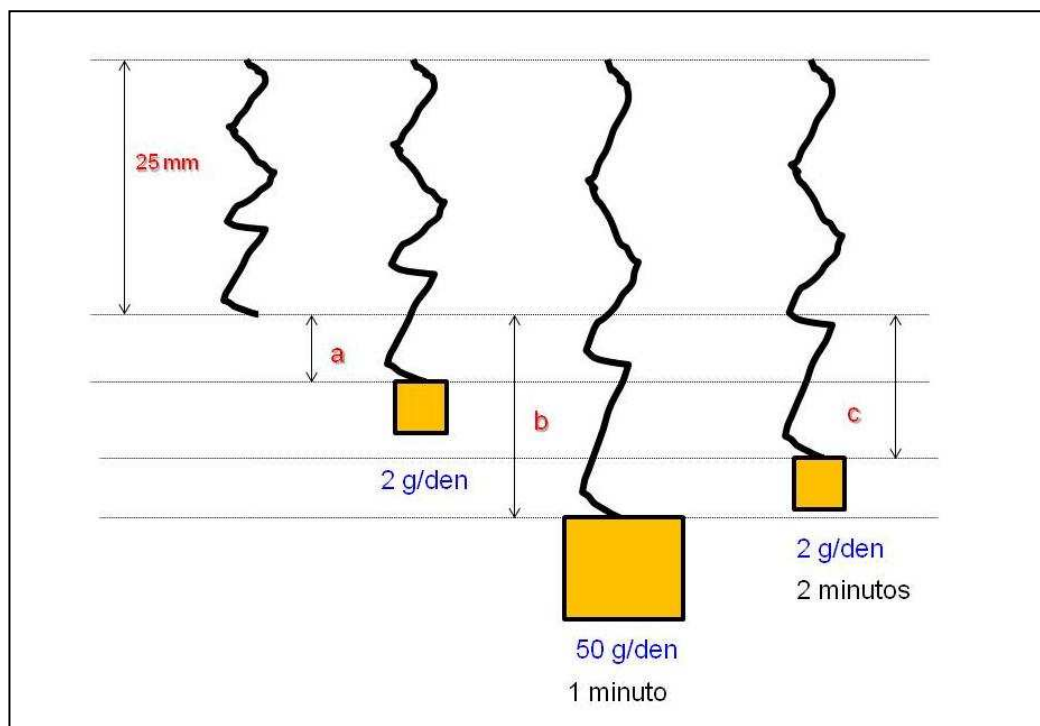


Figura 141. Ensayo de rizado

$$\sum B = (\sum b) + n \quad \sum C = (\sum c) + n$$

$$\text{Número de rizos} = \frac{25}{\sum A}$$

$$\text{Grado de rizado} = \frac{\sum B - \sum A}{\sum B}$$

$$\text{Elasticidad de rizado} = \frac{\sum B - \sum C}{\sum B - \sum A} \cdot 100$$

$$\text{Resíduo de rizado} = \frac{\sum B - \sum C}{\sum B} \cdot 100$$

1.5.1.4 Forma de la sección transversal

La forma de la sección transversal de las fibras textiles es una propiedad de gran importancia puesto que influye en el brillo, volumen, cuerpo, rigidez a la flexión (tacto), rigidez a la torsión (nervio) de hilados y tejidos así como su poder cubriente. Con fibras huecas podrán obtenerse textiles con mayor capilaridad y capacidad de absorber líquidos y vapores así como un mayor aislamiento térmico.

La forma de la sección transversal afecta a la superficie lateral o periferia de la fibra. Esta puede ser lisa, aserrada, estriada, etc lo cual afecta al tacto y textura de los textiles, a su facilidad para retener la suciedad y a su capacidad para reflejar la luz.

Las fibras pueden presentar distintos tipo de forma de sección transversal:

- a) Circular. Normalmente fibras químicas termoplásticas
- b) Oval o casi circular: la lana y pelos animales son casi circulares y presentan escamas en la superficie de la fibra. El Lyocell es una fibra química de polímero natural de celulosa regenerada que tiene una sección casi circular.
- c) Perfilada: Sección bien definida pero su forma no es circular ni oval. Esta a su vez puede ser:
 - poligonal irregular (Lino, Yute, Cáñamo, etc.),
 - lobal
 - triangular irregular (seda natural), triangular regular (fibras químicas termoplásticas)
 - trilobal (tres lóbulos). Fibras químicas termoplásticas
 - polilobulada (más de tres lóbulos) con lóbulos regulares o irregulares (acetato)

- estriada: estrías longitudinales muy juntas (viscosa)
- judía irregular y con vueltas de torsión (algodón)
- riñón: bien perfilado y definido (acrílica obtenida por hilatura en húmedo). Una variante de ésta es la que tiene forma de hongo.
- hueso de perro, (acrílica obtenida por hilatura en húmedo)
- cinta plana

d) Hueca: con uno o varios canales interiores

La forma de la sección transversal condiciona el comportamiento de las fibras al pilling. Las fibras de poliéster trilobales y pentalobales tienen menor tendencia al pilling puesto al tener un mayor momento de inercia las hace más quebradizas a la flexión y por lo tanto se desprenden del tejido sin formar bolitas.

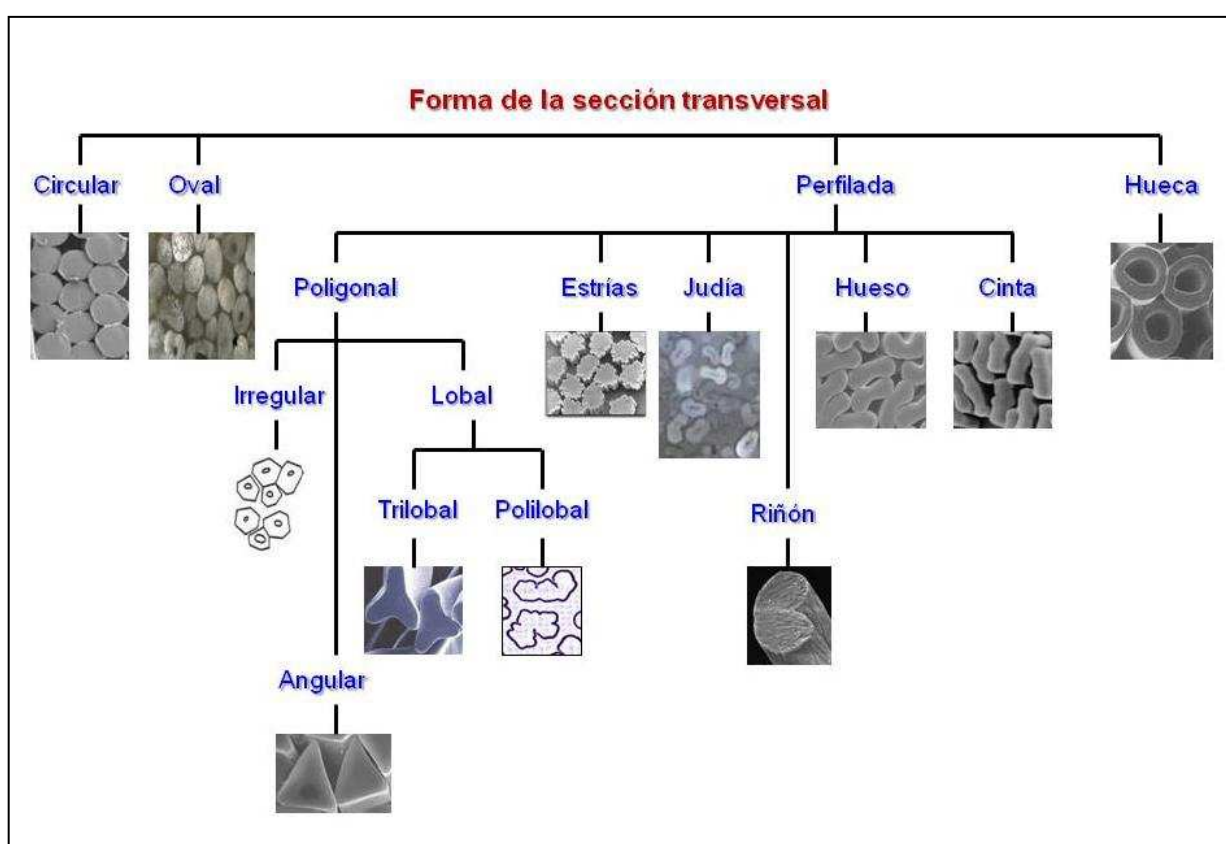


Figura 142. Formas de la sección transversal de las fibras

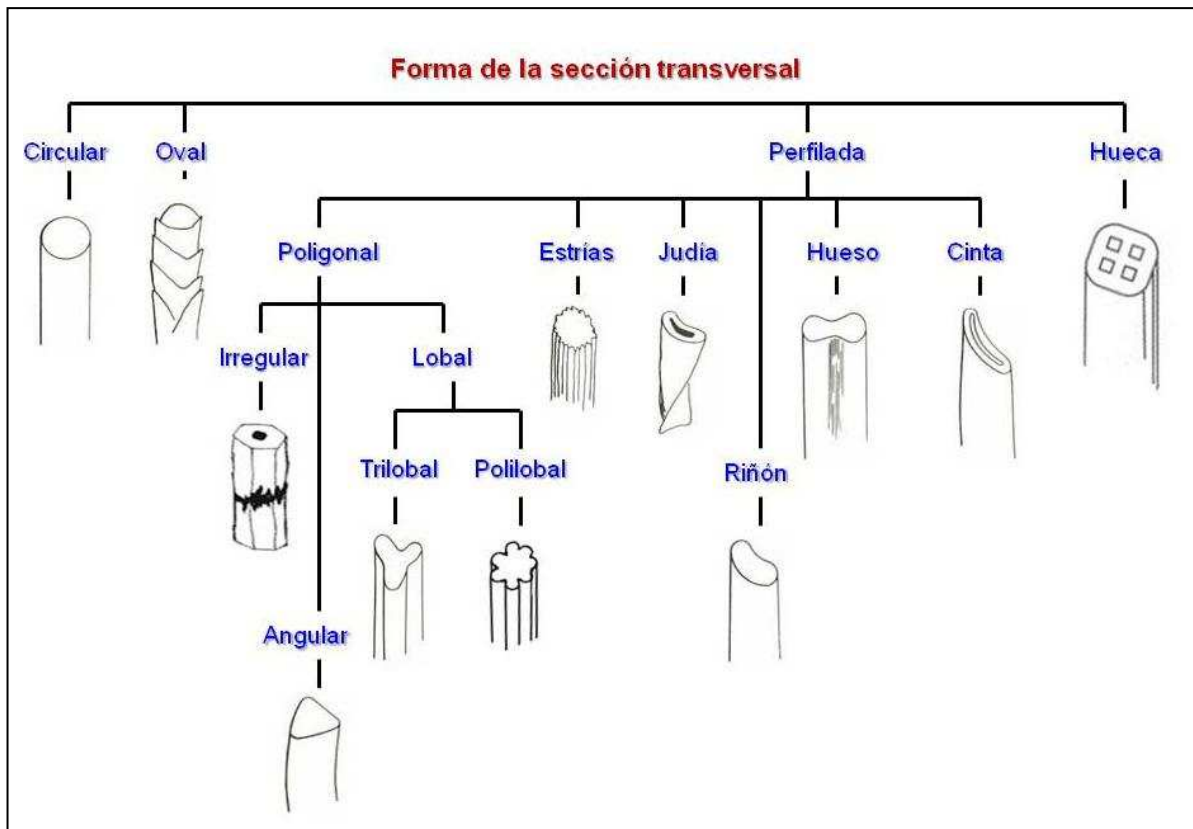


Figura 143. Aspecto de la sección transversal de las fibras textiles

Pero sin duda, la principal influencia de la forma de la sección transversal de las fibras es sobre su brillo, simplemente por una cuestión física. Las fibras que tienen una superficie plana, como las triangulares (seda natural), toda la luz incidente es reflejada en la misma dirección que la incidente lo cual da una sensación visual de brillo mayor que las de forma irregular o circular que producen una reflexión a la luz más difusa.

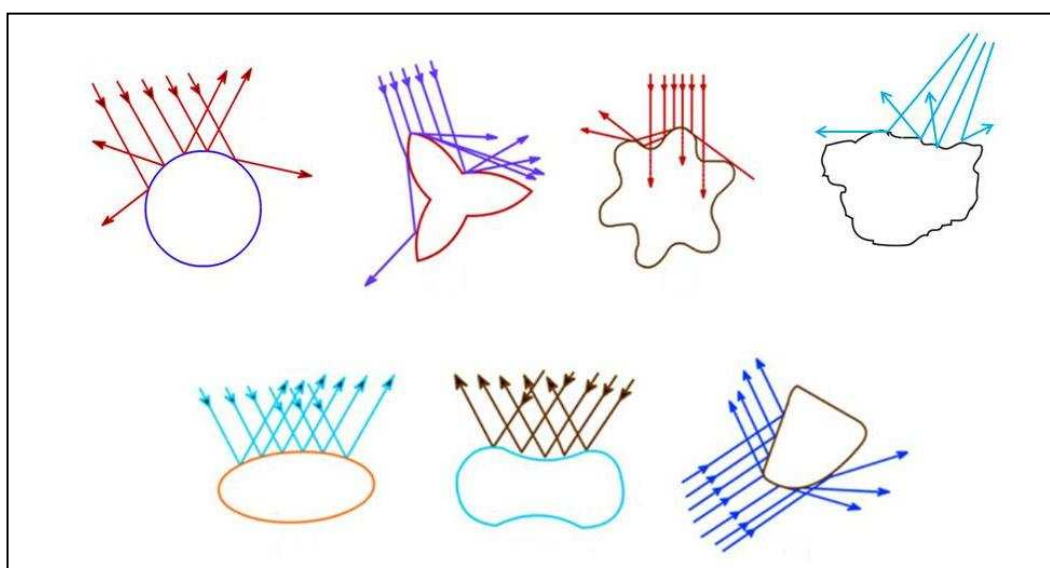


Figura 144. Forma de la sección transversal de las fibras y reflexión a la luz.

Fuente: <http://nptel.ac.in/courses/116102026/>

La única fibra natural hueca es el Miraguano, que tradicionalmente ha sido utilizada para el relleno de cojines.

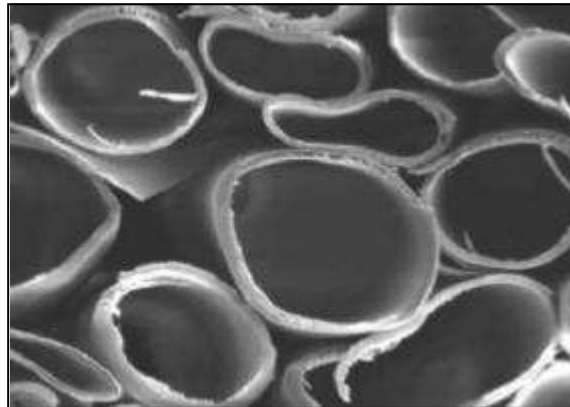


Figura 145. El Kapok o Miraguano es la única fibra natural hueca.

Fuente: <https://image.slidesharecdn.com/kapok-140510094325-phpapp01/95/kapok-5-638.jpg?cb=1399715084>

Las fibras químicas huecas en forma de corona circular son principalmente de poliéster y la poliamida. Estas fibras se utilizan como relleno de colchones, cojines, edredones, sacos de dormir y anoraks puesto que al estar huecas, pesan menos y son más aislantes. A diferencia de las fibras macizas, el canal de las fibras huecas permite la circulación constante del aire, facilitando, así, la evaporación de la humedad.

Ver video sobre el relleno de almohadas Velfont en:

<http://velfont.com/es/producto/Almohada-Cadi>

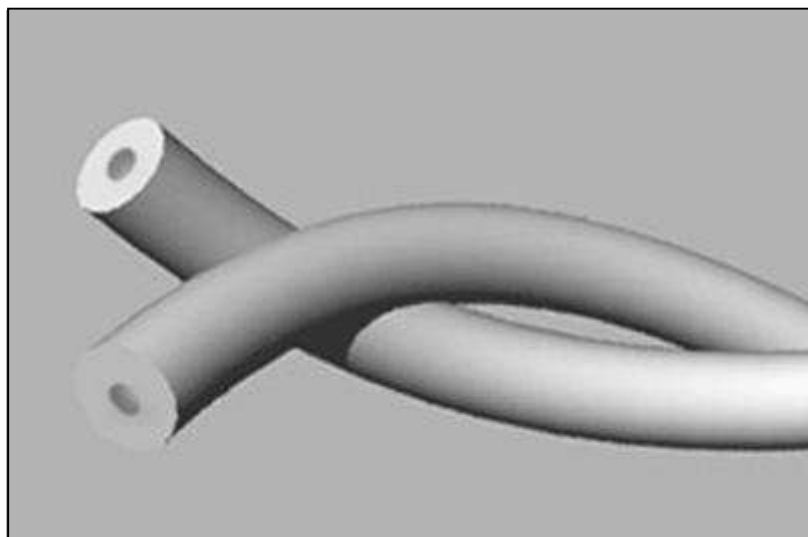


Figura 146. Fibra hueca de poliéster.

Fuente: [http://www.tradekorea.com/product/detail/P476262/Polyester-Staple-Fiber-\(Hollow\).html](http://www.tradekorea.com/product/detail/P476262/Polyester-Staple-Fiber-(Hollow).html)

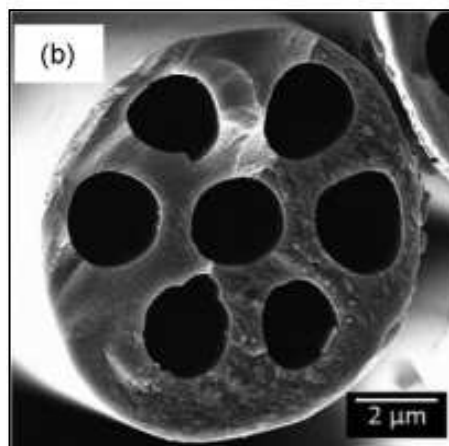


Figura 147. Fibra de carbono hueca.

Fuente: <http://kumar.mse.gatech.edu/sites/default/files/pubimg/image5.png>

1.5.1.5 Densidad

La densidad de las fibras textiles varía en función de su naturaleza y estructura química, hasta el punto que su determinación, se utiliza como criterio para la identificación de fibras.

El conocimiento de la densidad de las fibras textiles, tiene un gran interés puesto que afecta directamente a propiedades tan importantes como el peso de los tejidos. Así, un mismo tejido hecho con fibra de vidrio cuya densidad es de $2,56 \text{ g/cm}^3$, pesará mucho más que si está hecho con fibra de polietileno cuya densidad es de $0,92 \text{ g/cm}^3$.

Dado que la densidad es igual a la masa por unidad de volumen, las unidades que se utilizan habitualmente son gramos por centímetro cúbico g/cm^3 . Para determinados propósitos es más conveniente utilizar el volumen específico (recíproco de la densidad) que se expresa en cm^3/g .

La densidad de las fibras textiles, varía en función del contenido de humedad de éstas. Por regla general las fibras tienen una mayor densidad en seco que cuando se encuentran en un ambiente del 65% de humedad relativa.

Las fibras textiles, como cualquier otro material, tienen una densidad determinada. Esta propiedad tiene una especial relevancia puesto que las fibras con una elevada densidad, dan lugar a productos textiles más pesados. Si queremos diseñar tejidos para ser usados como recipientes de transporte (Bolsas, maletas, sacos, etc.) o como envoltorios, será conveniente utilizar fibras con una baja densidad como es el caso del Polietileno o el Polipropileno cuya densidad es inferior a 1 g/cm^3 .

| Fibra | Densidad | | Volumen específico | cm ³ /g |
|-----------------------|-----------|--------|--------------------|--------------------|
| | Seco | Húmedo | | |
| Vidrio | 2,5 | 2,5 | 0,40 | 0,40 |
| Asbestos | 2,1-2,8 | | | |
| Fluorofibra | 2,1-2,3 | | | |
| Carbono | 1,75-1,95 | | 0,45 | |
| Alginato | 1,72 | | | |
| Clorofibra | 1,38-1,70 | | | |
| Lyocell | 1,56 | | | |
| Algodón | 1,55 | 1,52 | 0,64 | 0,66 |
| Ramio | 1,55 | | | |
| Rayon viscosa modal | 1,51-1,57 | | | |
| Rayón viscosa | 1,52 | 1,49 | 0,66 | 0,67 |
| Rayón al cobre | 1,52 | | | |
| Lino | 1,50 | | | |
| Yute | 1,50 | | | |
| Cáñamo | 1,48 | | | |
| Aramida (p-aramida) | 1,43-1,45 | | | |
| PVC | 1,4 | | 0,71 | |
| Modacrílica | 1,25-1,40 | 1,29 | 0,78 | 0,78 |
| Aramida (amida-imida) | 1,34-1,39 | | | |
| Aramida (m-aramida) | 1,38 | | | |
| Poliéster | 1,38 | 1,38 | 0,72 | 0,72 |
| Seda natural | 1,34 | 1,34 | 0,75 | 0,75 |
| di-Acetato | 1,33 | | 0,76 | 0,76 |
| Seda Tussah | 1,32 | | | |
| Vinilo (vinilal) | 1,26-1,32 | | | |
| Lana | 1,30-1,31 | 1,31 | 0,77 | 0,76 |
| Tri-Acetato | 1,30 | | 0,76 | 0,76 |
| Proteíca | 1,29 | | | |
| Poliéster Kodel | 1,22 | | | |
| Poliuretano | 1,15-1,20 | | | |
| Acrílica | 1,14-1,18 | 1,19 | 0,84 | 0,84 |
| Poliamida 66 | 1,14 | 1,14 | 0,88 | 0,88 |
| Poliamida 6 | 1,13 | | | |
| Poliamida 11 | 1,10 | | | |
| Elastano | 1,10 | | | |
| Angora | 1,10 | | | |
| Polietileno HD | 0,95 | | | |
| Polietileno LD | 0,92 | | | |
| Polipropileno | 0,90 | | | |
| Conejo común | 0,90 | | | |

Tabla 17. Densidad de las principales fibras textiles

Si sabemos el título de una fibra de sección circular y su densidad, podemos deducir su diámetro mediante la siguiente expresión:

$$\text{Título (tex)} = \pi \cdot \rho \cdot \left(\frac{d^2}{4}\right) \cdot 10^3$$

$$\text{Diámetro } (\mu\text{m}) = \sqrt{4 \cdot 10^3 \cdot \left(\frac{\text{tex}}{\pi\rho}\right)}$$

$$\rho = \text{densidad } (\text{g/cm}^3)$$

$$d = \text{diámetro } (\mu\text{m})$$

Si tenemos dos fibras de sección circular con la misma finura en dtex, la fibra que tenga una menor densidad, tendrá un diámetro mayor que la fibra de densidad más elevada.

1.5.1.5.1 Determinación de la densidad

Se determina por el método de la columna de gradiente de densidad. Consiste en un tubo de cristal bastante largo. En la parte inferior se coloca Pentacloroetano ($1,7 \text{ g/cm}^3$) y en la parte superior Xilol ($0,9 \text{ g/cm}^3$). En la zona intermedia de la columna se producirá una mezcla de ambos líquidos en proporciones (densidades) diferentes. A continuación se determina la densidad de la mezcla a cada altura mediante unos flotadores de vidrio previamente calibrados, cuya densidad es conocida de antemano. En cada punto del tubo podremos saber la densidad de la mezcla dado que se ha colocado en la parte exterior del tubo una regla graduada con indicación de la densidad del líquido en función de la altura.

Si sumergimos una fibra en este líquido, ésta quedará flotando a una altura tal que su densidad coincida con la del líquido. A continuación leemos, mediante la regla graduada externa, la densidad del líquido (mezcla) y sabremos la densidad de la fibra.

1.5.1.5.2 Densidad y ordenación molecular

La medida de la densidad se utiliza habitualmente para estimar el grado de orientación molecular o cristalinidad de las fibras, debido a la siguiente relación:

$$\text{Grado de orientación molecula} = \frac{\rho - \rho_{am}}{\rho_{cr} - \rho_{am}}$$

$$\rho = \text{densidad de la fibra}$$

$$\rho_{cr} = \text{densidad de la zona cristalina}$$

$$\rho_{am} = \text{densidad de la zona amorfa}$$

1.5.2 Propiedades mecánicas

Tanto en el proceso industrial textil como durante su uso, las fibras textiles pueden estar sometidas a esfuerzos de extensión (tracción axial), compresión, flexión, cizallado, torsión y fricción.

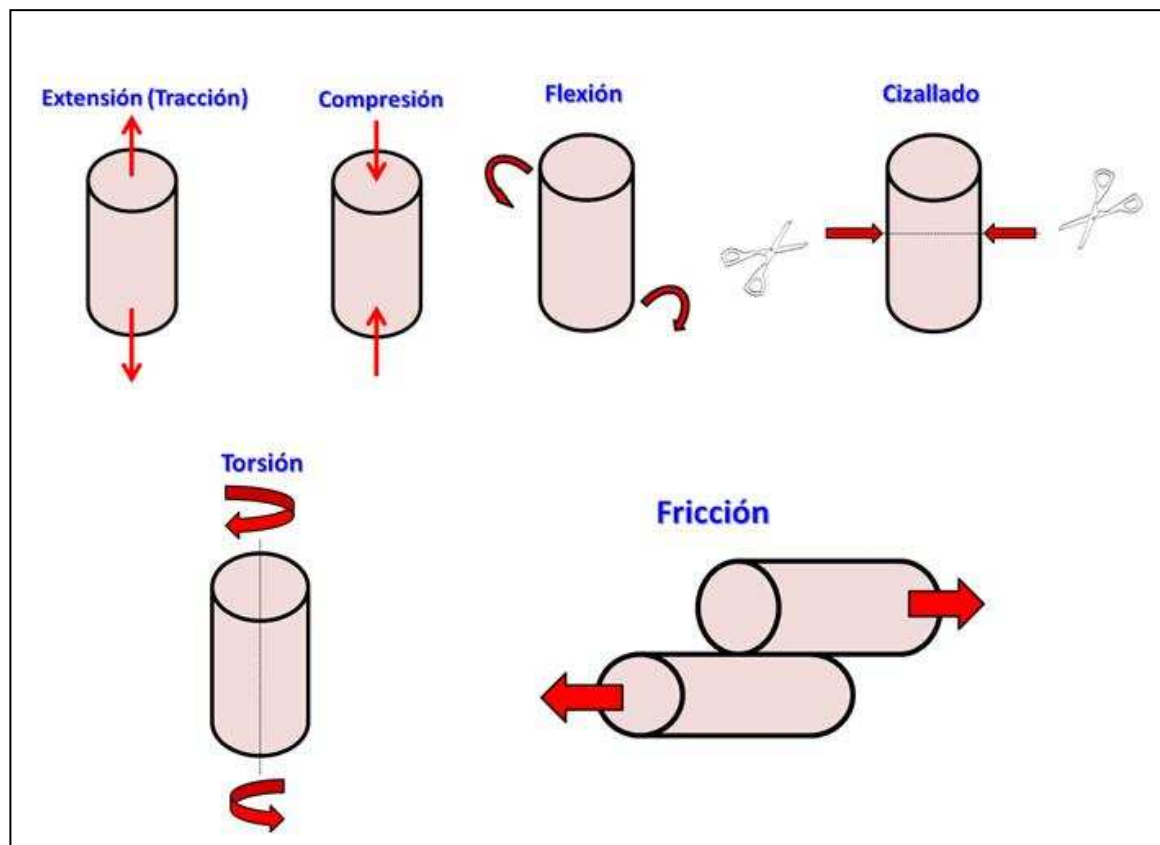


Figura 148. Tensiones a las que están sometidas las fibras textiles

1.5.2.1 Extensión (tracción) axial

La forma de representar gráficamente cómo se comporta una fibra cuando está sometida a un esfuerzo de extensión axial es mediante un gráfico que se denomina curva carga-alargamiento, donde se expresa en el eje ordenadas tensión axial aplicada a la fibra y en el eje de abscisas, la deformación sufrida como consecuencia de la aplicación de ésta carga. La carga, por lo tanto, es la fuerza de tracción que se aplica a la probeta en su dirección axial. Se expresa en gramos-fuerza (g-f) o en centinewtons (cN). La curva ilustra mucho más el comportamiento real de una fibra sometida a una extensión que unos datos aislados puesto que nos informa en cada momento como se deforma la fibra a medida que se le aplica una carga axial.

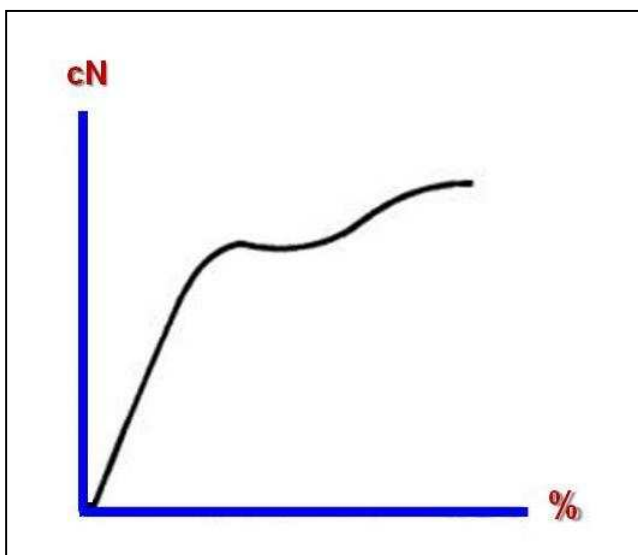


Figura 149. Curva carga-alargamiento

1.5.2.1.1 Carga de rotura

Cuando la carga aplicada en sentido axial a la fibra es tan elevada que provoca la rotura de la fibra, se obtiene la denominada carga de rotura, denominada también Resistencia a la rotura.

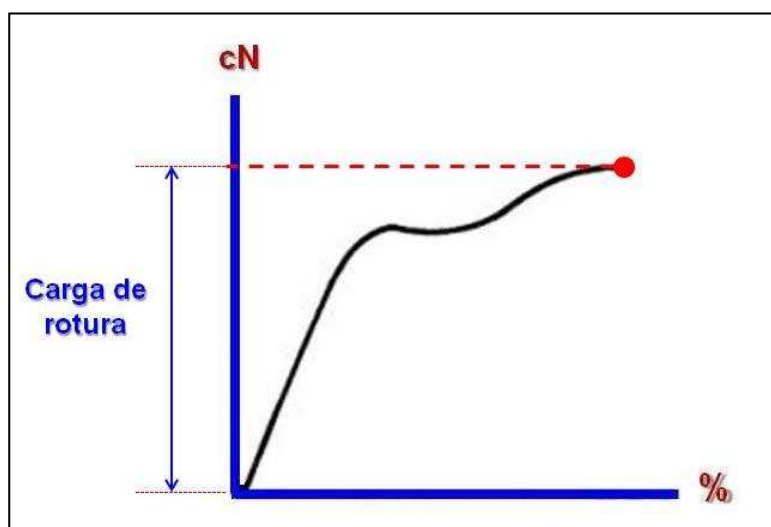


Figura 150. Carga de rotura

1.5.2.1.2 Alargamiento a la rotura

En el momento de producirse la rotura de la fibra no tiene la misma dimensión que en el inicio del ensayo sino que se ha deformado incrementando su longitud. El incremento de la longitud de la fibra como consecuencia de la aplicación de una carga axial se denomina alargamiento. Se expresa en valor absoluto (mm) o bien más habitualmente en valor relativo expresado en % de incremento de longitud de la probeta respecto a la dimensión inicial del ensayo.

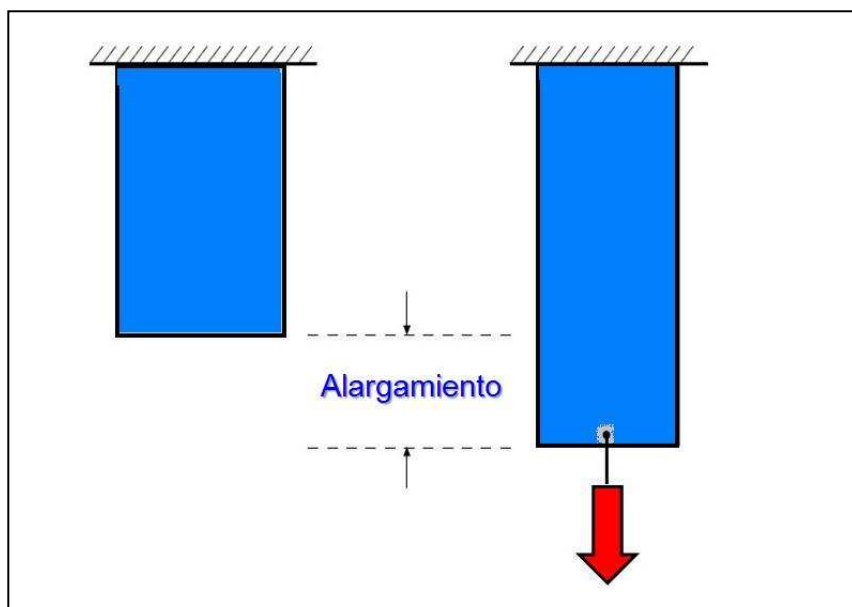


Figura 151. Alargamiento por tracción axial.

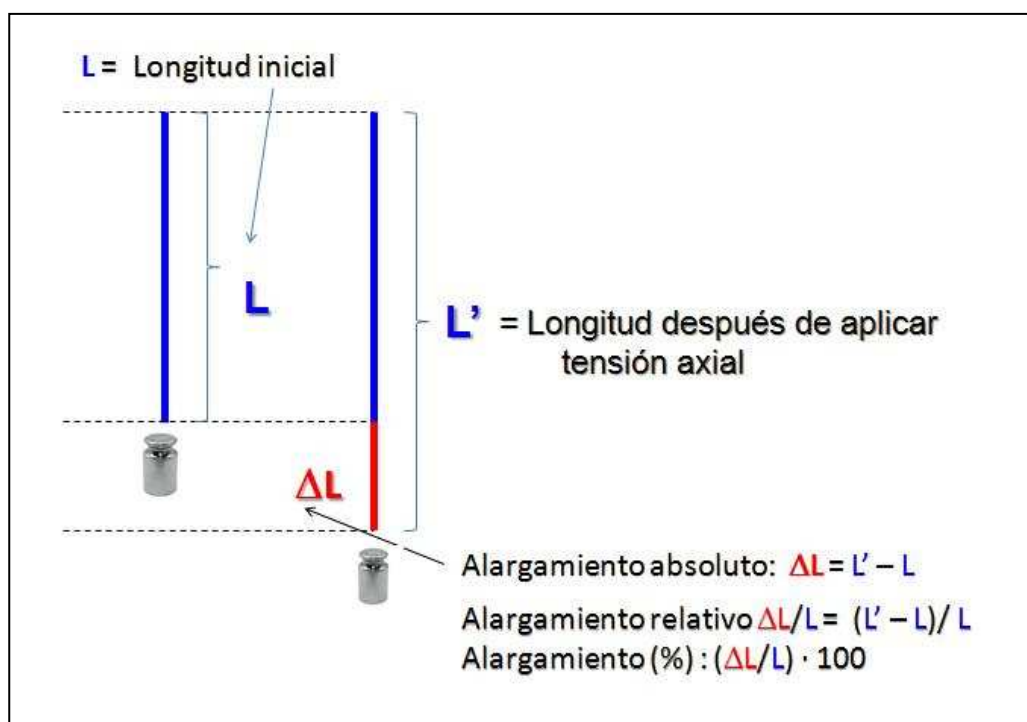


Figura 152. Alargamiento absoluto y relativo



Figura 153. Alargamiento a la rotura

1.5.2.1.3 Trabajo de rotura

El alargamiento a la rotura es el incremento de longitud de la fibra como consecuencia de la aplicación de la carga de rotura.

La energía necesaria para romper la fibra se denomina trabajo de rotura y se determina calculando el área situada bajo la curva tenacidad-alargamiento. Las unidades son cN-cm.

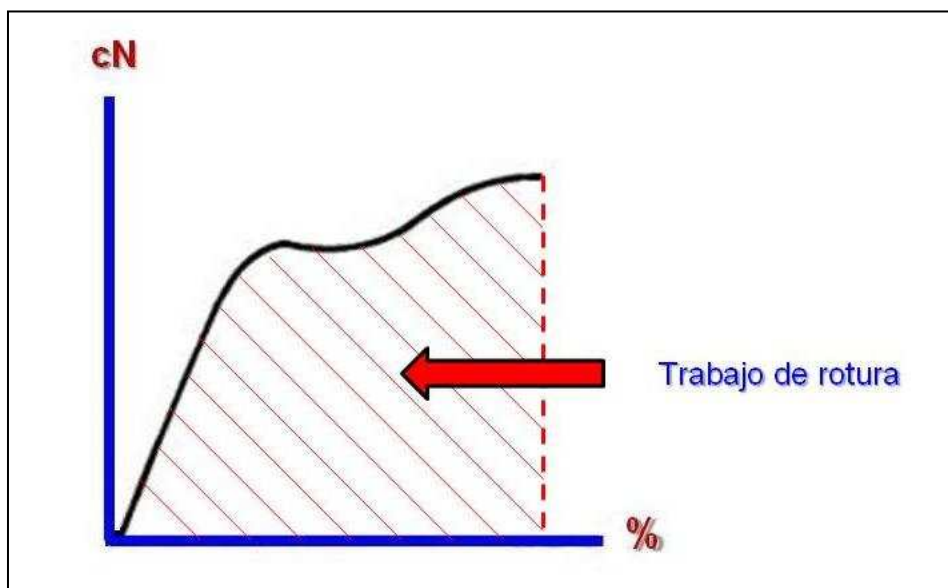


Figura 154. Trabajo de rotura

$$\text{Trabajo de rotura} = \int_0^{\text{rotura}} \text{Fuerza} \cdot dA$$

1.5.2.1.4 Tenacidad

Sin embargo la resistencia a la tracción depende también del grosor de la fibra y por lo tanto no pueden compararse objetivamente las resistencias de fibras de distinta finura. Con el fin de considerar esta circunstancia y poder comparar objetivamente la resistencia a la tracción de las fibras de distinta finura, se utiliza la Tenacidad (llamada también carga específica de rotura) que es la carga por unidad de grosor (título) de la fibra y las unidades son cN/dtex. La Tenacidad coincide numéricamente con la longitud de rotura que es la longitud de fibra necesaria para que se rompa por acción de su propio peso. Imaginemos hipotéticamente que tenemos una fibra continua en una bobina y la vamos desarrollando dejando caer esta fibra en un pozo. Llegará un momento que habrá tal cantidad de metros introducidos en el pozo que el peso de la propia fibra producirá su rotura. Esto es en definitiva la longitud de rotura.

1.5.2.1.5 Punto de fluencia o límite elástico

En la curva Tenacidad/Alargamiento se observan diversas zonas. Una zona inicial en que la curva forma una línea recta donde la deformación es directamente proporcional a la carga aplicada, esta parte se denomina zona de elasticidad total. Si en cualquier punto de esta parte de la línea dejamos de aplicar una carga axial, la fibra recuperará totalmente su dimensión original. A partir del denominado "Punto de fluencia" llamado también "Límite elástico" la curva cambia de sentido y deja de ser recta. A partir de este punto, es decir, al superar el límite elástico, la fibra ya no será totalmente elástica puesto que la deformación aplicada ya es permanente. A partir de este punto se producen grandes deformaciones de la fibra con incrementos de carga relativamente pequeños. La fibra recuperará una parte de la dimensión original pero no totalmente puesto que la elasticidad ya no es total.

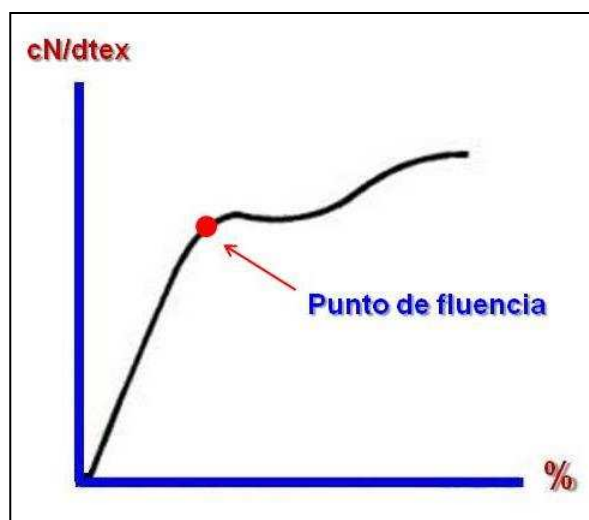


Figura 155. Punto de fluencia o límite elástico

1.5.2.1.6 Módulo de elasticidad o de Young

Para conocer la pendiente de la curva tenacidad-alargamiento, es decir, el comportamiento de la fibra cuando todavía no ha superado el límite elástico y su elasticidad es total, se utiliza el Módulo de elasticidad que trigonométricamente es la tangente α a la curva trazada desde el origen de coordenadas. Cuanto mayor sea la pendiente de la curva ($\tan \alpha$) mayor será el módulo de elasticidad. Así una fibra de alto módulo será aquella que al aplicar una pequeña carga axial, se produce también una pequeña deformación. El Módulo de elasticidad permite, por lo tanto, conocer cuánto se deforma una fibra al aplicarle pequeñas tensiones en sentido axial.

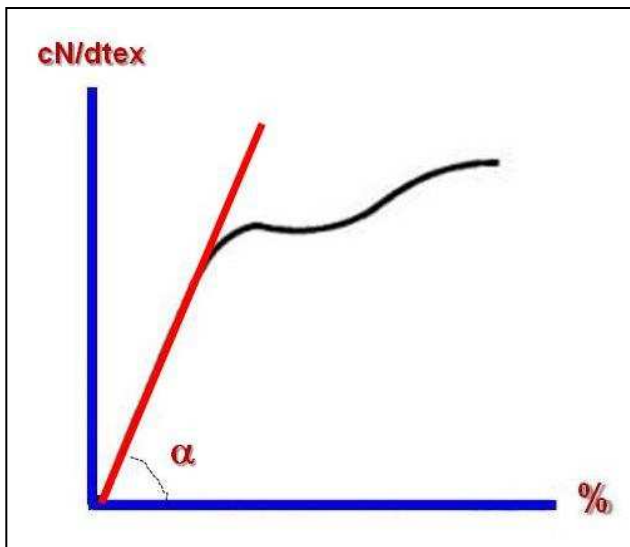


Figura 156. Módulo de elasticidad

1.5.2.1.7 Módulo secante

Como determinar gráficamente la $\tan \alpha$ puede llegar a ser difícil y engorroso en algunos casos, se acostumbra a utilizar como alternativa el Módulo secante que es la pendiente de la recta trazada desde el origen del eje de coordenadas hasta el punto de la curva que corresponde al alargamiento del 2,5 %, o bien, es el resultado de dividir por 2,5 la carga específica que produce un alargamiento relativo del 2,5 %.

Así una fibra destinada a convertirse en hilo de coser ha de tener un gran módulo de elasticidad. La tensión a que está sometido el hilo debido al rapidísimo vaivén de la aguja de la máquina de coser provoca una pequeña tensión en el hilo y conviene que produzca un alargamiento mínimo. Como la tensión aplicada es pequeña y se produce dentro de la zona elástica, el hilo recuperará su dimensión original una vez realizada la puntada sobre el tejido. Si el alargamiento fuera elevado esta recuperación de la dimensión original puede provocar una arruga en la costura.

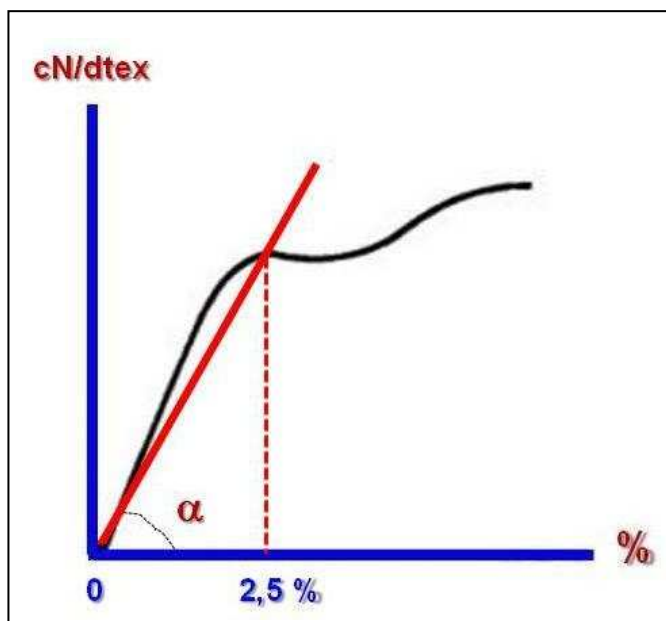


Figura 157. Módulo secante al 2,5 %

1.5.2.1.8 Factor trabajo

Para saber si la curva carga-alargamiento tiene una pendiente superior a la bisectriz formada por ordenadas y abscisas se utiliza el Factor trabajo que es el cociente entre el Trabajo de rotura y la Carga de rotura multiplicado por el Alargamiento a la rotura.

$$\text{Factor trabajo} = \frac{\text{Trabajo de rotura}}{\text{Carga de rotura} \cdot \text{Alargamiento a la rotura}}$$

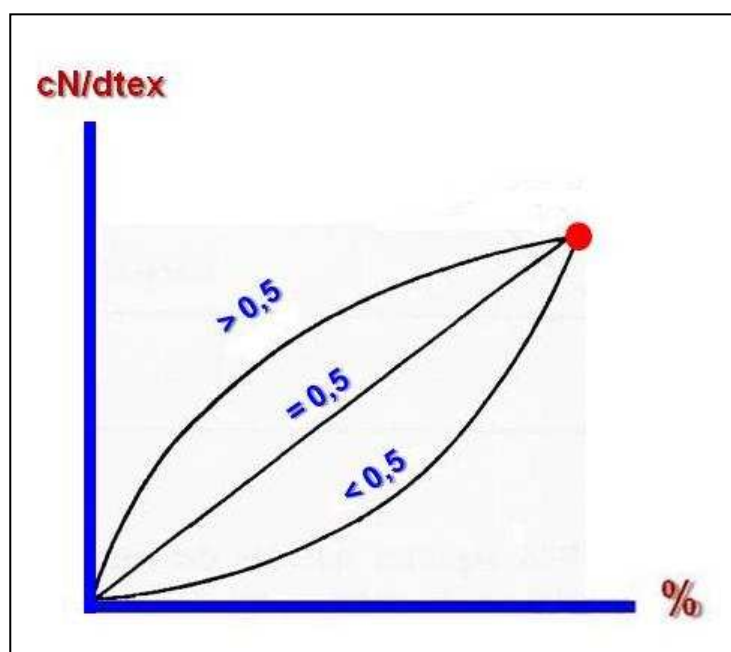


Figura 158. Factor trabajo

El Módulo de elasticidad y el límite elástico es una información básica para el diseño de hilos y tejidos puesto que nos indica la zona de uso por debajo de la cual la elasticidad será total y no se producirán deformaciones permanentes.

1.5.1.1.9 Comparación entre los métodos utilizados para describir el fenómeno de la rotura

Hasta ahora hemos visto tres formas distintas de describir el fenómeno de la rotura en las fibras textiles, por la carga aplicada en sentido axial, el alargamiento y la energía. Vamos a comparar el verdadero significado de cada uno de ellos para explicar mejor el comportamiento mecánico de las fibras.

- La resistencia o la tenacidad, nos dan una medida de la resistencia de las fuerzas de sustentación. Son el descriptor más adecuado para valorar la capacidad de una fibra (también multifilamentos e hilados) para aguantar tensiones axiales de sustentación como por ejemplo la de una cuerda destinada a levantar grandes pesos.
- El alargamiento a la rotura, nos da una medida de la dificultad que ofrecen las fibras a sufrir una extensión (a ser alargadas o deformadas longitudinalmente). Este parámetro tiene un gran interés en los casos en que la fibra está sometida a esfuerzos de extensión, como por ejemplo el cuello de una camisa cuando está colgada en un cuelgaropas o bien la urdimbre de un telar de calada. Conocer el alargamiento para determinadas aplicaciones en las cuales el material textil no sufre un esfuerzo superior al de la rotura pero en cambio se deforma longitudinalmente de forma destacada como es el caso de una cuerda para practicar el "puenting".
- El trabajo de rotura es la energía necesaria para romper la fibra. Nos da una medida de la capacidad del material textil para resistir repentinas y violentas aplicaciones de energía. Cuando soltamos una masa " m ", desde una altura " h ", ésta adquiere una energía cinética igual a $m \cdot g \cdot h$. Si ésta energía se aplica violentamente a un producto textil, y es mayor que su trabajo de rotura, se producirá la rotura del textil. Si por el contrario ésta energía es inferior, el textil resistirá el choque. Por todo ello podemos deducir que el trabajo de rotura es el parámetro descriptor más adecuado para considerar fenómenos como por ejemplo la apertura de un paracaídas, la caída libre de un alpinista que se encuentra asegurado por una cuerda, y todos aquellos casos en los que se producen choques repentinos capaces de provocar la rotura de la fibra.

Si comparamos dos fibras para deducir cuales de ellas tiene una menor facilidad para la rotura, es importante considerar las condiciones bajo las cuales dicha rotura puede ocurrir y después decidir que parámetro nos describirá mejor esta propiedad que queremos valorar. De nada sirve, por ejemplo, que una cuerda de escalada tenga una gran tenacidad si su trabajo de rotura es bajo.

1.5.2.1.10 Límite elástico y deformación permanente

La elasticidad es la propiedad de los cuerpos en virtud de la cual estos tienden a recuperar su dimensión original después de haber sufrido una deformación. En definitiva la elasticidad de un material nos informa sobre su capacidad para recuperar la deformación aplicada. Es un concepto contrario a la plasticidad.

Si estamos sometiendo a una fibra a un ensayo de tracción longitudinal y en un momento determinado se suprime el esfuerzo ejercido sobre la probeta, no habiendo llegado todavía a la carga de rotura, pueden producirse dos comportamientos según sea la fibra o no “hookina” (que sigue la ley de Hooke, es decir que existe una proporcionalidad directa entre la carga aplicada y el alargamiento producido). Si el diagrama carga-alargamiento es una línea recta y la velocidad de variación de la carga aplicada no es muy elevada, puede observarse que el trayecto de retorno al punto característico de este diagrama (punto M) coincide con el segmento correspondiente a la deformación experimentada por la fibra hasta el momento en que dejó de aplicarse la carga. Ello significa que las deformaciones provocadas por la tracción son perfectamente reversibles, es decir que se anulan una vez pasado un cierto tiempo de que el esfuerzo ha sido suprimido. Una fibra que reúna estas condiciones tendrá una elasticidad total (100%). Este caso puede considerarse excepcional en las fibras textiles. El punto límite a partir del cual la reversibilidad total de la elasticidad empieza a ser imposible corresponde al denominado punto de fluencia o límite elástico. A partir de este punto las deformaciones serán permanentes. La fibra recuperará parte de su dimensión original pero no totalmente, quedando un alargamiento residual.

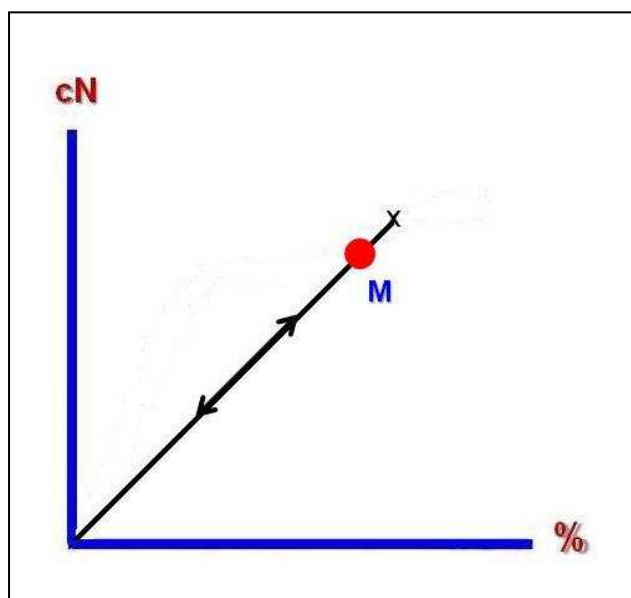


Figura 159. Ley de Hooke

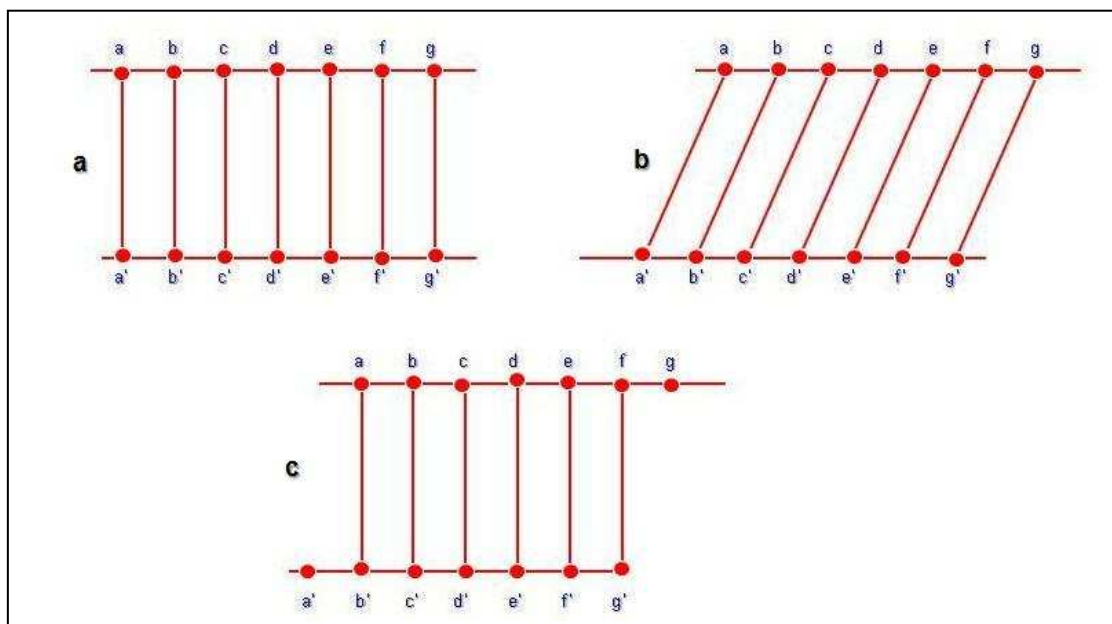


Figura 160. Esquema de la deformación elástica y plástica. Configuración inicial (a), deformación elástica (b), deformación plástica (c).

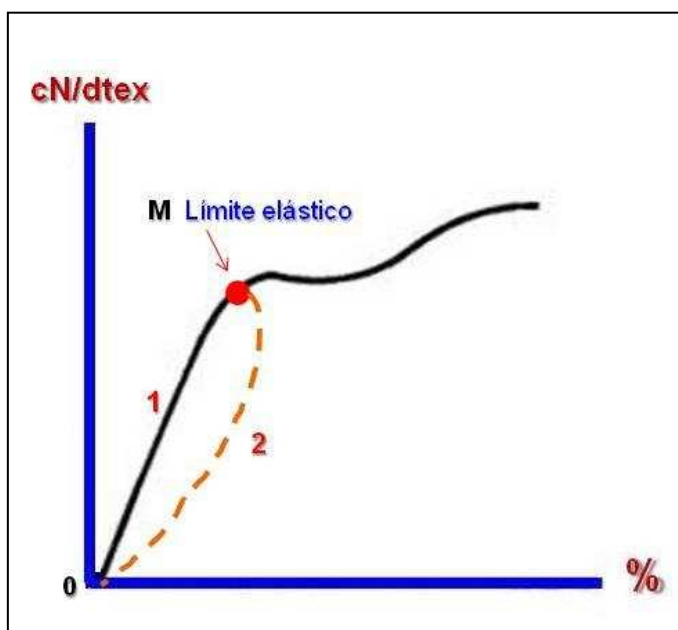


Figura 161. Recuperación elástica

Cuando se suprime la carga definida por el punto M (al límite elástico), el trayecto de retorno M0 (2) en el curso del cual se efectúa la relajación de las tensiones es diferente que el trayecto 0M(1). La deformación correspondiente a un esfuerzo dado no se restablece de forma instantánea sino hasta pasado un cierto tiempo. La fibra todavía tiene una elasticidad total dado que finalmente el trazado del retorno vuelve al punto 0 de partida, pero esta elasticidad no es perfecta (instantánea) porque el retorno exige un cierto tiempo.

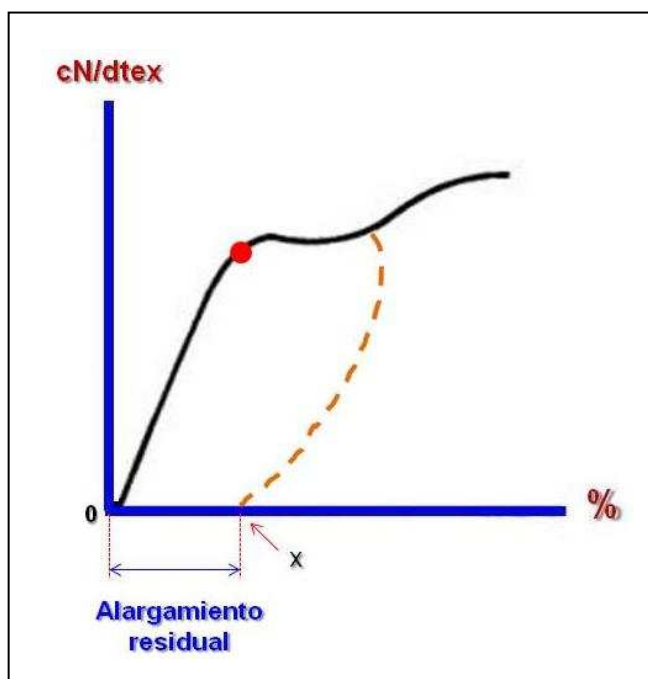


Figura 162. Alargamiento residual

Cuando la tensión aplicada a la fibra supera el límite elástico y la carga en sentido axial se suprime, la trayectoria de retorno no vuelve al origen del eje de coordenadas. Existe un cierto alargamiento residual como se muestra en la figura 77. Si a continuación se aplican nuevos esfuerzos axiales sobre la misma probeta, el punto inicial de la curva tenacidad-alargamiento no es el punto 0 sino el x.

El límite elástico tiene una gran importancia práctica puesto que permite definir la gama de esfuerzos que sólo son susceptibles de permitir el retorno al estado inicial después de su supresión.

Para garantizar la durabilidad de una prenda, es necesario que las tensiones ejercidas sobre las fibras, sean inferiores a su límite elástico. Esta propiedad permite definir el porcentaje de recuperación o retorno correspondiente a un alargamiento determinado.

Como puede verse en la figura siguiente, una deformación puede dividirse en una parte elástica, que se recupera cuando la carga o tensión desaparece, y una parte plástica o permanente. Cuantitativamente es recomendable utilizar la siguiente expresión:

$$\text{Recuperació elástica} = \frac{\text{Extensió elàstica}}{\text{extensió total}}$$

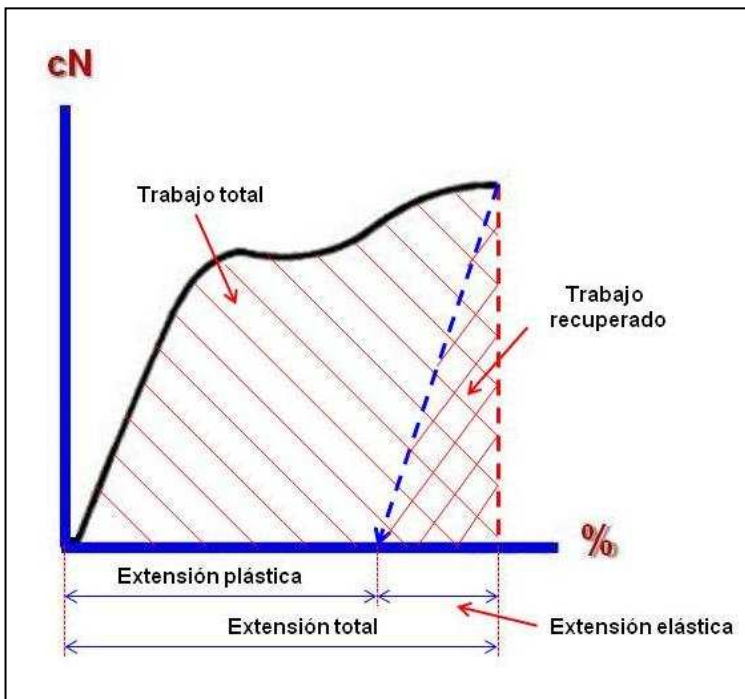


Figura 163. Trabajo recuperado

En esta fórmula la expresión “extensión” es equivalente a “alargamiento”. La recuperación total tiene un valor de 1 (o bien del 100%). La incompleta tiene un valor proporcionalmente más bajo a la fracción y la no recuperación tiene un valor de 0.

Puede asimismo definirse el trabajo de recuperación de la siguiente manera:

$$\text{Trabajo de recuperación} = \frac{\text{Trabajo recuperado durante la recuperación}}{\text{Trabajo total realizado en la extensión}}$$

1.5.2.1.11 Factores que influyen en los resultados de los ensayos de extensión axial

Los resultados de los ensayos de extensión dependen fundamentalmente de tres factores:

- a) Naturaleza y estructura de la fibra: El tipo de polímero (naturaleza de la fibra) condiciona obviamente los resultados. Las propiedades mecánicas de la celulosa son claramente distintas a las del poliéster, por ejemplo. Por otra parte la estructura interna de la fibra (estructura amorfa y cristalina) de un mismo polímero condicionan de forma muy notable sus propiedades mecánicas (cuando más cristalina es la estructura mayor resistencia tendrá).
- b) Dimensiones de la probeta: Longitud de la probeta y grosor distintos dan resultados también distintos. Para poder comparar las propiedades de dos

fibras, éstas dimensiones han de ser iguales o bien calcular la propiedades unitarias como la tenacidad.

- c) Naturaleza y duración del ensayo: El principio físico de funcionamiento del dinamómetro utilizado y la velocidad con la que se aplica la tensión axial, condicionan asimismo los resultados.

1.5.2.1.12 Dinamómetros de gradiente de alargamiento constante

Aplican una carga o extensión a la probeta de forma constante durante el ensayo. La dificultad de este principio es la complicada interacción entre la extensión de la probeta y el movimiento del sistema controlador y medidor de carga por los problemas de inercia que puedan generarse.

La mayoría de dinamómetros de fibras (especialmente las químicas) son de gradiente de alargamiento constante. El equipo está formado por dos mordazas que retienen la fibra individual. Dispone de una célula de medida denominada "célula de carga", que contiene el medidor de tensión y un transductor. La mordaza superior del dinamómetro va conectada a ésta célula de carga, de manera que la tensión provocada por la bajada de la pinza inferior, que avanza a un gradiente constante de velocidad mediante la guía de un tornillo sin fin, es detectada por la mordaza superior y en definitiva por la célula que mide la tensión de la fibra.

1.5.2.1.13 Dinamómetros de gradiente de carga constante

La carga aplicada a la probeta, incrementa progresivamente. Un tipo de éstos dinamómetros es el del plano inclinado en el cual la probeta sufre una carga o tensión cuyo incremento es constante.

1.5.2.1.14 Diferencias entre los dos métodos

Los dos sistemas de medida descritos anteriormente no dan resultados iguales y por lo tanto no son comparables. Las curvas carga-alargamiento pueden tener diferencias en su forma. En los de gradiente de alargamiento constante, es posible que la carga disminuya mientras que el alargamiento aumenta. En los de gradiente de carga constante, la carga debe necesariamente aumentar a lo largo del ensayo.

1.5.2.1.15 Dinamómetros de fibra individual

Las propiedades mecánicas de las fibras químicas, al ser muy regulares, se determinan mediante dinamómetros de fibra individual, mientras que las propiedades de las fibras naturales -especialmente el algodón- se determinan mediante dinamómetros de haces de fibras.

Los dinamómetros de fibra individual para fibras químicas utilizan el principio del gradiente de alargamiento constante. Un extremo de la fibra se retiene por la mordaza superior (que va conectada a la célula de carga). A continuación se le aplica al otro extremo una pretensión, con el fin de eliminar el rizado de la fibra. La pretensión -que se aplica mediante una pequeña pinza- varía en función de la finura de la fibra y de su grado de rizado. Una vez la fibra está enderezada, la mordaza inferior retiene la fibra por un punto determinado de su longitud y se inicia el ensayo. Muchos de estos dinamómetros realizan el ensayo de finura, rizado y resistencia de forma combinada.



Figura 164. Dinamómetro Favimat de Textechno

Los datos del ensayo son recogidos por un ordenador que dibuja la curva carga-alargamiento y realiza los cálculos de los distintos parámetros de las propiedades mecánicas de las fibras sometidas a una tensión axial.

Véanse algunos catálogos de dinamómetros de fibra individual en los siguientes enlaces:

Adendorf: <http://www.adendorf.net/dinamometro-para-ensayos-de-traccion-mod-li-xlw-p-533.html>

Textechno:

<https://www.textechno.com/product/favigraph/>

<https://www.textechno.com/product/favimat-with-airobot2-and-autofeed/>

Véanse los siguientes videos donde su puede ver la realización de éste ensayo.

<https://www.youtube.com/watch?v=MSuvulKhKyE>

<https://www.youtube.com/watch?v=iPyfKU9HZJI>

https://www.youtube.com/watch?v=NsKhjq_KBK0

| Fibra | Tenacidad (cN/dtex) | Alargamiento (%) | Módulo inicial (cN/dtex) |
|--------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Algodón | 2,6-4,4 | 5-10 | 35-70 |
| Lino | 2,6-6,2 | 1,8 | 176 |
| Cáñamo | 5,1-6,0 | 1,8 | 194 |
| Yute | 2,6-5,1 | 1,7 | 176 |
| Lana | 0,9-1,5 | 15-35 | 21-35 |
| Seda | 2,6-5,3 | 20-25 | 53-70 |

Tabla 18. Tenacidad, alargamiento y módulo de algunas fibras naturales

| Fibra | Tenacidad (cN/dtex) | Alargamiento (%) | Módulo inicial (cN/dtex) |
|----------------|----------------------------|-------------------------|---------------------------------|
| Rayón Viscosa | 1,8-2,3 2,6-4,4 | 17-25 9,5-11,5 | 48 88-110 |
| Viscosa modal | 2,8-3,5 | 8-12 | 124-247 |
| Rayón al cobre | 1,5-2,0 | 10-17 | 60 |
| Lyocell/Tencel | 3,9-5,0 | - | - |
| Acetato | 1,0-1,1 | 23-30 | 25 |
| Triacetato | 1,1-1,2 | 25-30 | 39 |
| Proteica | 0,9 | 30-50 | - |
| Alginato | 1,4-1,8 | 2-6 | - |
| Elastodieno | 0,4-0,9 | 700-900 | - |

Tabla 19. Tenacidad, alargamiento y módulo de algunas fibras química de polímero natural

| Fibra | Tenacidad (cN/dtex) | Alargamiento (%) | Módulo inicial (cN/dtex) |
|--|--------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Poliéster multifilamento Tenacidad normal Alta tenacidad | 3,5-5 6,2-8,5 | 24-50 10-106 | 66-88 66-88 |
| Poliéster fibra cortada Tenacidad normal Alta tenacidad | 3,5-4,7 4,8-6,1 | 35-65 17-40 | 22-35 40-49 |
| Poliàmida multifilamento Tenacidad normal Alta tenacidad | 4-6 7,5-8,4 | 23-43 12-17 | 22-31 29-41 |
| Poliàmida fibra cortada | 3,6-4,0 | 37-40 | - |
| Acrílica | 1,8-3,2 | 20-55 | 35-44 |
| Modacrílica | 2,2-2,7 | 33-40 | 35 |
| Clorofibra | 2,6-7,5 | 10-30 | 22-160 |
| Elastano | 0,5-0,9 | 450-700 | - |
| Poliètileno Baja densidad Alta densidad Ultraresistente | 0,4-1,8 4,0-7,0 26-31 | 20-80 10-20 2,5-3,7 | 17,6-40 44-66 1.230-1.760 |
| m-Aramida | 5,1 | 15-22 | 120 |
| p-Aramida | 19,2 | 4 (2,5) | 410(860) |
| Poliimida | 3,3 | 30 | 46 |
| Vidrio | 5,3-8,8 | 3-4 | 300 |
| Carbono HM HS | 11,3 16,6 | 0,5 1 | 2.100 1.310 |

Tabla 20. Tenacidad, alargamiento y módulo de algunas fibras química de polímero sintético

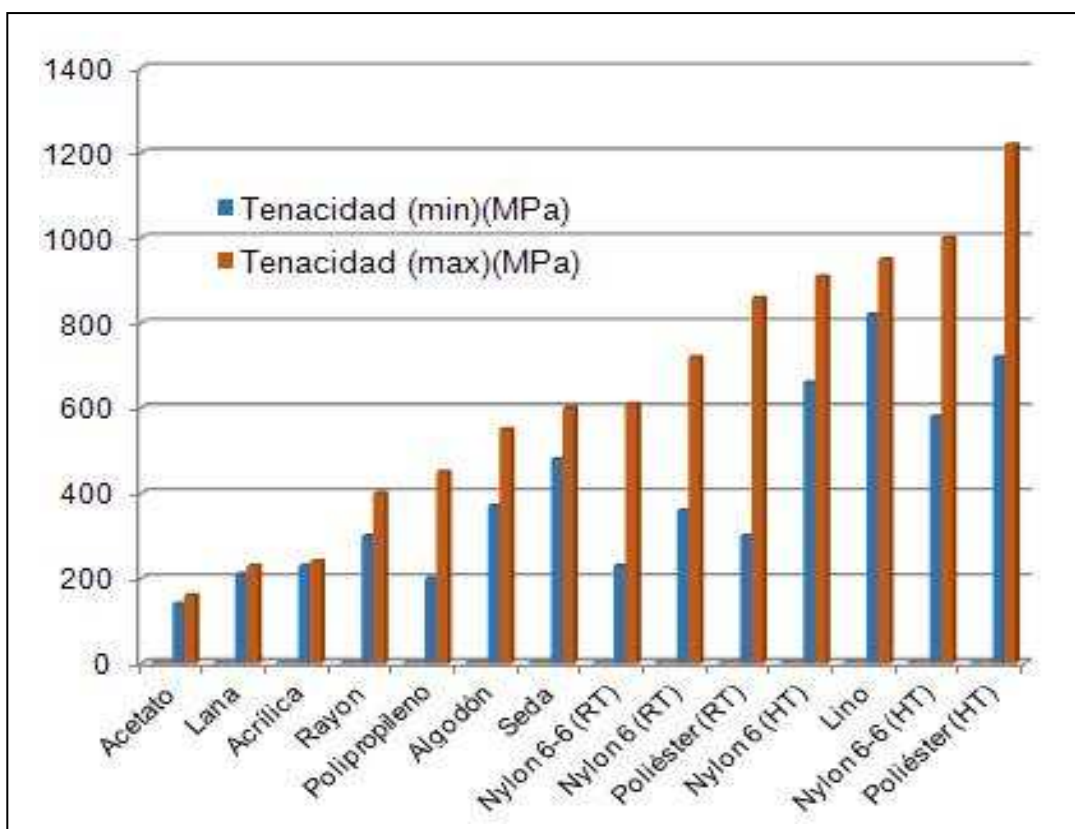


Figura 165. Tenacidad (en MPa) de varias fibras textiles

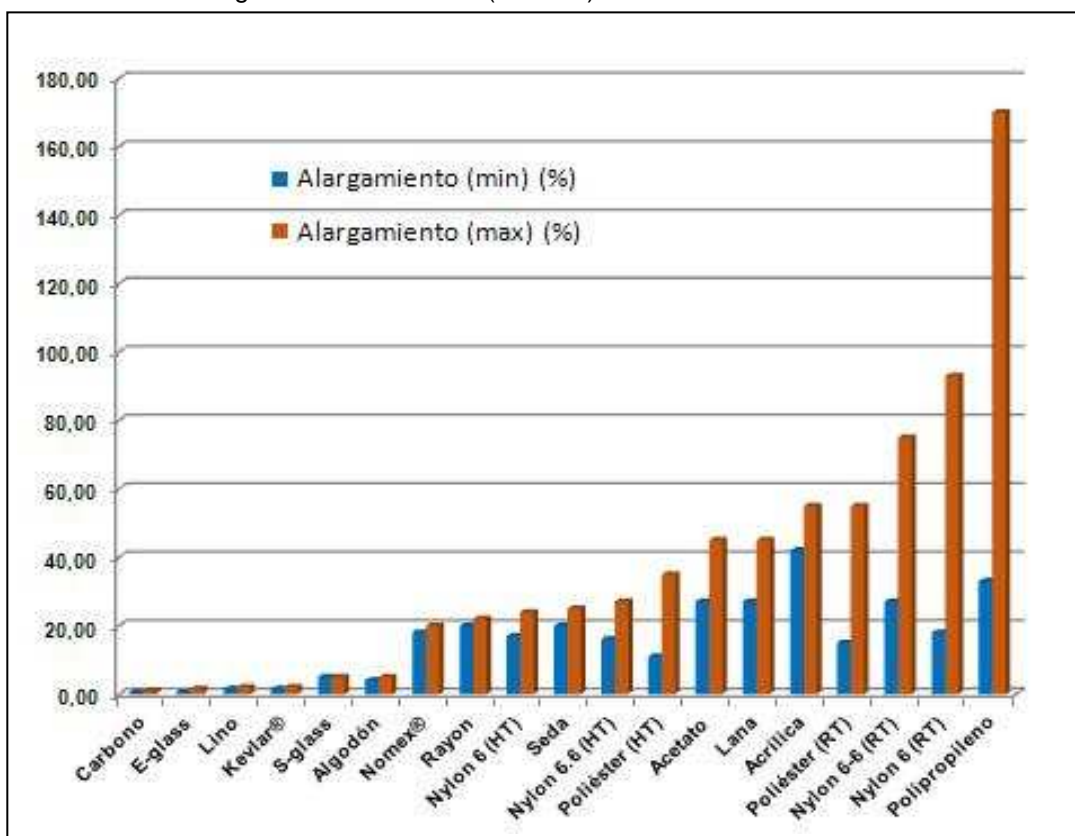


Figura 166. Alargamiento a la rotura (en %) de varias fibras textiles

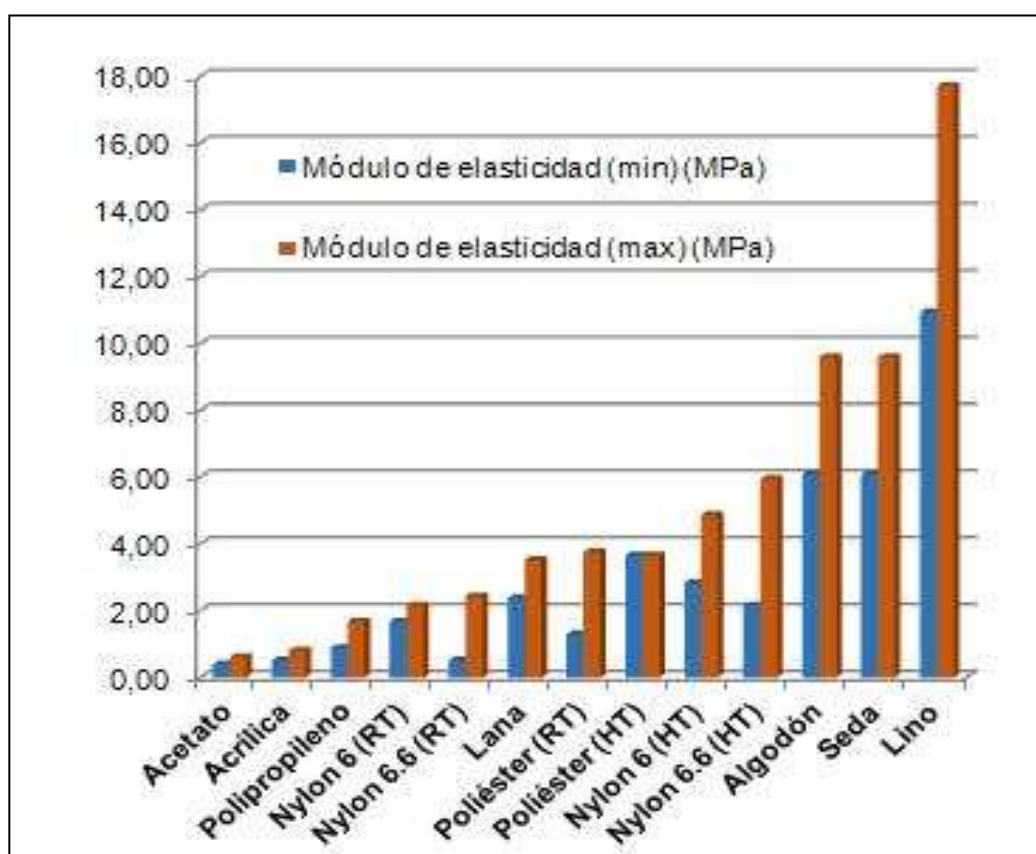


Figura 167. Módulo de elasticidad (en MPa) de varias fibras textiles

1.5.2.1.16 Dinamómetros de haces de fibras

Las fibras de algodón, como la mayoría de las naturales, son bastante irregulares de forma que la finura, madurez, etc. varían mucho entre sí. Ello hace muy difícil realizar un análisis de fibra individual puesto que en cada caso a demás de su resistencia se debería medir individualmente su finura Micronaire. En estos casos las propiedades mecánicas de las fibra no se determinan de forma individual sino que de un conjunto (haces) de ellas de forma simultánea. En el algodón los dinamómetros utilizados son el Pressley y el Stelometer.

1.5.2.1.16.1 Dinamómetro Pressley

Este equipo está diseñado para la medida de la resistencia a la rotura de haces de fibras de algodón. Las fibras deben estar acondicionadas, paralelas y libres de impurezas. La carga de rotura estará comprendida entre 10 y 21 libras.

Las fibras son pinzadas por dos mordazas paralelas, las que sobresalen por los dos lados son cortadas, quedando a una longitud igual a 1,181 cm 8que es la suma del grosor de ambas mordazas).

Uno de los dos planos de pinzado de las mordazas va revestido de cuero. Las mordazas unidas por el haz de fibras se sitúan en **C** de la figura 80, de ésta manera la regla **A** queda casi horizontal (formando un plano inclinado con una leve inclinación). Se suelta el contrapeso **B** que al deslizarse por el plano inclinado produce un incremento constante de carga hasta producirse la rotura del haz de fibras. La velocidad de descenso es uniformemente acelerada y el recorrido total de la escala dura menos de un segundo. Al romperse las fibras, el peso móvil queda frenado, la carga de rotura se lee con una precisión de una décima de libra (453 g).

Se abren las mordazas y se pesan las fibras rotas con una balanza de precisión.

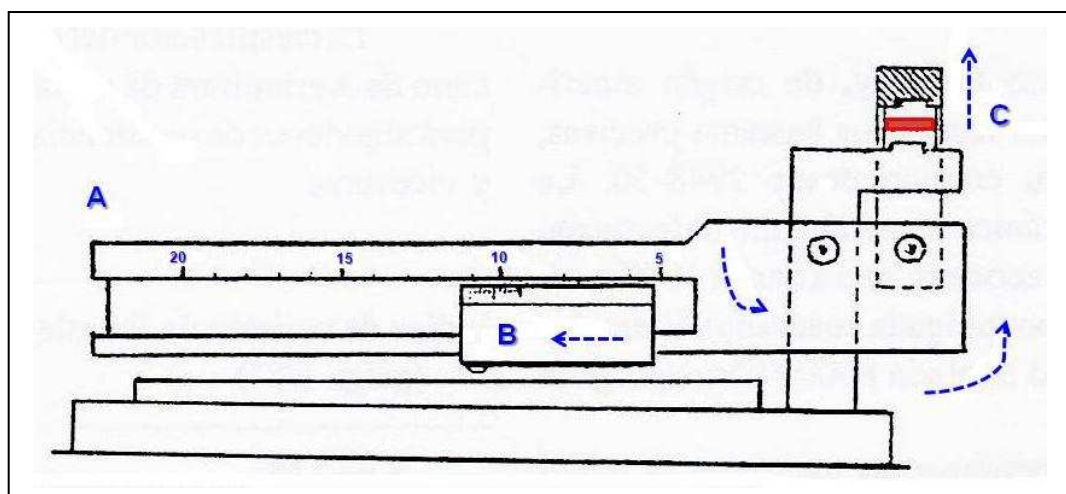


Figura 168. Esquema del dinamómetro Pressley

Dividiendo la carga de rotura por el peso de las fibras rotas, en miligramos, se obtiene el índice Pressley:

$$\text{Índice Pressley galga 0} = \frac{\text{Carga de rotura en Libras}}{\text{Peso del haz de fibras en miligramos}}$$

$$\text{Tenacidad en g/tex} = \text{índice Pressley} \cdot 5,36$$

La resistencia específica Pressley (tensile strength) es la resistencia por unidad de sección del haz de fibras y viene expresada por unidades de 1.000 libras por pulgada cuadrada.

$$\text{Resistencia específica Pressley} = 10,8116 \cdot \text{Índice Pressley} - 0,12$$

Las unidades son (1.000 libras por pulgada cuadrada) o 1.000 psi (pund square inch).

$$\text{O simplificando } 1.000 \text{ pasi} = 10,8 \cdot \text{Índice Pressley}$$

El Departamento Americano de Agricultura, clasifica el algodón según la Resistencia específica Pressley mostrada en la tabla 9.

| Resistencia específica Pressley (1.000 psi) | Clasificación |
|---|-------------------------|
| > de 95 | fortísimo (very strong) |
| 86 - 95 | fuerte (strong) |
| 76 - 85 | promedio (average) |
| 66 - 75 | discreto (fair) |
| < de 65 | débil (weak) |

Tabla 21. Clasificación del algodón según su resistencia específica Pressley

Cuando la separación entre mordazas es nula el ensayo se denomina “galga 0”. Existe otro método del ensayo Pressley que es poner una separación entre mordazas de 1/8 de pulgada, entonces el ensayo se denomina “galga 1/8 de pulgada”. La separación se logra con un separador especial de 1/8 “ de grosor. Los valores de resistencia son menores que los de “galga 0” y guardan una mayor relación con la resistencia del algodón y la futura resistencia del hilado obtenido. En este caso el Índice Pressley va referido a una clasificación que da el valor 100 a un algodón que representa la media del algodón americano, el Índice Pressley toma así un valor:

$$\text{Índice Pressley galga } 1/8'' = \frac{\text{Resistencia en Libras}}{\text{Peso de la fibra en miligramos}} \cdot \frac{100}{3,19}$$

La clasificación del Departamento de Agricultura de Estados Unidos da valores superiores a 100 a los algodones de resistencia superior a la media y viceversa.(ver tabla 10).

| Índice de resistencia Pressley (galga 1/8 “) | Clasificación |
|--|-------------------------|
| > de 115 | fortísimo (very strong) |
| 106 - 115 | fuerte (strong) |
| 96 - 105 | promedio (average) |
| 86 - 95 | discreto (fair) |
| < de 85 | débil (weak) |

Tabla 22. Clasificación del algodón según su índice de resistencia Pressley galga 1/8 “

Del Índice de resistencia puede pasarse a la resistencia específica Pressley (1.000 psi) de la siguiente forma:

$$\text{resistencia específica Pressley} = \frac{84 \cdot \text{Índice de resistencia}}{100}$$

$$\text{Tenacidad } g/\text{tex} = 6,8 \cdot \frac{\text{Resistencia en Libras}}{\text{peso en mg}}$$



Figura 169. Dinamómetro Pressley.

Los siguientes videos muestra el ensayo con el Dinamómetro Pressley:

<https://www.youtube.com/watch?v=bpw6s1tGdpo>

<https://www.youtube.com/watch?v=Hj4a8RAHnOs>

1.5.2.1.16.2 Dinamómetro Estelómetro (Stelometer)

El Estelómetro (figura 84) es un aparato constituido por un sistema de péndulos, P_a y P_b , en la parte superior de los cuales van las mordazas M , una en cada péndulo. Entre ellas van situadas las fibras F cuya resistencia se quiere medir. El péndulo P_b , tiene situado su centro de gravedad en **c.d.g** por lo que, puede girar sobre el soporte físico **S**. El péndulo P_a está suspendido del eje **e** que constituye al mismo tiempo su punto de giro, dicho eje **e** se encuentra situado en un brazo del péndulo P_b .

En la posición de inicio o partida, P_b está desplazado hacia la derecha por su parte inferior (por lo que la superior donde va fijada la mordaza se desplaza hacia la izquierda) girando alrededor de su eje de giro **E**, así queda engatillado y fijo, es entonces cuando se colocan las mordazas con las fibras. Al desengatillar y quedar por tanto libre el péndulo P_b , debido a que su centro de gravedad queda desplazado queda desplazado a la derecha del eje se producirá un momento de giro en el sentido de las agujas del reloj; dado que el péndulo P_b mantendrá la verticalidad, con giro alrededor del eje **e**. Las mordazas M se alejarán de una manera progresiva aumentando la tensión ejercida sobre el haz de fibras hasta la rotura de las mismas. La aguja indicará en la escala **R** la resistencia en kilogramos. Un indicador pendular atravesado en la aguja **a** indicará en la escala **A** los alargamientos.

Durante el ensayo, a medida que la aguja indicadora **a**, se desplaza a la derecha, lo hará también el indicador pendular atravesando en la misma, pero el recorrido en la escala **A** no es proporcional al de la escala **R** ya que la misma escala **A** también se desplaza hacia la derecha.

Am, es un amortiguador hidráulico cuya acción se regula mediante el tornillo **T** (que da mayor o menor paso de fluido), de esta manera el desplazamiento de los péndulos es uniforme y no existen aceleraciones (como ocurre en el dinamómetro Pressley).

La velocidad de desplazamiento de los péndulos, y por lo tanto el incremento de carga por unidad de tiempo, se consigue accionando el mencionado tornillo **T**, de esta manera se regula el aparato a los kg/segundo deseados. **T₀** es un tope de final de carrera del péndulo **P_b**.

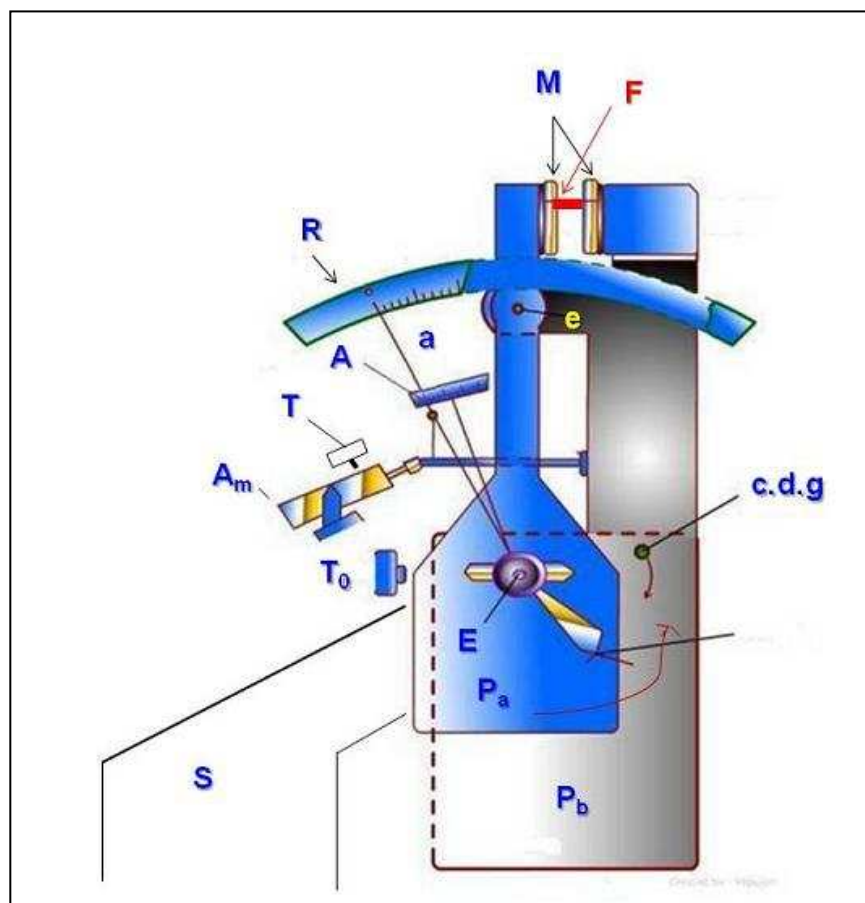


Figura 170. Dinamómetro Stelometer.

Imagen basada en: <http://nptel.ac.in/courses/116102029/tensile%20testing/img21.JPG>

El Estelómetro se utiliza normalmente para medir la resistencia de fibras con una separación entre mordazas de 1/8 de pulgada (galga 1/8"). En lo referente a las mordazas, preparación de probetas, etc., se aplica exactamente lo mismo que en el caso del dinamómetro Pressley, ya que prácticamente no hay diferencias. El Estelómetro facilita la resistencia a la rotura que se lee en la escala graduada de 2 a 7 kg. El alargamiento experimentado por el haz de fibras que queda libre entre ambas mordazas es leído en la escala graduada del 0 al 20%. El gradiente de carga se puede regular de 0,05 a 4 kg por segundo por medio del tornillo **T** del amortiguador, el gradiente de carga más generalizado y que se acostumbra a emplear es el de 1 kg/segundo. La regulación se consigue fácilmente de la siguiente manera: la escala de resistencia a la rotura va graduada de 1 a 7 kg (2

kg es la resistencia mínima que debe de tener el haz de fibras a ensayar), como que en esta graduación hay 5 divisiones, si deseamos que el gradiente de carga sea por ejemplo de 1 kg por segundo, aflojaremos o apretaremos el tornillo **T** para que la aguja indicadora vaya más deprisa o más despacio, hasta que para recorrer 5 divisiones tarde 5 segundos, ello significará que el incremento de carga es de 1 kg cada segundo.

El ecartamiento o distancia entre mordazas puede variar de 0 a 12 mm., el valor más interesante para relacionar la resistencia de la fibra con la del hilado se obtiene con ecartamientos comprendidos entre 0 y 3 mm. Empleando un ecartamiento de 1/8 de pulgada, el conjunto de pinzas más placa medirá:

$$\frac{25,4}{8} = 3,175 \quad 11,81 + 3,175 = 14,985 \text{ mm} \quad \text{aproximadamente } 15 \text{ mm}$$

Normalmente, en el ensayo de resistencia con galga 0 en el Estelómetro, se produce un resultado de alargamiento debido al deslizamiento de las fibras entre las mordazas (no debería dar ningún alargamiento porque obviamente un tanto por ciento de cero es cero, ya que no es cero de una manera estricta la separación entre mordazas, será como máximo algunas centésimas de longitud de fibra, sin deslizamiento, no llega a marcarlo el aparato), por lo tanto, parte del alargamiento leído para galga 1/8" deben hacerse dos ensayos (o dos series). Si **E** es el alargamiento verdadero, **E₀** el alargamiento con galga 0, y **E₁** el alargamiento con galga 1/8" tendremos:

$$E = E_1 - E_0$$

Por cada muestra se llevan a cabo 5 ó 6 ensayos. Una vez roto el haz de fibras, se recogen y pesan (ensayo galga 1/8"), la resistencia a la rotura vendrá dada en kilogramos, el peso del haz de fibras en miligramos.

La tenacidad en gramos/tex será:

$$\text{Tenacidad en gramos por tex} = \frac{\text{Carga de rotura en kg} \cdot 15}{\text{peso de la probeta en mg}}$$

El resultado puede expresarse también en gramos por Grex (g/Grex). El Grex es el peso en gramos de una longitud de 10.000 m de fibra (1 Grex = 10 tex).

$$\text{Tenacidad en gramos por Grex} = \frac{\text{Carga de rotura en kg} \cdot 1,5}{\text{peso de la probeta en mg}}$$

En el caso de la tenacidad (g/tex), la longitud de la probeta se da en milímetros (15), para hallar la tenacidad en g/Grex, la longitud de la probeta se da en cm (1,5).

Para hallar la tenacidad en g/tex o gramos/Grex en el caso de hacer ensayos con gala 0, la longitud de la probeta es de 1,181 cm, por lo tanto las fórmulas anteriores de gala 1/8", toman la forma:

$$\text{Tenacidad en gramos por tex} = \frac{\text{Carga de rotura en kg} \cdot 11,81}{\text{peso de la probeta en mg}}$$

$$\text{tenacidad en gramos por Grex} = \frac{\text{Carga de rotura en kg} \cdot 1,181}{\text{peso de la probeta en mg}}$$

Podemos añadir también algunas relaciones:

$$\text{Índice Pressley} = \frac{g}{\text{Grex}} \cdot 2$$

Aunque el factor aplicable, según deducción matemática es de 1,87, se aplica 2 ya que la práctica ha demostrado repetidas veces que es el valor real.

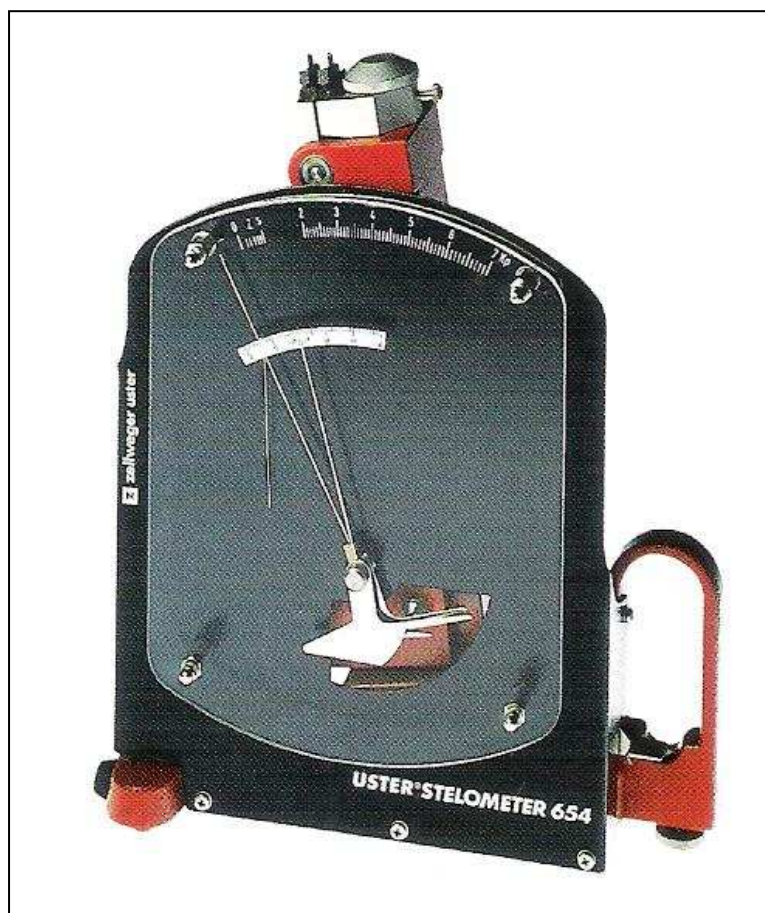


Figura 171. Dinamómetro de haces de fibras Stelometer. Fuente. Catálogo Zellweger Uster

El ensayo Stelometer, es preciso y da una idea muy aproximada de la resistencia de las fibras a ensayar. Si el ensayo se realiza a galga 0, tal como se dijo en el dinamómetro Pressley, la resistencia será aproximadamente el doble de la tenida con galga 1/8", dicha resistencia es fiel reflejo de la que realmente tiene la fibra. La calibración del Estelómetro viene dada con una precisión de $\pm 0,5\%$ pero en

la práctica el error que se comete es mayor por múltiples razones obvias del modo de operar, errores acumulados, etc. Al iniciar el ensayo y sujetar las probetas en el tornillo del banco, ya se les da una pretensión de 100 gramos, de modo que se puede afirmar que en este aparato la precisión ha sido realmente buscada y conseguida en gran parte, ya que por otro lado el funcionamiento está mecánicamente conseguido y exento de inercias. Para obtener valores medios con límites de confianza de $\pm 1,5\%$ deben hacerse unos 16 ensayos.

Debido a que el gradiente de carga aplicado en el Estelómetro, es menor que el aplicado en el dinamómetro Pressley, los resultados no son idénticos. Sobre todo, si se trabaja con galga 0, el Pressley da resultados un 6 % mayores que el Estelómetro cuando el montaje del haz en las mordazas se efectúa a mano, y hasta un 12% mayor si la tensión se controla mediante el dispositivo tensor que acompaña al aparato.

Debido que es prácticamente imposible igualar el modo de operar todas las veces, nos puede dar una cifra determinada como factor de conversión entre los resultados de los dos aparatos. Si embargo se pueden utilizar las siguientes ecuaciones.

$$g/tex = 12,47 \cdot I.S$$

$$P.I = 2,326 \cdot I.S$$

$$p.s.i = ((25,14 \cdot I.S) - 0,12) \cdot 10^3$$

Siendo *I.S.* el Índice Stelometer calculado como el Pressley, pero teniendo en cuenta que la resistencia viene dada en este caso en kilogramos. Si la relación Pressley galga 0 / Pressley galga 1/8" es igual o mayor que 2, el algodón es bueno, si es menor que 2, se trata de una fibra deficiente. Los valores Pressley y Stelometer deben expresarse en g/tex para establecer la anterior relación.

La resistencia a la rotura y el alargamiento determina un nuevo parámetro que no es el resultado de una tensión axial sino multiaxial, se trata de la rigidez a la flexión de las fibras. Siendo **R** la carga de rotura y δ su alargamiento específico, el cociente **R/δ** caracteriza la rigidez a la flexión de la fibra. Dicho parámetro está íntimamente ligado a la formación de neps durante la apertura y carado de las fibras en el proceso de hilatura. A mayor rigidez a la flexión menor tendencia a la formación de neps y viceversa.. Si bien la determinación de éste parámetro es más correcta si se hace con fibras individuales que con haces de fibras, su determinación con haces de fibras en el Estelómetro puede dar información de utilidad.

En el siguiente enlace puede verse video sobre el ensayo Stelometer:
https://www.youtube.com/watch?v=qwT_vVWTC6A
 h

Componentes del ensayo e instrumento:

http://hydrology1.nmsu.edu/teaching/soil698/Student_Reports/STELOMETER/description.html

Procedimiento de operación estándar y preparación de la probeta:

http://hydrology1.nmsu.edu/teaching/soil698/Student_Reports/STELOMETER/so_p.html

Procedimiento de operación estándar y cálculos:

http://hydrology1.nmsu.edu/teaching/soil698/Student_Reports/STELOMETER/so_p2.html

Calibración del ensayo:

http://hydrology1.nmsu.edu/Teaching_Material/SOIL698/Student_Reports/STELOMETER/STELOMETER/calibration.html

1.5.2.1.17 Influencia de la temperatura y el contenido de humedad en las propiedades mecánicas de las fibras

Las propiedades mecánicas de las fibras pueden variar en función del contenido de humedad de éstas. Por este motivo los ensayos mecánicos de las fibras textiles deben de realizarse en un clima normalizado y las fibras se han de dejar al menos 24 horas en estas condiciones estándar antes de realizar los ensayos.

En la figura 173 pueden observarse las curvas carga-alargamiento de diversas a diferentes humedades. Mientras que el Algodón y las fibras naturales de base celulósica se convierten más fuertes y su módulo varía poco al aumentar la humedad, el Rayón viscosa pierde su resistencia y módulo de forma radical con la humedad. Por este motivo la determinación de la resistencia y alargamiento en algunas fibras se hace en dos condiciones distintas de humedad (ensayo en seco y en húmedo).

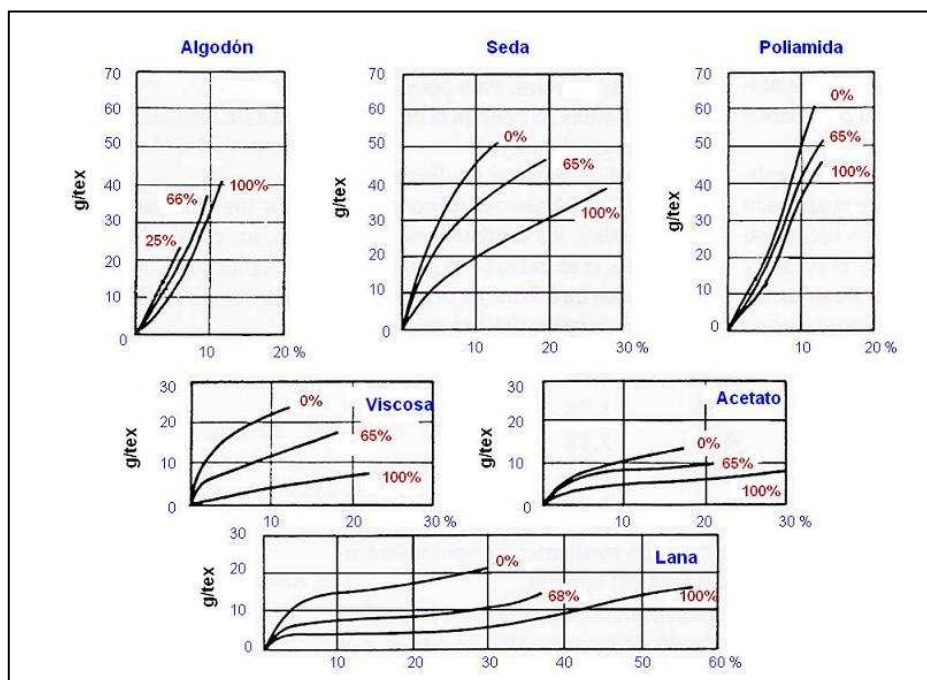


Figura 172. Variación de las propiedades mecánicas de las fibras con la humedad

Tanto la Lana como la Seda pierden algo de resistencia con la humedad, pero disminuye mucho su módulo y aumenta considerablemente su alargamiento. Las fibra químicas de polímero sintético como la Poliamida sus propiedades varían poco con la humedad.

Esta singularidad de las fibras textiles tiene una gran importancia al escoger la fibra adecuada para cada aplicación teniendo en cuenta las condiciones ambientales de uso.

1.5.2.1.18 Influencia de la luz en las propiedades mecánicas de las fibras

Cuando las fibras textiles se exponen a la luz, a radiaciones ultravioletas o infrarrojas de forma continuada, pueden deteriorarse lo cual se traduce en una disminución de sus resistencia y alargamiento a la rotura.

El grado de deterioro depende del tipo de fibra (naturaleza química), finura, colorantes, ensimajes y otros productos auxiliares presentes en la fibra, así como la intensidad de la radiación. El comportamiento de una fibra no será igual si recibe luz solar directa, a través de un cristal o bien se trata de luz artificial. En el caso de la luz solar, la época del año y la ubicación geográfica es importante.

No tendremos en cuenta aquí, aunque cabría considerarlo, el posible efecto sobre las propiedades mecánicas de las fibras de los productos químicos o bien factores ambientales como los humos, moho, bacterias o viento.

1.5.2.2 Esfuerzos multiaxiales

Hasta aquí se ha tratado las propiedades mecánicas de las fibras cuando están sometidas a tensiones en sentido axial. Sin embargo la mayoría de los materiales textiles están sometidos durante su uso a tensiones multiaxiales.

1.5.2.2.1 Rigidez a la flexión

La rigidez a la flexión de una fibra textil se define como el par de fuerzas necesario para provocar una unidad de curvatura de ésta.

La flexibilidad de una fibra depende de su finura (a más finura menos rigidez a la flexión), forma de la sección transversal (a mayor área de la sección más rigidez), módulo de elasticidad (a mayor módulo mayor rigidez), densidad (a mayor densidad mayor rigidez).

La rigidez a la flexión de una fibra influye en parámetros tan importantes como el cayente (a más rigidez menor cayente), a la recuperación de la arruga (a mayor rigidez a la flexión menor tendencia al arrugado), a la tendencia a la formación de neps (a mayor rigidez menos neps) y a la mano (a mayor rigidez, la mano - tacto- es más dura).

1.5.2.2.1.1 Medida de la flexibilidad

La rigidez a la flexión de monofilamentos gruesos puede medirse colocando la probeta de forma horizontal, reteniéndola por sus dos extremos y midiendo la deformación que sufre cuando se le aplica una carga en la parte central. El dinamómetro utilizado será igual al utilizado para la tracción axial de fibra individual pero con unas modificaciones en las mordazas tal como puede verse en la figura 173.

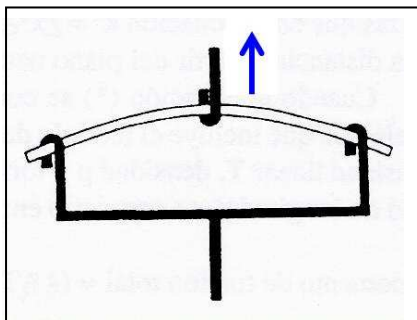


Figura 173. Ensayo de la flexibilidad de fibras individuales

Otro método es estudiar la deformación de anillos circulares de fibras cuando se le aplica una carga. Se cuelga de una barra un anillo circular de fibra. A continuación se le aplica un peso produciéndose una deformación tal como se muestra en la figura 174.

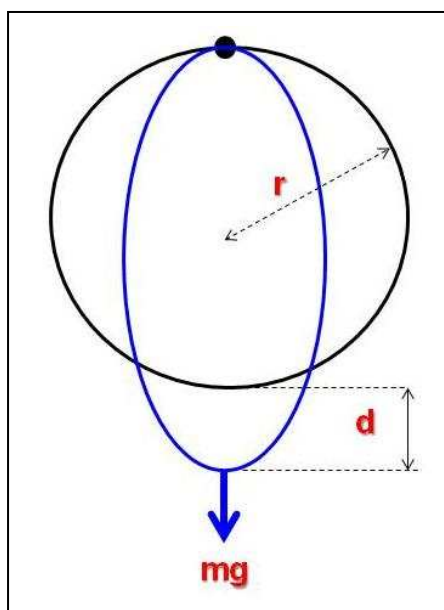


Figura 174. Ensayo del bucle o lazo

$$\text{Rigidez a la flexión} = \frac{0,0047 \cdot mg (2\pi r)^2 \cdot \cos \theta}{\tan \theta}$$

1.5.2.2.2 Resistencia al lazo y al nudo

Si una fibra flexionada recibe una tensión, ésta se romperá más fácilmente que si se encuentra enderezada o en línea recta. Ello es debido a que la rotura se inicia antes como consecuencia de la gran extensión que sufre la capa externa de la fibra. La reducción, en porcentaje, de esta resistencia se muestra en la tabla 11, en la cual puede observarse que es mayor en las fibras de menor alargamiento a la rotura. Un efecto similar se produce en la resistencia al nudo de las fibras.

| Fibra | $\frac{\text{Resistencia al lazo}}{\text{Tenacidad}} \cdot 100$ | $\frac{\text{Resistencia al nudo}}{\text{Tenacidad}} \cdot 100$ |
|------------------------|---|---|
| Algodón | - | 91 |
| Viscosa | - | 58-90 |
| Viscosa alta tenacidad | 96 | 63 |
| Acetato | - | 95 |
| Lana | - | 85 |
| Seda | - | 88 |
| Poliamida | 82 | 86-98 |
| Acrílica | 81 | - |
| Poliéster | 73 | - |
| Vidrio | 8 | 5 |

Tabla 23. Reducción, en %, de la resistencia en los ensayos del bucle y nudo

1.5.2.2.3 Rigidez torsional

Es la dificultad que ofrecen las fibras a ser torcidas sobre su propio eje. Se define como el par de fuerzas necesario para dar una unidad de torsión, es decir, una deflexión entre los extremos de una fibra de longitud unitaria.

El módulo de rigidez, es la relación entre la rigidez a la torsión (o tensión de cizalla) y la rigidez a la deformación. La rigidez a la deformación se mide en radianes. La finura de la fibra tiene una gran influencia en esta rigidez, igual como sucede en la rigidez a la flexión.

La humedad afecta considerablemente a la rigidez torsional de las fibras puesto que a medida que aumenta su contenido de humedad pueden torcerse con mayor facilidad.

1.5.2.2.4 Torsión de rotura

Si una fibra se tuerce excesivamente puede llegar a romperse. La torsión necesaria para producir la rotura de las fibras se denomina torsión de rotura.

El número de vueltas de torsión necesarias para provocar la rotura es inversamente proporcional a su diámetro.

| Fibra | Rango de ángulos α° |
|-----------------------------|-----------------------------------|
| Poliamida, multifilamento | 47-55 |
| Poliamida, fibra cortada | 56-63 |
| Poliéster, multifilamento | 42-50 |
| Poliéster, fibra cortada | 59 |
| Acetato | 40-46 |
| Lana | 38-41 |
| Seda | 39 |
| Viscosa normal | 35-39 |
| Viscosa, alta tenacidad | 31-33 |
| Viscosa, muy alta tenacidad | 23 |
| Algodón | 34-37 |
| Acrílica | 33-34 |
| Lino | 21-29 |
| Vidrio | 2-5 |

Tabla 24. Ángulo de rotura de diversas fibras textiles. Condiciones del ensayo: 65% HR, 1 cm longitud probeta, tensión 10 N/mm², 240 vueltas/minuto

1.5.3 Absorción de humedad

La mayoría de fibras textiles son higroscópicas, es decir que son capaces de absorber la humedad del aire. La humedad penetra en el interior de la materia fibrosa dando la sensación de que está húmeda o mojada.

Esta propiedad de las fibras, tiene una gran importancia en las prendas que estén en contacto con la piel, dado que absorben el sudor y contribuyen a la sensación de confort. Sin embargo también puede ser un inconveniente dado que para secarlas tendrá que eliminarse toda la humedad que ha absorbido. Finalmente la higroscopicidad de las fibras puede llegar a ser un inconveniente cuando se trata de obtener tejidos impermeables.

La absorción de humedad modifica las propiedades físicas de las fibras. Provoca su hinchamiento y por lo tanto una variación en sus dimensiones longitudinales y transversales. Como consecuencia de ello, también varía su procesabilidad. Mencione aparte merece, por su importancia, la variación de la conductividad eléctrica de las fibras con la humedad, dado que influye directamente sobre los fenómenos de electricidad estática que tantos trastornos producen en tanto en el proceso textil como en el uso de los productos manufacturados.

La capacidad que tienen las fibras para absorber, retener y propagar el agua a través suyo, influye en los procesos de tinte y acabado donde se utiliza el agua como medio de transportes de diversos productos químicos.

Finalmente, y no menos importante, es la influencia de la capacidad de absorción de humedad de las fibras textiles en el comercio de éstas puesto que afecta al peso de las transacciones comerciales.

Todas las fibras textiles tienen una cierta cantidad de “humedad natural” que varía según el tipo de fibra. Esta humedad varía con la humedad relativa del aire (*relación entre la cantidad absoluta de agua que efectivamente existe en 1 cm³ de aire seco y la cantidad máxima posible contenida a la misma temperatura en 1 cm³, expresado en %*). Como consecuencia de ello, podemos decir que el peso de una fibra variará en función de la humedad relativa del aire.

Así por ejemplo si la humedad relativa del aire es del 65%, en 100 kg de algodón habrán 8,5 kg de agua, mientras que si la humedad relativa es del 75%, habrán 11 kg de agua. La persona que compra esta fibra, está pagando agua a precio de algodón y además en una cantidad variable según la humedad del ambiente. Es necesario, por lo tanto, acordar unos criterios sobre la cantidad máxima de agua tolerada en las fibras textiles con el fin de regular las transacciones comerciales de los textiles. De esta necesidad surgieron los “Acondicionamientos”, que son laboratorios públicos que tienen como finalidad la determinación objetiva e imparcial el peso comercial de las partidas de fibras textiles que se comercian, teniendo presente el porcentaje máximo legal, acordado por norma internacional, que puede tolerarse en cada tipo de fibra.

| Humedad relativa | 35% | 55% | 65% | 75% | 92% |
|------------------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| La lana absorbe una humedad de ... | 11% | 15% | 17% | 18,5% | 25% |
| El algodón absorbe una humedad de | 5,5% | 8% | 8,5% | 11% | 16,5% |

Tabla 25. Variación del contenido de humedad de la lana y el algodón en función de la humedad relativa del aire.

El acondicionamiento de una materia textil, es el conjunto de operaciones por las cuales se determina la masa comercial de éste textil.

El principio del método se basa en la experiencia según la cual, el contenido de humedad de todo producto textil, abandonado a las influencias naturales, oscila alrededor de una media constante. Esta media, es función del clima del lugar considerado.

Después de un largo periodo de tiempo se ha conseguido un acuerdo internacional para cada tipo de fibra y estado de transformación, de un valor medio que se denomina tasa legal de humedad o tasa de reprís. El peso de la mercancía con la proporción de agua igual a la tasa de reprís correspondiente, determina el estado normal de la mercancía o peso comercial.

1.5.3.1 Capacidad de retención de agua de las fibras textiles

La absorción de agua de las fibras textiles se debe a diversos factores:

- a) La humedad provocada por la absorción es en parte consecuencia de la higroscopicidad. Produce un hinchamiento en seco, por lo que se le denomina *agua de hinchazón*.

- b) El *agua capilar* absorbida por el efecto de la capilaridad, llena todos los espacios capilares y los huecos entre las células de las fibra.
- c) El agua que se adhiere a la superficie de la fibra revive el nombre de *agua de adhesión*.

La *capacidad de retención* es la suma de los dos primeros conceptos (agua de hinchazón y agua capilar). Éstos no pueden determinarse por separado sino sólo juntos, en un valor aproximado. Para ello se retira del material mojado, el agua de adhesión (hasta un resto inevitable), mediante centrifugación. Debe de evitarse que se elimine el agua capilar o de hinchazón.

La muestra se moja en agua destilada a 20°C de temperatura, con 1 g/l de un agente humectante (por ejemplo Nekal P), y a continuación se centrifuga. Este ensayo se realiza en un recipiente de centrifugación normalizado, que tiene un número de rotaciones y tiempo de centrifugación constantes.

La capacidad de retención de agua es el cociente entre la cantidad de agua retenida por la fibra en determinadas condiciones y el peso de la fibra seca a 105 °C de temperatura. Utilizando en lugar del peso seco, el peso de la fibra expuesta al clima normal, se obtiene la capacidad relativa de retención de agua.

| Fibra | Capacidad de retención de agua en % |
|-----------------------|-------------------------------------|
| Poliéster | 3-5 |
| Cloruro de polivinilo | 6 |
| Poliamida | 9-12 |
| Acetato | 20-25 |
| Cáñamo | 30 |
| Lana | 40-45 |
| Seda | 40-45 |
| Yute | 45 |
| Algodón | 45-50 |
| Lino | 50-55 |
| Rayón viscosa | 85-120 |
| Rayón al cobre | 100-125 |

Tabla 26. Capacidad de retención de agua (%) de algunas fibras textiles

Veamos un ejemplo:

Una muestra de fibra, después de la centrifugación, tuvo un peso de 280 g. A continuación se puso a secar obteniendo el peso en seco que fue de 200 g. La retención de agua fue de 280 g – 200 g = 80 g. La capacidad de retención de agua será:

$$\text{Retención de agua en \%} = \frac{\text{Peso una vez centrifugado} - \text{Peso seco}}{\text{Peso seco}} \cdot 100$$

$$\text{Capacidad de retención de agua en \%} = \frac{280-200}{200} \cdot 100 = 40 \%$$

1.5.3.2 Turgescencia

Cuando las fibras absorben agua, se produce un cambio en sus dimensiones transversales y longitudinales, una turgescencia transversal y otra de axial.

Cuando una fibra se hincha, la distancia entre sus cadenas cristalinas no experimenta ninguna variación, sólo se hincha la parte amorfa. Este hinchamiento, hace cambiar la resistencia y el alargamiento a la rotura así como la estabilidad dimensional de los tejidos.

Al aumentar la cantidad de grupos OH de una fibra, aumentará su turgescencia. Así, por ejemplo, el rayón diacetato, será más turgesciente que el triacetato.

El rayón viscosa en seco, tiene un poro de 5 Amstrongs. No tiñe en seco dado que no puede penetrar el colorante. El húmedo los poros se agrandan a 25 Amstrongs, tiñendo con facilidad.

Los fenómenos de turgescencia, tendrán por lo tanto, una gran trascendencia en los procesos de tintura y acabado, donde se utiliza el agua como medio de transporte de colorantes y otros productos químicos.

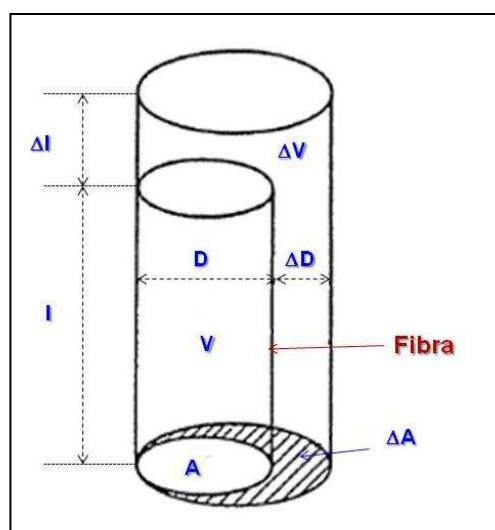


Figura 175. Turgescencia de una fibra textil

Se pueden diferenciar dos tipos de turgescencia:

- Turgescencia isotrópica*: la hinchazón se produce por un igual en todas las direcciones, como por ejemplo la gelatina.
- Turgescencia anisotrópica*: la hinchazón se produce más en sentido transversal que longitudinal. Como sucede en la mayoría de fibras textiles.

El agua, como agente turgesciente, tiene una acción plastificante sobre el algodón y la lana. Por este motivo muchas prendas se mojan antes del planchado o bien se planchan con vapor húmedo. Con ello se consigue un buen planchado o fijado a temperaturas más bajas que si se emplea vapor seco.



Figura 176. El agua, como agente turgesciente, tiene una acción plastificante sobre el algodón y la lana Fuente: <http://www.vix.com/es/lej/hogar/2008/03/14/como-limpiar-tu-plancha-a-vapor>

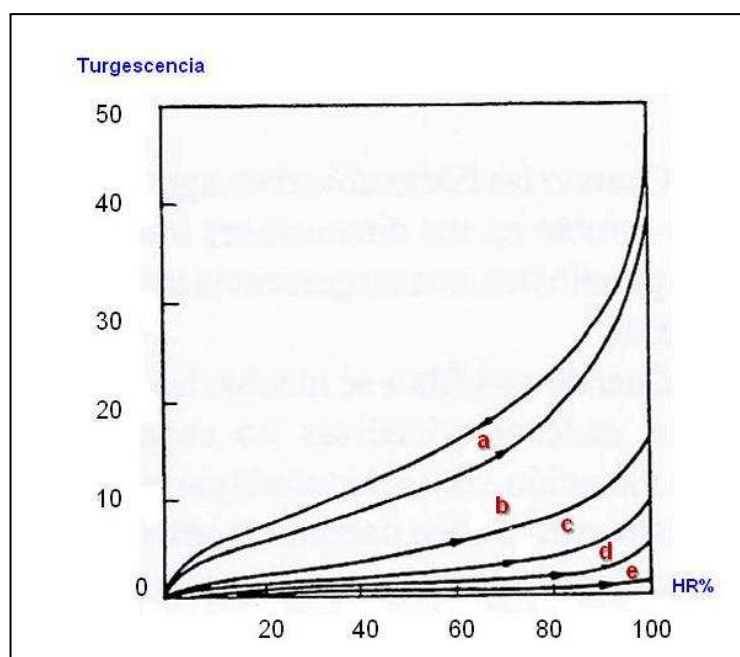


Figura 177. Variación de la Turgescencia de las fibras en función de la humedad relativa.

- a) Turgescencia del área de la sección transversal del Algodón en la fase de absorción y desorción.
- b) Turgescencia del diámetro de la Lana
- c) Turgescencia del área de la sección transversal de la Poliamida
- d) Turgescencia de la longitud del Algodón

1.5.3.3 Definiciones básicas de acondicionamiento

Peso bruto de una partida: es el peso total (fibra + embalajes) de la misma en el momento de la presentación.

Tara: es el peso de todo lo que no se considera como parte integrante del material a acondicionar (embalaje, flejes, cajas, etiquetas, etc.).

Peso neto de una partida: es el peso de la materia textil a acondicionar. Es la diferencia entre el peso bruto y la tara.



Figura 178. Peso bruto y neto

Muestra: Es cada extracción de una pequeña porción de materia de la partida. La suma de dichas extracciones constituye el total del cual se preparan las probetas de acondicionamiento.

Probeta: Porción de materia representativa de la partida y confeccionada a partir de las muestras extraídas de la misma y destinada a ser acondicionada.

Peso primitivo de la probeta: es su peso neto en el estado natural en que se encuentra en el momento de ser extraída de una determinada partida.

Peso seco al absoluto de una probeta o Peso anhidro: Es el peso de la misma después de ser desecada completamente en la estufa.

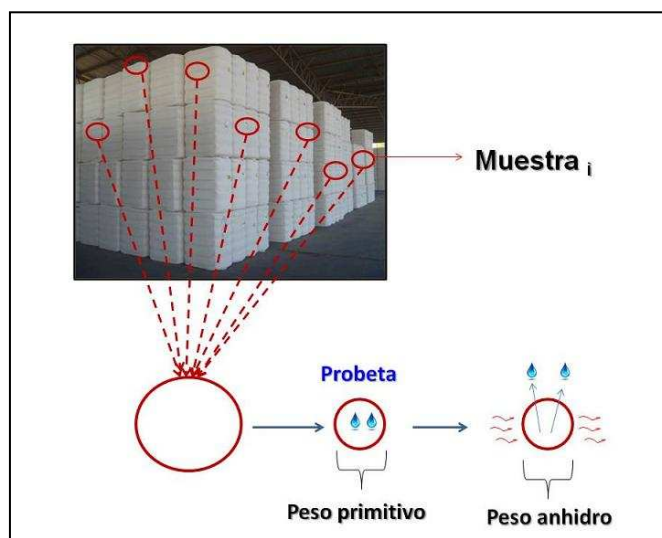


Figura 179. Proceso de extracción de muestras, probetas y acondicionado

Tanto la Lana como la Seda pierden algo de resistencia con la humedad, pero disminuye mucho su módulo y aumenta considerablemente su alargamiento. Las fibra químicas de polímero sintético como la Poliamida sus propiedades varían poco con la humedad.

Esta singularidad de las fibras textiles tiene una gran importancia al escoger la fibra adecuada para cada aplicación teniendo en cuenta las condiciones ambientales de uso.

Tasa legal de humedad o reprís: Es la cantidad de agua expresada en gramos que debe de añadirse a 100 gramos de materia textil completamente seca para obtener el peso comercial o legal correspondiente. La tasa legal de humedad, es la cantidad comercial establecida y admitida internacionalmente. Cada materia textil y sus diversos estados del proceso de fabricación, tiene una determinada tasa legal.



Figura 180. Humedad de una partida

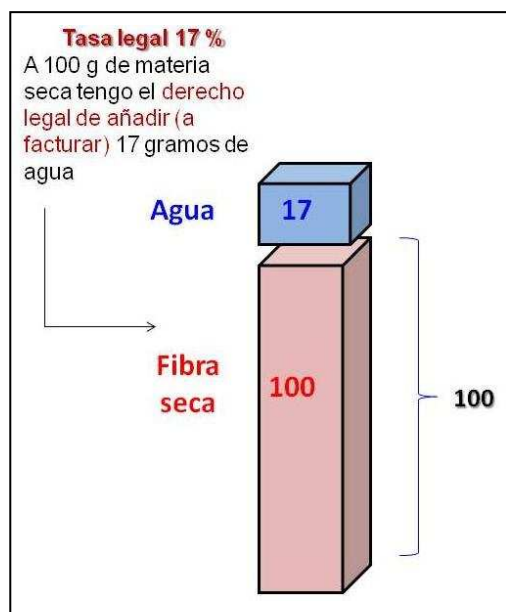


Figura 181. Tasa legal de humedad o reprís

Cuando las materias contienen la humedad correcta correspondiente a la tasa, podemos decir que están acondicionadas y su peso en aquel momento es el peso acondicionado.

Dicho peso es el que se tiene siempre en consideración en toda transacción comercial o cálculo de fabricación. Si una determinada materia tiene un exceso de humedad respecto a la definida por la tasa, se dice que tiene “*pérdida*”, mientras que si la humedad es menor que la permitida deberá aplicársele una “*bonificación*”.

Tasa legal de una partida: es la cantidad de humedad calculada sobre el peso seco absoluto de dicha partida en base a su tasa legal de humedad oficial o convenida.

Peso legal o acondicionado de una partida: es la suma del peso al seco absoluto de dicha partida y la de la humedad correspondiente aplicándole la tasa legal correspondiente.

$$P_l = P_0 \cdot \frac{100+H}{100}$$

$P_l = \text{Peso legal}$; $P_0 = \text{Peso anhidro}$; $H = \text{Tasa legal de humedad}$

Si la tasa legal de la lana lavada es del 17%, ello significa que a 100 gramos de materia totalmente seca, es necesario añadir 17 gramos de agua para llevarla a las condiciones legales, o sea que 117 g de dicha lana acondicionada, contendrán 17 g de agua, por lo tanto el porcentaje de humedad de dicha materia será:

Si en 117 gramos de materia hay 17 g de agua
en 100 gramos habrá x g de agua

$$x = \frac{100 \cdot 17}{117} = 14,54 \text{ gramos} \quad \text{Por lo tanto la humedad será del } 14,58\%$$

Toda lana lavada cuya humedad sea mayor del 14,53%, vendrá afectada por una disminución de peso (*pérdida*) de la partida al calcular el peso acondicionado. En cambio si su porcentaje de humedad es inferior a 14,53%, deberá sumársele una determinada cantidad (*bonificación*) para obtener su peso legal.

Veamos un ejemplo:

En una partida de lana lavada de 150 kg, se ha hallado una humedad del 16,32%. De ello se deduce que la cantidad de materia seca en 150 kg es:

Si en 100 kg hay 16,32 kg de agua
en 150 kg habrá x

$$x = \frac{150 \cdot 16,32}{100} = 24,48 \text{ kg de agua y } 125,52 \text{ kg de materia seca}$$

Como la tasa legal de la lana lavada es del 17 %, ello quiere decir que a 100 kg de materia seca tengo derecho a añadir (factura) 17 kg de agua). Pero en este caso no tengo 100 kg de materia seca sino 125,52 y por lo tanto puedo calcular lo que tengo derecho a añadir a estos 125,52 kg de materia seca para que estén acondicionados.

Si a 100 kg de materia seca tengo derecho a añadir 17 kg de agua
a 125,52 kg de materia seca tendré derecho a añadir x

$$x = \frac{125,52 \cdot 17}{100} = 21,338 \text{ kg}$$

Por lo tanto el peso comercial acondicionado será = 125,52 + 21,338 = 146,85 kg

Como el peso de la partida era de 150 kg y en realidad sólo podré facturar legalmente 146,85 kg eso quiere decir que a la partida se le ha de aplicar una pérdida.

Si en 150 kg sólo se han de facturar 146,85 kg
En 100 kg tendré que facturar sólo x

$$x = \frac{100 \cdot 146,85}{150} = 97,9 \text{ kg} \quad \text{Pérdida: } 100 - 97,9 = 2,1 \%$$

Comprobación: Si aplicamos a 150 kg una pérdida de 2,1%

$$\frac{150 \cdot 2,1}{100} = 3,15 \text{ kg.} \quad 150 - 3,15 = 146,85 \text{ kg}$$

Veamos otro ejemplo:

En otra partida de lana lavada de 185 kg, se ha hallado una humedad del 12,40 %. De ello podemos deducir que la materia seca

Si en 100 kg hay 12,40 kg de agua
En 185 kg habrá x kg

$$x = \frac{185 \cdot 12,40}{100} = 22,94 \text{ kg de agua y } 185 - 22,94 = 162,06 \text{ kg de materia seca}$$

Como la tasa legal de la lana lavada es del 17%, ello quiere decir que ha 100 kg de materia seca tengo derecho a añadir (facturar), 17 kg de agua para que el peso esté acondicionado.

Si a 100 kg de materia seca puedo añadir legalmente 17 kg de agua
a 162,06 tendré derecho a añadir x kg de agua

$$x = \frac{162,06 \cdot 17}{100} = 27,55 \text{ kg de agua}$$

Por lo tanto el peso comercial final será: $162,06 + 27,55 = 189,61 \text{ kg}$

$$189,61 - 185 = 4,61 \text{ kg}$$

Estos 4,61 kg, expresado en % respecto a los 185 kg equivaldrá a 2,49%. Este **2,49 % es la Bonificación** que habrá que aplicarle al peso de la partida (185 kg) para obtener el peso comercial (189,61 kg).

1.5.3.4 Determinación de la tasa legal de humedad de una fibra textil

Para determinar la tasa legal de humedad de una fibra textil, se deseca un gran número de muestras de fibra con el fin de establecer una media, con gran precisión, constante para cada materia textil.

Si se toma una gran cantidad de muestras de algún textil del que se quiere determinar el porcentaje de humedad en relación al peso seco anhidro, se encuentra que ésta, oscila alrededor de un valor medio constante. Este valor medio corresponde, evidentemente, a las condiciones que influyen al textil en cuanto a propiedades de absorción, es decir, a las características físicas del textil dentro del medio que se halla.

Si observamos el reprís del textil en una corriente de aire mantenida rigurosamente a una temperatura y humedad relativa del aire constante, comprobaremos que, según la materia, su peso varía primero rápidamente (algunas horas) y después lentamente (6-24 horas) para llegar poco a poco a una cifra constante, que no varía, cualquiera que sea el tiempo de exposición dentro del mismo ambiente.

Esta cifra, de peso constante, no es siempre la misma, según el estado húmedo o seco. Si la muestra estuviera seca antes de la experiencia, su reprís es inferior a la media y si está húmeda es superior a la media.

Esta incapacidad del textil de llegar al reprís medio de humedad alrededor del cual se encuentra su estado higrométrico, si se encuentra en un estado diferente, se llama "fenómeno de remanencia".

Si una muestra de lana lavada que contiene un 14% de agua, es puesta en una atmósfera estándar (20°C y 65% de humedad relativa), su peso variará rápidamente aumentando un 1,5% en pocas horas, después variará lentamente (24 horas) hasta alcanzar una cifra invariable que corresponderá a un reprís del 16,5%. Si la misma fibra humedecida es puesta en la misma atmósfera estándar, se producirá un fenómeno similar al expuesto anteriormente, que llega a una constante del 17,5%, tomándose como valor de tasa la media de ambas, es decir 17%.

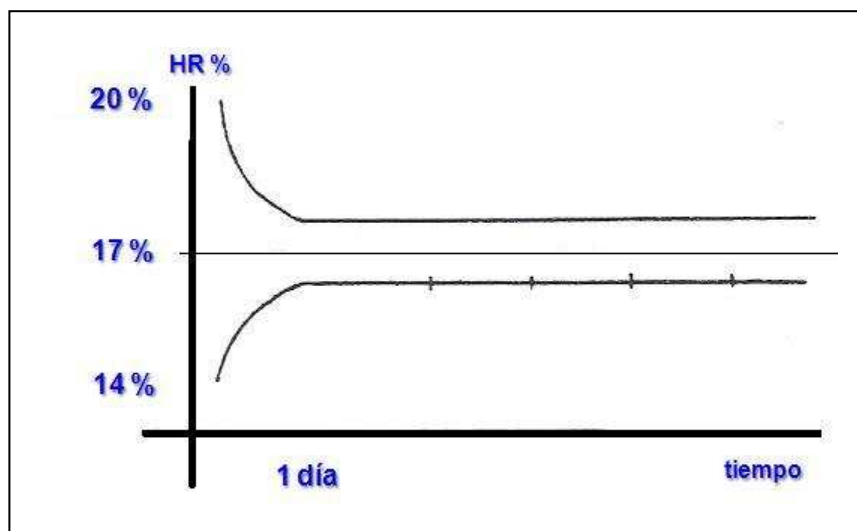


Figura 182. El fenómeno de la remanencia

No obstante, existen unas determinadas materias en unos estados especiales que para ser trabajadas necesitarán una humidificación más o menos fuerte, por ejemplo la lana peinada, adoptándose esta proporción como tasa de esta materia en éste estado.

La tasa legal de humedad o reprís afecta también al título de los hilados. Un hilo peinado de estambre (tasa del 18,25%), acusa con esta tasa, un número más grueso que tendrá realmente de su puesta en estado de equilibrio higroscópico en atmósfera estándar. El mismo hilo acondicionado al 17%, acusa una variación de un número más delgado.

| Fibra | | Tasa legal de humedad (%) |
|--------------|--------------------------|---------------------------|
| Lana y pelos | Fibras peinadas | 18,25 |
| | Fibras cardadas | 17,00 |
| Crines | Fibras peinadas | 16,00 |
| | Fibras cardadas | 15,00 |
| | Seda | 11,00 |
| Algodón | Fibras sin tratar | 8,50 |
| | Fibras mercerizadas | 10,50 |
| | Miraguano (Capoc) | 10,90 |
| | Lino | 12,00 |
| | Cáñamo | 12,00 |
| | Yute | 17,00 |
| | Abacá (Manila) | 14,00 |
| | Esparto | 14,00 |
| | Coco | 13,00 |
| | Retama | 14,00 |
| | Ramio (fibra blanqueada) | 8,50 |
| | Sisal | 14,00 |
| | Alginato | 20,00 |
| | Rayón acetato | 9,00 |
| | Rayón triacetato | 7,00 |
| | Rayón viscosa | 13,00 |
| | Rayón viscosa Modal | 13,00 |
| | Rayón al cobre | 13,00 |
| | Proteínica | 17,00 |
| | Acrílica | 2,00 |

| Fibra | | Tasa legal de humedad (%) |
|--|-------------------|-----------------------------|
| Modacrílica | | 2,00 |
| Clorofibra | | 2,00 |
| Fluorofibra | | 0,00 |
| Poliamida (Nylon) 6 y 6.6 | Fibra discontinua | 6,25 |
| | Fibra continua | 5,75 |
| Poliamida (Nylon) 11 | | |
| Fibra continua y discontinua | | 3,50 |
| Poliimida | | 3,00 |
| Poliéster | | |
| Fibra continua y discontinua | | 1,50 |
| Polietileno | | 1,50 |
| Polipropileno | | 2,00 |
| Policarbamida | | 2,00 |
| Aramida | m-aramida | 1,38 |
| | poli(amida-imida) | 2,10-3,40 |
| | p-aramida | 7,0 (3,5 la de alto módulo) |
| Poliuretano | Fibra discontinua | 3,50 |
| | Fibra continua | 3,00 |
| Vinilo | | 5,00 |
| Trivinilo | | 3,00 |
| Elastodieno | | 1,00 |
| Elastano | | 1,50 |
| Vidrio textil | | |
| Filamento de $\phi > a 5 \mu\text{m}$ | | 2,00 |
| Filamento de $\phi \leq a 5 \mu\text{m}$ | | 3,00 |
| Fibra metálica | | 2,00 |
| Amianto | | 2,00 |
| Hilo de papel | | 13,75 |

Tabla 27. Tasa legal de las fibras textiles

1.5.3.5 Operación de acondicionamiento. Metodología

1.5.3.5.1 Procedimiento

El acondicionamiento consiste en la determinación del peso de una determinada materia textil en un estado legal de humedad, aplicándole una determinada tasa o reprís.

El procedimiento empleado para el acondicionamiento consiste en la desecación absoluta de un determinado número de probetas confeccionadas a partir de muestras tomadas de diferentes partes de la partida sometida a control y representativas de la misma.

El peso legal acondicionado se calcula añadiendo al peso seco o anhidro, el porcentaje legal de humedad que define la tasa o reprís.

El proceso comprende las siguientes operaciones:

1.- Pesada de cada unidad de la partida a su presentación en sus diversas unidades (balas, sacas, bobinas, cajas, etc.) con una aproximación de 1/1.000, obteniéndose con ello el peso bruto total de la partida.

2.- Tara de los embalajes (todo lo que no es el material textil a acondicionar) como sacas, rafias, cajas, cartones, flejes, etiquetas, etc. La comprobación de la tara se efectúa normalmente a razón de 1 bala de cada 10, 2 sacas de cada 1.000 kg. Cuando se trata de cajas y salvo indicación contraria, la comprobación de la tara se efectúa en todas ellas. En el caso de hilado en forma de cono/husada o bobina de peinado, se efectúan tantas taras como las pruebas que se van a realizar de acondicionamiento.

3.- Toma de muestras, de las partidas para la constitución de las pruebas de acondicionamiento. Esta delicada operación consiste en tomar el número de muestras cuyo contenido en humedad represente lo más exactamente posible el estado higrométrico de la partida. Dado que la irregularidad en la repartición de la humedad de una materia textil es notable la toma de muestras debe efectuarse con unas normas establecidas a nivel internacional. Del total de muestras extraídas se preparan las probetas para el acondicionamiento.

4.- Secado de las probetas de acondicionamiento. Una vez pesadas la probetas (peso primitivo), son desecadas en estufas especiales, cuyo diseño y funcionamiento viene regulado por la Unión Internacional de Acondicionamientos Públicos (UIAP).

5.- Cálculo del peso acondicionado. Se lleva a cabo después de haber determinado la humedad a partir del peso primitivo y el peso anhidro de las probetas, efectuando la corrección correspondiente que resulta de aplicar la tasa legal de humedad al peso anhidro promedio de dichas probetas (bonificación o pérdida). Los resultados se refieren al peso primitivo total de las partidas.

Ejemplo 1

Acondicionamiento de una partida de lana lavada:

Número de balas: 10
 Peso bruto comprobado: 1.159,42 kg
 Taras declaradas: 50,00 kg
 Peso neto de la partida: 1.100,42 kg
 Humedad promedio de la partida: 13,10 %

La materia completamente seca que hay en 100 g de lana en el momento de la presentación es: $100 - 13,10 = 86,90$ g.

Dado que la tasa legal de la lana es del 17%, ello quiere decir que en 100 g de lana seca, tengo derecho a añadir 17 g de agua. Como no tengo 100 g de lana seca sino 86,90 g entonces tendré derecho a añadir:

$$\frac{86,90 \cdot 17}{100} = 14,773 \text{ g de agua}$$

De ello se deduce que 100 g de materia en las condiciones en que fue entregada para su acondicionamiento equivalen a $86,90 + 14,773 = 101,673$ g acondicionados.

Por lo tanto $101,673 - 100 = 1,673$ g de materia acondicionada que deben ser añadidos a cada 100 g de la partida para obtener el peso acondicionado. Es decir, dicha partida debe experimentar una **bonificación** de 1,673 %.

Por consiguiente el peso comercial será:

$$1.100,42 + \frac{1.100,42 \cdot 1,673}{100} = 1.118,829 \text{ kg}$$

Ejemplo 2

Acondicionamiento de una partida de hilo de lana lavada:

Número de cajas: 10

Peso bruto comprobado de la partida: 1.213,23 kg

Tara comprobada (cajas y tubos): 416,18 kg

Peso neto; 798,05 kg

Humedad promedio de la partida: 17,820 %

La materia seca en 100 g de hilo en el momento de su presentación será:

$$100 - 17,820 = 82,180 \text{ g}$$

Dado que la tasa legal en este caso es del 18,25 %, en condiciones legales 82,180 g de hilo completamente secos deberán contener:

$$\frac{82,180 \cdot 18,25}{100} = 14,997 \text{ g de agua}$$

De lo que deduce que 100 de materia en las condiciones en que fue entregada para su acondicionamiento equivalen a $82,180 + 14,997 = 97,177$ g acondicionados.

Por lo tanto $100 - 97,177 = 2,823$ g de materia acondicionada que deberá ser restada a cada 100 g de la partida para obtener su peso legal acondicionado. Es decir que dicha partida debe experimentar una **pérdida** del 2,823 %.

Por lo tanto, el peso neto acondicionado (peso comercial) de la partida será:

$$798,03 - \frac{798,03 \cdot 2,823}{100} = 775,53 \text{ kg}$$

1.5.3.5.2 Muestreo

La extracción de muestras de las partidas para la constitución de las pesadas de acondicionado, constituye una de las operaciones más delicadas del proceso de acondicionado. Dicha operación consiste en tomar del total de la partida un

determinado número de muestras cuyo contenido en humedad representa lo más exactamente posible el estado higrométrico de la bala, caja, bobina, etc., de la cual ha sido tomada. Puesto que las irregularidades en la repartición de la humedad en una materia textil son bastante notables, la toma de muestras debe efectuarse con unas normas que tiendan a nivelar este desequilibrio. Dichas normas se han establecido especificando en cada caso particular la forma de efectuar y la manera de realizarlo, teniendo en cuenta la forma, tamaño y bultos que componen la partida.

Se toman, asimismo, extremas precauciones para evitar los intercambios de humedad de las muestras ya tomadas con el medio ambiente durante el muy corto intervalo de tiempo que transcurre entre su extracción y la pesada.

El número de las muestras, cuya toma se efectúa a la vez que se pesa la partida, y el número de probetas que se preparan para ser acondicionadas, varía según el peso de dicha partida y la naturaleza de las unidades que la componen.

Las operaciones de pesaje y toma de muestras, se efectúa en cadena, es decir, a un mismo tiempo, evitándose toda corriente de aire, colocándose en recipientes de plástico de cierre hermético y llevadas rápidamente a la sección de pesaje para obtener el peso primitivo.

Como norma general y según el reglamento de la UIAP, se realiza la toma de muestras siguiente:

- el pesado de la muestra (peso primitivo) de cada prueba, se efectúa con una precisión de $\pm 0,05$ %.
- de una manera general el peso global de la muestra puede variar entre 360 y 2.400 g por cada 1.000 kg de peso neto a acondicionar, en función de su naturaleza y presentación de la materia.
- el número de extracciones debe estar compuesta por balas del mismo tipo y dimensiones. No pudiendo ser heterogéneo el lote. Es decir, debe estar con un mismo tratamiento y estado de presentación.

Balas de alta densidad (superior a 450 kg/m^3) y balas de densidad media ($200 \text{ kg} - 450 \text{ kg/m}^3$):

- todas las balas deben estar muestreadas por sonda no rotativa a presión mecánica, hidráulica o manual.
- La sonda deberá penetrar dentro de la bala paralelamente a las aristas, a un 47 % de la longitud de la bala en el sentido del prensado.

Balas de densidad baja (inferior a 200 kg/m^3):

- la extracción se hace con la mano (con guantes) en todas las balas.
- los puntos de extracción serán tres y estarán situados en diagonal a 1/5 superior de la bala, centro y 1/5 parte inferior de la bala.
- cada extracción será como mínimo de 80 g.
- la extracción global deberá ser del orden del 0,24 % de la masa de la partida.

| Número de balas del lote | Peso de la bala (kg) | Número de extracciones |
|--------------------------|----------------------|------------------------|
| 1 | 150 - 250 | 3 |
| 1 | ➤ 250 | 5 |
| 2 - 3 | 150 - 200 | 3 |
| 2 - 3 | ➤ 200 | 4 |
| 4 - 11 | 150 - 200 | 2 |
| 4 - 11 | ➤ 200 | 3 |
| ➤ 12 | 150 - 200 | 1 |
| ➤ 12 | ➤ 200 | 2 |

Tabla 28. Extracciones en función del número de balas y peso de ellas

Bobinas (fardos):

- extracción sobre todos los fardos
- la muestras pueden extraerse del corazón o exterior de las bobinas
- las muestras serán del 0,16 % del peso neto de cada fardo
- la extracción se efectuará sobre dos bobinas por fardo (0,8 % de cada bobina)
- el mínimo a extraer será de 100 g por bobina y un máximo de 300 g por bobina.

Hilados con soporte (hilado peinados y cardados):

Extracción entera: Cuando se efectúa sobre todos los paquetes del lote presentado y sólo se hará sobre la demanda.

- La muestra será extraída de cada caja en zonas distintas.
- para partidas pequeñas de 1 a 2 paquetes, 3 unidades por cada caja, para 3 paquetes o más, 1 unidad por caja.
- masa de la muestra global, mínimo 0,24 %

Extracción parcial: De una manera general, la regla será aplicada por cada 1.000 kg de peso neto presentado para determinar el número de kg puestos a extracción.

- cajas de peso inferior a 35 kg: 10 unidades sobre 10 cajas diferentes (mínimo 3)
- cajas de peso de 35 a 60 kg: ídem 8 x 8 (mínimo 3)
- cajas de peso de 60 a 150 kg: ídem 5 x 5
- cajas de peso superior a 150 kg: una sobre todas las cajas (mínimo 3)
- la masa global será del 0,24 % de la masa neta parcial de la partida puesta a extracción
- las muestras a desecar estarán constituidas por muestras unitarias obtenidas por devanado entero o parcial del cono
- las operaciones de devanado para construir las pruebas de estufa son por series inferiores a 3 unidades (2 sobre capa externa 1 sobre zona interna), 4 unidades (3 sobre capa externa, 1 sobre zona interna), 5 unidades (4 sobre capa externa, 1 sobre zona interna), 6 unidades (4 sobre capa externa, 2 sobre zona interna)

- en el caso de que la muestra no sea la totalidad del cono, se deduce por diferencia entre la masa total y la masa del soporte.

Hilos sin soporte (madejas y lanas de mercería):

Granel: Si el peso unitario de la madeja es de 250 g se sacan 10 muestras por cada 100 kg de peso neto presentado. Mínimo 5.

- el peso de las muestras debe aproximarse a 0,24 % del peso neto de la partida.

Ejemplos para 1.000 kg con:

Madejas de 300 g: $2,4/0,3 = 8$

Madejas de 500 g: $2,4/0,5 = 5$

Madejas de 500 g: mínimo 5

Hilos con ovillos. Los pesos unitarios son, en general, del orden de 40-50 g y el número de ovillos a extraer para respetar la norma del 0,24 % está en función del peso de la partida:

$$\frac{0,24 \cdot \text{peso de la partida}}{100 \cdot 0,04 \text{ ó } 0,05}$$

Por cada color del hilo, se debe emitir un boletín de acondicionamiento.

1.5.3.6 Cálculo de la tasa legal de mezcla de fibras

Tenemos un hilo de mezcla 45 % estambre y 55% poliéster. ¿Cuál es la tasa legal de esta mezcla?. Tasa legal del estambre: 18,25% y del poliéster: 1,5 %.

Cabe recordar que cuando se dice que el estambre (lana peinada) tiene una tasa legal de humedad del 18,25 %, ello quiere decir que en 118,25 g de hilo hay 18,25 de agua y 100 de materia seca, o sea que la humedad será:

Si en 118,25 g de hilo hay 18,25 de agua
en 100 g habrá x g

$$x = \frac{100 \cdot 18,25}{118,25} = 15,43 \%$$

Entonces proporcionalmente tenemos:

$$\frac{118,25}{18,25} = \frac{45}{x} = 6,945, \text{ que corresponde al estambre}$$

$$\frac{101,25}{1,5} = \frac{55}{x} = 0,812, \text{ que corresponde al poliéster}$$

Suma de % de la mezcla = $6,945 + 0,812 = 7,757$

Es decir que en 100 partes debe de haber 7,757 g de agua y 92,242 de materia seca.

Por lo tanto:

$$\frac{92,242}{7,757} = \frac{100}{x} = 8,407, \text{ que es la tasa legal de humedad de la mezcla}$$

También puede deducirse de la fórmula:

$$\frac{100 (100 + 18,25) \cdot (100 + 1,5)}{45 (100 + 1,5 + 55 (100 + 18,25))} = 8,407$$

Veamos un ejemplo con mezcla de 3 fibras distintas: ¿Cuál será la tasa legal de humedad de un peinado de mezcla 50% lana, 30% rayón viscosa y 20 % acrílica?. Tasa legal del estambre: 18,25 %, rayón viscosa: 13,0 % y acrílica: 2,0 %.

Por lo tanto y siguiendo el mismo razonamiento del ejemplo anterior:

$$\frac{118,25}{18,25} = \frac{100}{x} = 9,125, \quad \text{que corresponde al estambre}$$

$$\frac{113,0}{13,0} = \frac{100}{x} = 3,451 \text{ que corresponde al rayón viscosa}$$

$$\frac{102,0}{2,0} = \frac{100}{x} = 0,392 \text{ que corresponde a la acrílica}$$

Suma del % de mezcla: $9,125 + 3,451 + 0,392 = 12,968$

O sea que en 100 g debe de haber 12,968 g de agua y 87,032 de materia seca.
Por lo tanto:

$$\frac{87,032}{12,968} = \frac{100}{x} = 14,90 \text{ es la tasa legal compuesta de la mezcla}$$

1.5.3.7 Acondicionamiento de materias con cargas

Una materia textil se considera limpia cuando después de una serie de operaciones complementarias de limpieza adecuada, el contenido residual en materias extrañas es inferior a una tolerancia dada.

Pueden considerarse materias cargadas, la lana no lavada a fondo (tipo Mazament), mechas, hilos peinados con ensimaje, hilos cardados no desengrasado y en general todos los hilos con carga.

Todas estas materias deben sufrir unas operaciones de lavado o desengrasado a fin de permitir aplicar la tasa de reprís sobre el textil limpio para dar el peso comercial de la partida.

Los sistemas utilizados para eliminar las cargas son básicamente mediante un lavado de carácter industrial, cuya temperatura, concentración y componentes del baño varían según las materias a tratar. También puede utilizarse un procedimiento de extracción con disolventes tipo Soxhlet.

1.5.3.7.1 Ejemplos de acondicionamiento con cargas

Veamos un caso con los siguientes datos:

Peso primitivo : 4.614,4 g
 Peso anhidro graso: 4.087,9 g
 Humedad: 11,409

Desgrasado:
 Peso primitivo: 1.678,51 g
 Peso anhidro graso: 1.487,0 g
 Peso anhidro lavado: 1.467,7 g
 Cuerpos extraños: $1.487,0 - 1.467,7 = 19,3$ g

$$\text{Cuerpos extraños en \%} = \frac{19,3 \cdot 100}{1.678,5} = 1,150 \%$$

El conjunto de la humedad y materias extrañas es de: $11,409 + 1,150 = 12,559$ %

Luego 100 kg presentados se reducen al peso anhidro de $100 - 12,559 = 87,441$

Aplicando la tasa de reprís de la fibra que en este caso es del 17%:

$$\frac{87,441 \cdot 117}{100} = 102,306$$

De donde $102,306 - 100 = 2,306$ % de bonificación después del lavado.

Para obtener el peso comercial lavado del lote o partida se debe multiplicar el peso neto de la partida por 102,306. Añadiendo el resultado después del lavado el contenido de materias extrañas permite determinar el peso comercial con grasa de la partida:

Resultado después del lavado:
 Bonificación: 2,306 %

100 kg netos dan un peso comercial lavado de $100 + 2,306 = 102,306$

Cuerpos extraños encontrados: 1,150

$102,306 + 1,150 = 103,456$

Por lo tanto la bonificación antes del lavado será de 3,456 %

En el acondicionamiento de materias con cargas debe tenerse en cuenta también el apartado de las tolerancias, las cuales son consideradas como formando parte integrante de la materia y beneficiándose de la tasa de reprís.

Para comprobar si el textil contiene el porcentaje de grasa que está dentro de la tolerancia o excede de la misma, debe realizarse la determinación de la grasa por medio del aparato extractor Soxhlet, empleando como disolvente el diclorometano para la lana y éter para la mezcla de lana con fibras químicas de polímero sintético. El porcentaje de grasa se da sobre peso seco desengrasado. Los porcentajes de grasa admitidos son:

| Materia | Diclorometano | Éter |
|---------------------------------------|---------------|--------|
| Lanas lavada a fondo, en general | 1,25 % | |
| Lanas lavadas a fondo, españolas | 1,75 % | |
| Lanas peinadas sin aceite | 1,00 % | 0,75 % |
| Hilos peinados sin aceite | 1,25 % | 1,00 % |
| Hilos de lana cardada lavados a fondo | 1,25 % | 1,00 % |
| Peinados en aceite | 4,60 % | |

Tabla 29. Porcentajes de grasa admitidos

Si el contenido en grasa es superior al tolerado, es esta tolerancia la que se admite como base de cálculo del peso comercial.

Veamos un ejemplo práctico del cálculo del peso comercial de lana peinada, con tolerancia de grasa del 1 % y la tasa legal de humedad del 18,25 %.

Acondicionamiento:

Peso de las muestras: 2,271 kg

Peso de las muestras con grasa: 1,945 kg

Humedad: 14,35 %

Materia seca y grasa: $100 - 14,35 = 85,65$

$$\text{Peso comercial con grasa} = \frac{1,945 \cdot 118,25}{100} = 2,299 \text{ kg}$$

Pasemos a determinar el % sobre el peso primitivo. Se tomas nuevas muestras con un peso de 34,810 g. Con un Soxhlet, se ha hallado 0,329 g de grasa. El % de grasa sobre el peso primitivo será:

$$\frac{0,329}{34,810} \cdot 100 = 0,945 \%$$

El peso comercial con el 1 % de tolerancia de grasa admitido será:

$$\frac{100,164}{100} \cdot (100 + 1) = 101,165 \%$$

Que en tanto por 1 será: 1,01165

En consecuencia el peso comercial será: $2.271 \cdot 1,01165 = 2.297,47 \text{ kg}$

1.5.3.8 Métodos para la determinación de la humedad

1.5.3.8.1 Evaporación del agua (estufas)

Se trata de estufas especiales alimentadas con aire normal con un contenido de $9,5 \pm 0,2$ gramos de agua por kg de aire seco, correspondiente a un contenido de agua de 20°C y 65% de humedad relativa. Para estufas no alimentadas con aire normal, debe tenerse en cuenta la humedad relativa contenida en el aire y aplicar un factor de corrección a la masa deshidratada.

La ventilación debe asegurar una renovación del aire de la estufa de unas 20 veces por hora. La velocidad del aire en contacto con las probetas no debe de ser inferior a 0,20 m/segundo, siendo lógicamente cerrada esta corriente de aire en el momento de la pesada.

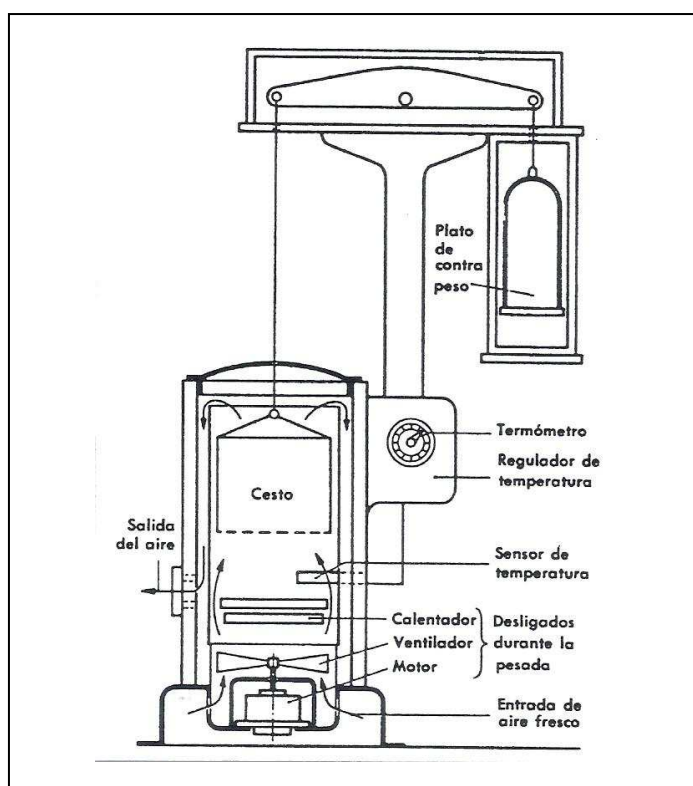


Figura 183. Estufa de acondicionamiento clásica

Cualquiera que sea el medio de calentamiento utilizado, la temperatura del aire debe estar uniformemente repartida en el interior de la estufa, estando regulada a $105\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ a una presión barométrica de 760 mm de mercurio.

Las pesadas de las masas deshidratadas de las probetas se efectúan mediante balanzas con una precisión de $\pm 0,5\%$, debiéndose considerar una masa deshidratada cuando se obtiene, después de dos pesadas sucesivas en un intervalo de tiempo de un 30 % de tiempo normal de desecación, acusen entre ellas una diferencia inferior a 0,05 %.

Las estufas de acondicionamiento clásicas consisten en una balanza mecánica con dos platos, uno de los cuales se encuentra en el interior de la estufa con el fin de desecar la fibra. La fibra estará seca cuando después de dos pesadas consecutivas el peso no varía.

Hoy en día, sin embargo, se utilizan estufas de acondicionamiento electrónicas que substituyen el sistema de pesado mecánico tradicional de balanza mecánica por una balanza electrónica. La información registrada sobre el peso primitivo y anhidro se registrar en un ordenador que procede a realizar los cálculos de acondicionado.



Figura 184. Estufa de acondicionamiento electrónica.

Fuente: <http://www.sdlatlas.com/product/17/Moisture-Regain-Oven#>



Figura 185. Batería de estufas de acondicionado en un laboratorio público.

Fuente: http://es.brancaidealair.it/analisi-textil_instrumentos-de-control-para-fibras/regain-tester.html

1.5.3.8.2 Método de constante dieléctrica

Se sabe que si se reemplaza el dieléctrico aire de un condensador por otro dieléctrico, la capacidad del nuevo condensador así formado es igual a la del precedente multiplicado por una constante específica de la materia empleada. Esta constante es llamada constante dieléctrica del dieléctrico considerado.

La mayoría de fibras textiles químicas, poseen una constante dieléctrica que oscila entre 2 y 6. Por otra parte la constante dieléctrica del agua, es más elevada (78).

La constante dieléctrica de una materia determinada apenas varia con su pH, ni por las impurezas que pueda contener.

Por otra parte, la constante dieléctrica de una materia es proporcional a su contenido en agua, lo que hace posible conocer rápidamente el contenido de agua de cualquier materia mediante la medida de su constante dieléctrica.

Se trata, evidentemente, de un método indirecto. Dentro de los equipos basados en la medida de la constante dieléctrica de las fibras, para medir su contenido de humedad, podemos diferenciar los aparatos de contacto y los sin contacto.

1.5.3.8.2.1 Medida por contacto

Miden la conductividad de las fibras (balas de fibra, bobinas de peinado, conos de hilado) por contacto de un cabezal medidor provisto de electrodos en forma de aguja de diseño específico para cada medición.

Si bien el funcionamiento de este sistema es correcto, los resultados pueden variar notablemente en función de la posición de los electrodos. Se trata de un sistema útil para una medición rápida y aproximada de la humedad de los textiles pero no substituye los sistemas de acondicionamiento por secado.



Figura 186. Medidor de humedad de textiles por contacto
Fuente: <https://www.checkline.com/product/TEM-1>

1.5.3.8.2.2 Medida sin contacto (Forté)

Conocido comercialmente como el método Forté, se trata de un sistema electrónico que permite determinar instantáneamente y sin riesgo de destrucción de la materia, el porcentaje de humedad de las fibras textiles.

El método está basado en la fluctuación de la constante dieléctrica de la materia a ensayar en función de su contenido de agua. La célula de medida es un oscilador de alta frecuencia donde la frecuencia de oscilación depende de la capacidad de la célula y de la constante dieléctrica del material analizado.

El aparato indica la diferencia de frecuencia de oscilación entre una medida en la que el aire es el dieléctrico y una medida por la que el dieléctrico es la materia a evaluar.

La materia textil a evaluar pasa por una cinta continua que atraviesa el interior de un túnel en cuyas paredes laterales se encuentran los bornes del condensador. En el instante que la materia se encuentra en el interior del sistema de medición, una balanza electrónica pesa el material textil, se produce la determinación de la constante dieléctrica y la información es remitida a un ordenador que calcula la humedad del material y su peso comercial acondicionado. Asimismo imprime una etiqueta con todos los datos mencionados. La ventaja de este sistema es

que la medición se hace a la continua sin necesidad de para el proceso de producción ni realizar pruebas posteriores.

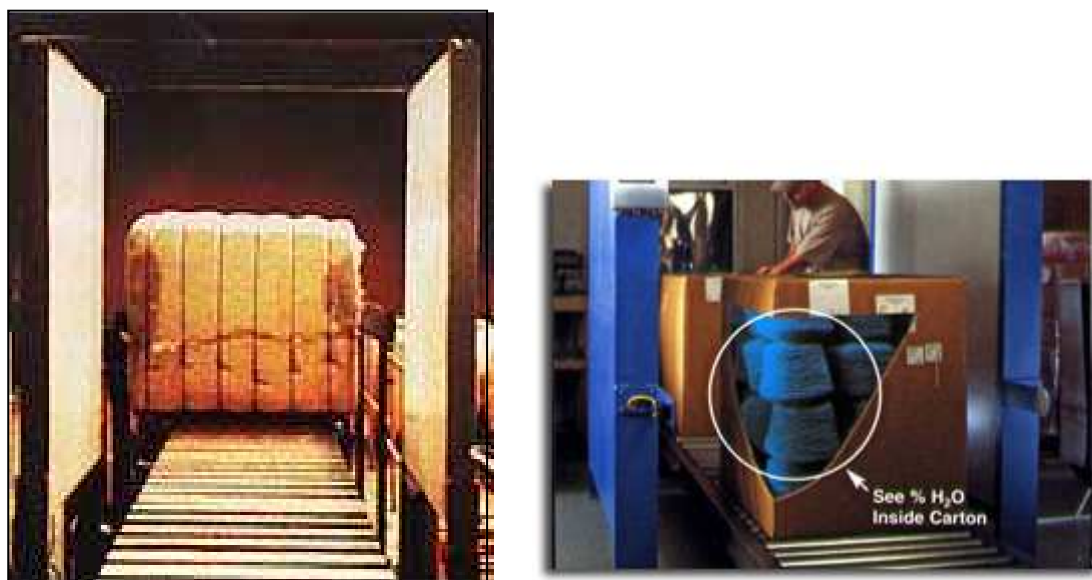


Figura 187. Sistema Forté para la medición a la continua de la humedad de materiales textiles.

Fuente: <http://www.forte-tec.com/index.html>



Figura 188. Sistema Forté con un cabezal para la medición individual de bobinas de hilo.

Fuente: <http://www.forte-tec.com/index.html>

La determinación de la humedad a través de la capacidad es posible gracias a la gran diferencia de la constante dieléctrica. La ecuación que establece esta relación entre la tasa legal de humedad y la constante dieléctrica se ha determinado de forma empírica de la siguiente forma:

$$\% H = A \left(\frac{\text{Capacidad}}{\text{peso}} \right) + B + C (T)$$

$\% H$ = contenido de humedad

Capacidad = Diferencia relativa a la capacidad del material textil

Peso = masa bruta de la materia textil

T = temperatura de la fibra
 A, B, C = constante determinadas

Para eliminar los efectos del movimiento electrónico y de la influencia exterior, se efectúa una evaluación diferencial en vacío (sin material textil) y con material textil.

Cuando el sistema mide la humedad de balas de fibras, la operación se realiza de la siguiente manera:

La bala de fibras se introduce en el interior del transportador en movimiento, interrumpiendo la primera célula fotoeléctrica, midiendo la capacidad en “vacío” que será registrada en el microprocesador. El sensor debe estar vacío en este momento. A continuación la bala avanza a través del pasillo principal interrumpiendo la segunda célula fotoeléctrica registrando una medida de la capacidad “ocupada” que también registra el microprocesador. El campo eléctrico atraviesa la bala y la humedad es evaluada mediante una medida dieléctrica.

El peso de la bala se determina simultáneamente por una célula específica de la plataforma de carga y el peso aparece en la pantalla del ordenador que controla el proceso. El microprocesador calcula la diferencia de capacidad restando la medida “ocupado” de la “vacío” y a continuación se determina el porcentaje de humedad. El microprocesador calcula luego el peso medio, imprime una etiqueta por cada bala en el momento que la bala termina el viaje en la cinta transportadora.

Aunque la constante dieléctrica entre el agua y la fibra textil sea bien conocida, la aplicación práctica del sistema de medida de la humedad de una bala entera no depende de fórmulas matemáticas simple y deben utilizarse diversos sistemas de calibrado periódico.

La capacidad depende de la geometría de la bala, peso y temperatura, tanto como la constante dieléctrica.

1.5.4 Acción del calor sobre las fibras textiles

Ante el incremento de temperatura, algunas fibras textiles reblandecen y se funden, otras se descomponen. La temperatura para que un sólido pase a estado líquido se llama punto de fusión (T_m). Es conveniente que en las condiciones normales de uso las fibras no fundan puesto que a esta temperatura se produce un derrumbamiento de su arquitectura interna deshaciéndose o destruyéndose las regiones cristalinas, que son las que ofrecen mayor resistencia a la acción del calor. El conocimiento de la temperatura de fusión puede ser útil como dato para su identificación o distinción de otras de la misma familia.

La Temperatura de transición vítrea (T_g) es la temperatura a la que se da una pseudotransición termodinámica en materiales vítreos, por lo que se encuentra

en vidrios, polímeros y otros materiales inorgánicos amorfos. En la T_g , el polímero disminuye su densidad, dureza y rigidez, además su porcentaje de alargamiento disminuye de forma drástica. Se trata de un punto intermedio de temperatura entre el estado fundido y el estado rígido del material.

Por encima de la T_g los enlaces secundarios de las moléculas son mucho más débiles que el movimiento térmico de las mismas, por ello el polímero se torna gomoso y adquiere cierta elasticidad y capacidad de deformación plástica sin fractura. Este comportamiento es específico de polímeros termoplásticos (sean amorfos o semicristalinos) y no ocurre en polímeros termoestables. Los polímeros amorfos al calentarse presentan solamente una transición, la T_g . Los polímeros semicristalinos presentan dos, la T_g y la temperatura de fusión de los cristales (T_m).

T_g es un valor de extrema importancia en ingeniería de polímeros, pues indica la temperatura de trabajo del plástico y determina si un plástico concreto puede ser utilizado para una aplicación dada.

Algunos procesos textiles deben realizarse a temperaturas superiores a la transición vítrea (tintura, planchado, fijado, plisado, texturado) y otros a temperatura inferiores (uso cotidiano y lavado).

La tintura debe realizarse a temperaturas superiores a la transición vítrea de la fibra en el medio de tintura. De esta forma las regiones amorfas se abren lo suficiente para permitir que los colorantes puedan penetrar o difundirse con facilidad.

El termofijado ocasiona una cristalización secundaria en las fibras termoplásticas como las de poliéster y poliamida, constituyendo junto a su fácil cuidado, la aportación más importante de estas fibras al mundo textil. Como consecuencia del termofijado ello se forman pequeños cristales que estabilizan las regiones amorfas. Este tratamiento (fijado térmico) garantiza, por ejemplo, los pliegues de una falda, la torsión de un hilo y la ausencia de arrugas de una camisa. Esto sucede puesto que los microcomponentes de las fibras permanecen estables mientras no se sobrepase la temperatura de fijado.

El termofijado, de hecho, es un tratamiento aplicado a los artículos textiles para mejorar su estabilidad dimensional y de forma al uso y al entretenimiento. Ello es posible gracias a la relajación de las tensiones impartidas a las fibras en tratamiento anteriores.

Además del punto de transición vítrea y de fusión, existen otros parámetros que tienen interés como:

- temperatura de lavado doméstico
- resistencia al calor seco (acción prolongada de calor sin que se produzca una degradación térmica).
- temperatura de planchado
- temperatura máxima de fijado
- temperatura de encogimiento (a la cual se inicia la inestabilidad dimensional)

- temperatura de reblandecimiento (donde se inicia un cambio irreversible de propiedades)
- temperatura de decoloración
- temperatura de descomposición química del polímero de la fibra
- temperatura de carbonización
- temperatura de ignición o de inflamación

| Fibra | Punto transición vítrea (°C) | Punto de fusión (°C) |
|---|------------------------------|--|
| Rayón Di-acetato | | 260 |
| Rayón Tri-acetato | | 288 |
| Acrílica | | No funde a una temperatura definida. Reblandece entre 200 y 260 °C |
| Asbesto | | no funde |
| Naturales celulósicas. Rayones viscosa y modal | | no funden |
| Naturales proteínicas | | no funden |
| Poliamida 11 | 45 | 185 |
| Poliamida 6 | 50 | 225 |
| Poliamida 6.6 | 50 | 260 |
| Poliéster | 80 | 265 |
| Polietileno AD | -35 a -120 | 135 |
| Polietileno BD | -35 a -120 | 105 |
| Polipropileno | -15 a -25 | 160 |
| Polimetilmetacrilato | 100 – 120 | - |
| Policloruro de vinilo | 80 | 205 |
| Poliestireno táctico | 100 | 235 |
| Vidrio | | 850 |

Tabla 30. Punto de fusión de algunas fibras textiles

1.5.4.1 Conductividad térmica

Función ancestral de las prendas de vestir ha sido y lo es todavía, en cierta medida, asegurar la estabilidad térmica del cuerpo humano.

La ropa crea una barrera entre la superficie de la piel y su entorno inmediato. Esta barrera no sólo influye en el intercambio de calor por convección y radiación, sino también en el intercambio de calor por la evaporación del sudor generado por el cuerpo humano.

La capacidad que presentan los tejidos que forman parte de una prenda para permitir el paso del calor y humedad a través suyo afecta a una propiedad determinante de las prendas de vestir como es su confort.

1.5.4.1.1 Coeficiente de conductividad térmica (λ)

Es la cantidad de calor transmitido a través de una unidad de espesor en una dirección normal a una superficie de área unitaria, debido a un gradiente de temperatura de una unidad bajo condiciones de estado estacionario, y cuando la transferencia de calor sólo depende de la temperatura.

Se define mediante la siguiente ecuación:

$$\lambda = \frac{Q}{A \frac{\Delta t}{h}} \quad , \quad W m^{-1} K^{-1}$$

Siendo:

Q = Cantidad de calor producido

A = Área a través de la cual se conduce el calor

Δt = Incremento de temperatura

H = grosor del material textil

Un valor bajo de coeficiente de conductividad térmica de un tejido, por ejemplo, reduce la pérdida de calor producida por el cuerpo al encontrarse en un ambiente frío.

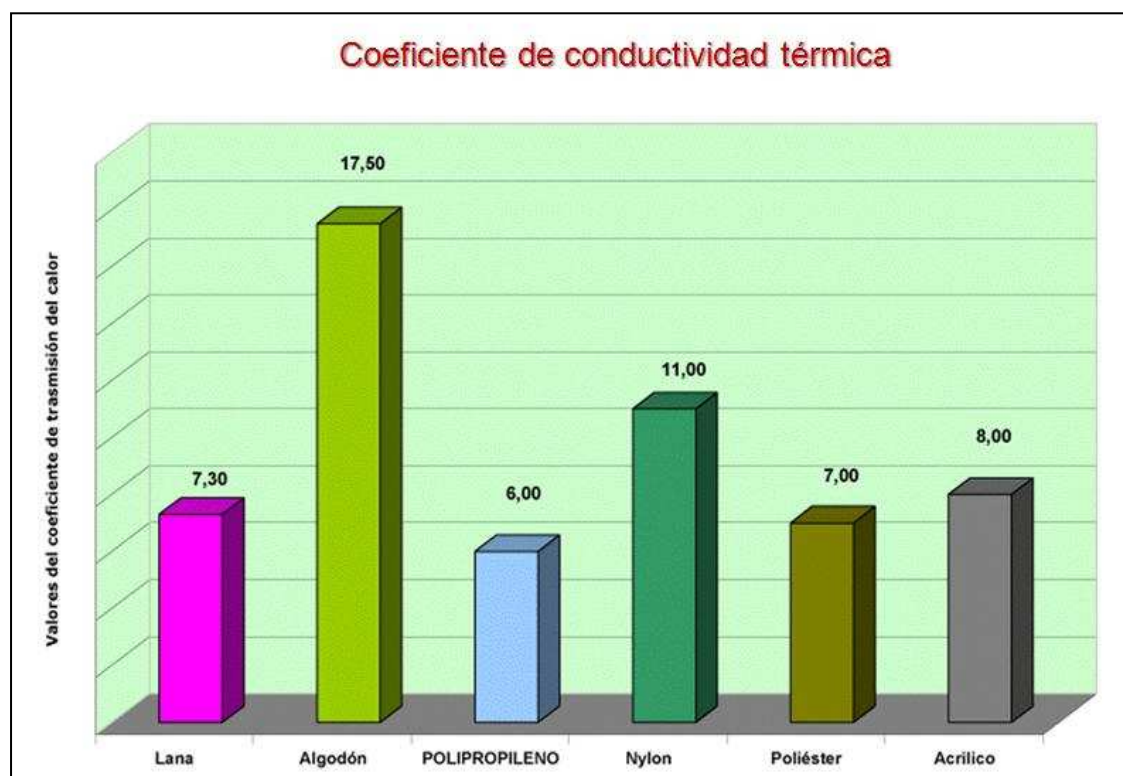


Figura 189. Coeficiente de conductividad térmica de varias fibras textiles.

1.5.4.1.2 Capacidad calorífica o capacidad térmica (C)

Es la cantidad de calor que debe suministrarse a toda la masa de una sustancia para elevar su temperatura en 1 unidad (kelvin o ° Celsius). Característica de cada cuerpo.

Es el cociente entre la cantidad de energía calorífica transferida a un cuerpo en un proceso cualquiera y el cambio de temperatura que experimenta.

Es la energía necesaria para aumentar la temperatura de un cuerpo de una determinada sustancia en 1 unidad de temperatura.

Indica la mayor o menor dificultad que presenta dicho cuerpo para experimentar cambios de temperatura bajo el suministro de calor.

La capacidad calorífica o capacidad térmica puede interpretarse como una medida de la inercia térmica. Es una propiedad extensiva, ya que su magnitud depende, no solo de la sustancia, sino también de la cantidad de materia del cuerpo; por ello, es característica de un cuerpo.

1.5.4.1.2.1 Medida de la Capacidad calorífica

Es necesario comparar el calor absorbido por una sustancia (o un sistema) con el incremento de temperatura resultante. La Capacidad calorífica (C) viene dada por:

$$C = \lim_{\Delta T \rightarrow 0} \frac{Q}{\Delta T}$$

donde:

- c es la capacidad calorífica
- Q es el calor absorbido por el sistema
- ΔT es la variación de temperatura

Se mide en unidades SI, julios por kelvin (J/K) o también en (cal/°C)

La capacidad calorífica (C) de un sistema físico depende de la masa de dicho sistema. Para un sistema formado por una sola sustancia homogénea se define además el calor específico o capacidad calorífica específica (c) a partir de la relación:

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = c \cdot m$$

donde:

- C es la capacidad calorífica del cuerpo o sistema
- c es el calor específico o capacidad calorífica específica
- m es la masa de la sustancia considerada

Al aumentar la masa de una sustancia, se aumenta su capacidad calorífica ya que aumenta también la inercia térmica, y con ello aumenta la dificultad de la sustancia para variar su temperatura, (así por ejemplo la capacidad calorífica de un vaso de agua no es la misma que la de una piscina llena de agua).

1.5.4.1.3 Capacidad calorífica *versus* Calor específico

La capacidad calorífica es una propiedad extensiva del cuerpo mientras que el calor específico es la propiedad intensiva que se refiere a la capacidad de la sustancia de un cuerpo para almacenar calor, y es el cociente entre la capacidad calorífica y la masa del objeto.

El calor específico es una propiedad característica de las sustancias y depende de las mismas variables que la capacidad calorífica. Es la cantidad de calor que hay que suministrar a la unidad de masa de una sustancia para elevar su temperatura en una unidad

Poder aislante de un tejido textil se mide en los minutos necesarios para el paso de la temperatura de 37° a 32° C de un cilindro de aluminio calentado a 40° C aislado y envuelto con una probeta de tejido examinar. El poder de aislamiento depende de la cantidad de aire retenida por el tejido.

| Sustancia | Calor específico (cal/g°C) |
|---------------|----------------------------|
| Agua | 1,00 |
| Alcohol | 0,58 |
| Hielo | 0,55 |
| Vapor de agua | 0,48 |
| Aluminio | 0,219 |
| Vidrio | 0,20 |
| Hierro | 0,11 |
| Cobre | 0,093 |
| Plata | 0,056 |
| Mercurio | 0,033 |
| Plomo | 0,031 |

Tabla 31. Calor específico de diversos materiales

Una alta capacidad para retener el calor hace que un tejido sea mucho más adecuado para la formación y la preservación de la fina capa de aire caliente comprendida entre la piel y las prendas. Contribuyendo, de esta forma, a mantener la temperatura corporal a un nivel confortable aunque el ambiente exterior sea frío.

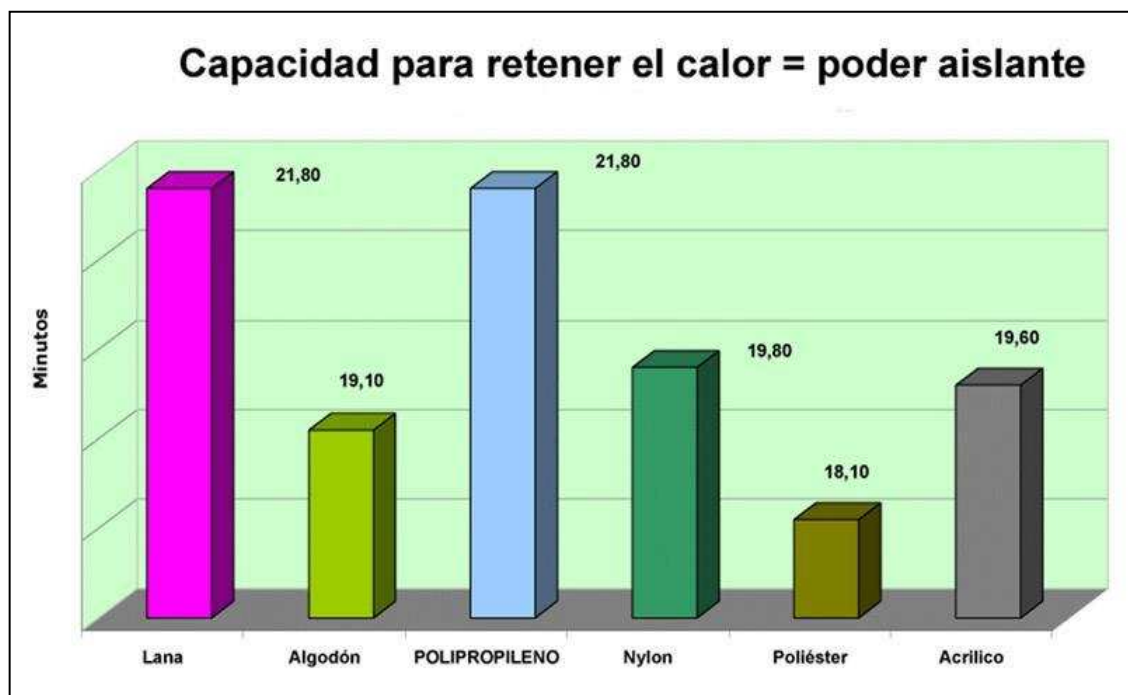


Figura 190. Capacidad de retención del calor o poder aislante de diversas fibras textiles

| Material | Calor específico kcal/kg·°C | Densidad kg/m ³ | Capacidad calorífica kcal/m ³ ·°C |
|------------------------|--------------------------------|-------------------------------|---|
| Agua | 1 | 1.000 | 1.000 |
| Acero | 0,12 | 7.850 | 950 |
| Tierra seca | 0,44 | 1.500 | 660 |
| Granito | 0,2 | 2.645 | 529 |
| Madera de roble | 0,57 | 750 | 430 |
| Ladrillo | 0,20 | 2.000 | 400 |
| Madera de pino | 0,6 | 640 | 385 |
| Piedra arenisca | 0,17 | 2.200 | 374 |
| Hormigón | 0,16 | 2.300 | 350 |
| Mortero de yeso | 0,2 | 1.440 | 288 |
| Tejido de lana | 0,32 | 111 | 35 |
| Poliestireno expandido | 0,4 | 25 | 10 |
| Poliuretano expandido | 0,38 | 24 | 9 |
| Fibra de vidrio | 0,19 | 15 | 2,8 |
| Aire | | 1,2 | 0,29 |

Tabla 32. Calor específico, densidad y capacidad calorífica de algunos materiales

1.5.4.1.4 Resistividad térmica R

Propiedad específica de cada material que determina el flujo de calor seco que atraviesa un área dada en respuesta a un gradiente de temperatura constante aplicada. Expresa la diferencia de temperatura a través de una unidad de área de un material de 1 unidad de grosor cuando una unidad de energía calorífica fluye a través ella en una unidad de tiempo.

Cuanto menor sea la conductividad térmica, mayor es su resistencia térmica. La resistencia térmica de un tejido está relacionada con su grosor mediante la siguiente ecuación:

$$R = \frac{h}{\lambda} \quad , \quad m^2 \cdot K \cdot W^{-1}$$

donde:

h = grosor del tejido textil

λ = conductividad térmica

1.5.4.1.5 Difusión térmica a

Capacidad relacionada con el flujo de calor que atraviesa el aire que se encuentra en la estructura del tejido.

Se trata de la característica térmica transitoria de los textiles.

Se define mediante la siguiente ecuación:

$$a = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad , \quad m^2 s^{-1}$$

donde:

- a = difusión térmica
- λ = conductividad térmica
- ρ = densidad del tejido
- c = calor específico del tejido

1.5.4.1.6 Absorción térmica o Efusividad b

Propio de las sensaciones de frescor y calor. Representa la cantidad de calor absorbida por una diferencia en las temperaturas de 1 K sobre una unidad de área por unidad de tiempo.

Se expresa mediante la ecuación:

$$b = \sqrt{\lambda \cdot \rho \cdot c} \quad W s^{1/2} m^{-2} K^{-1}$$

donde:

- λ = conductividad térmica
- ρ = densidad del tejido
- c = calor específico del tejido

1.5.4.1.7 Índice límite de oxígeno

El principal parámetro que permite evaluar la tendencia a la inflamabilidad de una fibra textil es el llamado "Índice límite de oxígeno o LOI".

El LOI corresponde al porcentaje mínimo de oxígeno ambiental necesario para que se mantenga la combustión. Es decir, el contenido mínimo de oxígeno en el gas comburente para que se produzca la combustión del substrato en las condiciones del ensayo previstas en el método ASTM D2863-70.

$$LOI = \frac{\text{Volumen de } O_2}{\text{Volumen de } O_2 + \text{Volumen de } N_2} \cdot 100$$

| Fibra | LOI (%) |
|--|---------|
| Polipropileno | 18 |
| Algodón | 18 |
| Acrílica | 19 |
| Rayón viscosa, Rayón acetato | 20 |
| Poliamida | 22 |
| Poliéster | 22 |
| Lana | 25 |
| Viscosa FR, Poliester FR (Flame Retardant) | 28 |
| Algodón FR | 28 - 30 |
| Modacrílica | 29 |
| Aramida | 28 - 34 |
| Poli (amida-imida) | 30 - 32 |
| Lana Zipro | 32 |
| Polychal (Cordelan) | 33 |
| Novoloid (Kynol) | 34 |
| Poliétercetona (PEK) | 34 |
| Polifenilsulfuro (PPS) | 34 |
| Clorofibra (Rhovyl) | 35 - 48 |
| Copoliimida aromática (P84) | 36 - 38 |
| Polibenzimidazol (PBI) | 41 |
| Poli (ácido acrílico/acrilamida) reticulado (Inidex) | 50 |
| Acrílica y Viscosa carbonizadas (Panox) | 50 |
| Politetrafluoroetileno (Gore-Tex) | 80 - 90 |

Tabla 33. Valor LOI de algunas fibras textiles

Puesto que el porcentaje de oxígeno en el aire en condiciones estándar es del 21 %, podemos afirmar que los materiales que tienen un LOI inferior a 21 % arden libre y sostenidamente. Por el contrario, los de LOI superior al 21 % se comportan mejor en la prevención de riesgos de incendio. Cuanto más alto es el LOI, mayor es la dificultad para que el material arda, de manera que la llama tiende a autoextinguirse al alejarlo del fuego. Las fibra retardantes a la llama deben tener un LOI de al menos el 25 %.

1.5.5 Conductividad eléctrica

La constante dieléctrica es la propiedad más importante de las propiedades eléctricas de las fibras. Depende de la naturaleza química de las fibras y de la cantidad y forma de absorber la humedad. Si la constante dieléctrica es alta, la resistencia al paso de la electricidad a través de la fibra es baja y por lo tanto se producirán pocos problemas de electricidad estática.

Si los materiales textiles no metálicos se sitúan en un campo eléctrico, la mayoría se comportan como aislantes (la mayor parte de ellos están formados de carbono, hidrógeno, nitrógeno y oxígeno, teniendo electrones como portadores de carga unidos al núcleo del átomo). La mayoría de fibras químicas de polímero sintético son malas conductoras de la electricidad.

Durante las diferentes etapas del proceso textil, las fibras están sujetas a diferentes fenómenos de rozamiento y separación entre ellas generando una notable cantidad de cargas eléctricas que se transmiten con dificultad. Al ser malas conductoras, la electricidad no circula ni se disipa, permaneciendo sobre el material, ello genera dificultades puesto que provoca tanto la atracción como rechazo entre las fibras entre sí, la atracción del polvo y la suciedad, la generación de chispas que pueden provocar explosiones en ambientes con productos volátiles e inflamables. Algunos de estos problemas pueden alcanzar una gran magnitud llegando a entorpecer gravemente el proceso de fabricación textil.

Para solucionar este problema existen diversas soluciones:

- Aplicar aditivos sobre las fibras (ensimajes) con el fin de reducir el coeficiente de fricción fibra/fibra y así reducir la generación de electricidad estática o bien productos cuyo poder antiestático depende de su capacidad de absorción de humedad.
- Modificación química del polímero de la fibra para hacerlo más hidrofílico.
- Preparar fibras con un excelente comportamiento antiestático (debido a la presencia de materiales conductores en su composición) y mezclarlas en pequeñas proporciones con fibras convencionales.

Por otra parte el estudio de la conductividad eléctrica de los materiales textiles, tiene en la actualidad un gran interés por su elevado potencial aplicación en la

indumentaria, aplicaciones médicas y militares, como sensores, actuadores, electrónica flexible, apantallamiento electromagnético, etc.

1.5.6 Propiedades ópticas

Las propiedades ópticas de las fibras textiles son el brillo y el color.

Las fibras naturales más importantes (algodón y lana) presentan en su tipología tradicional colores crudos, lo cual obliga a blanquearlas cuando se quiere producir con ellas artículos blancos o teñidos en colores pastel.

Las fibras de pelos animales suelen poseer una coloración que oscila entre el crudo, pardo o marrón claro, pardo oscuro y negro.

Las fibras químicas más importante poseen un color crudo, excepto aquellas que en el momento de obtención del polímero se le añade un colorante, proceso que se llama tintura en masa y permite obtener unas solidez muy elevadas. Algunas fibras químicas de altas prestaciones como las p-aramidas, acrílicas oxidadas y carbono se presentan intrínsecamente coloreadas.

Algunas fibras textiles, ya sea una vez obtenidas o bien durante su proceso de obtención (sólo las químicas) pueden tratarse con blanqueadores ópticos. La misión de estos productos consiste en aumentar la reflectancia aparente de la región visible del espectro por conversión de la radiación ultravioleta en luz visible. El resultado es un aumento del brillo o blancura del material textil.

El brillo se refiere a la intensidad con que la luz es reflejada por la superficie de la fibra o al lustre que posee. Éste parámetro depende de la estructura química y su morfología, especialmente de la forma de la sección transversal (ver capítulo forma de la sección transversal). La seda es la más lustrosa de las fibras naturales (en buena parte debido a la forma de su sección transversal). La lana es una fibra poco brillante y en ello influye su rizado. Las lanas largas no rizadas (inglesas) poseen un brillo muy apreciado. También destacan por su excelente y singular brillo algunos pelos animales como el Mohair (Pelo de la cabra de angora).

| Brillo | Cantidad de TiO ₂ aplicado (%) |
|------------|---|
| Brillante | 0 – 0,05 |
| Semi-mate | 0,06 – 0,4 |
| Mate | 0,41 – 1,0 |
| Super-mate | 1,01 – 2,1 |
| Extra-mate | ➤ 2,1 |

Tabla 34. Grado de brillo en función de la cantidad de Dióxido de titanio (TiO₂)

Las fibras químicas se comercializan con diferentes grados de lustre en función de la presencia y cantidad de mateante (TiO₂) que llevan incorporado al

polímero. De este mateante hay dos variantes, la anastasa y el rutilo. La primera produce fibras menos abrasivas pero más sensibles a la fotodegradación que cuando se emplea la variante rutilo. El producto mateante dispersado de forma fina y homogénea en toda la masa de la fibra produce un efecto de difusión y absorción de la luz que provoca el efecto deseado.

El TiO_2 es un producto muy útil para modelar el brillo de las fibras químicas, sin embargo es extremadamente abrasivo por lo que la fibras mates acostumbran a tener una menor resistencia a la abrasión y un mayor coeficiente de fricción fibra/metal, lo cual provoca una mayor desgaste de las partes metálicas de la maquinaria textil donde rozan habitualmente las fibras (guía-hilos, agujas, guarniciones, etc.).

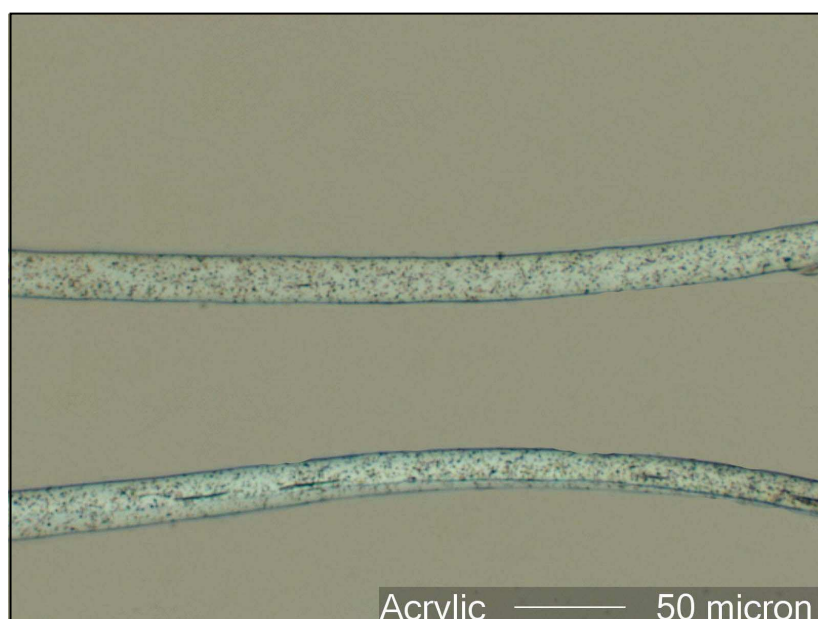


Figura 191. Fibra acrílica mate. Obsérvense los granulos de TiO_2 rutilo a lo largo de la fibra.

Fuente: <http://www.microlabgallery.com/gallery/Acrylic20Ad%20fixed.aspx>

El parámetro óptico que más afecta a la microestructura de las fibras es la birrefringencia o diferencia entre los índices de refracción medidos en las direcciones longitudinal y transversal de la fibra. Esta diferencia es consecuencia de la anisotropía de los materiales fibrosos y ofrece una medida global del grado de orientación de una fibra. En algunas fibras químicas, este parámetro es frecuentemente medido como control de calidad rutinario.

1.5.7 Acción de la intemperie

Cuando las fibras textiles están expuestas a la acción de la intemperie acostumbra a producirse una degradación de sus propiedades que dependerá de:

- Duración de la exposición

- Si la exposición es directa o bien detrás de un vidrio
- Las características (intensidad y composición) de la luz solar
- Humedad relativa y temperatura del medio
- Si la fibra está teñida y tipo de colorante
- La presencia de aditivos, especialmente TiO_2 , que hace las fibras más fotosensibles

La forma habitual de valorar los efectos de la intemperie sobre los productos textiles es medir sus propiedades mecánicas (tracción axial) antes y después de la exposición. El alargamiento a la rotura y el trabajo de rotura son los parámetros más sensibles a la acción de la intemperie.

La exposición a la intemperie puede dar lugar a un ataque químico que altere sus propiedades mecánicas, a un amarilleamiento y/o decoloración.

1.5.8 Propiedades químicas

Durante el largo proceso textil las fibras pueden entrar en contacto con diversos productos que pueden afectar a sus propiedades. Los más importantes son:

- ácidos
- álcalis
- oxidantes
- reductores
- disolventes
- mohos
- insectos
- calor
- intemperie

El ataque químico que pudiera producirse por la acción de dichos agentes se manifiesta habitualmente por la rotura de las cadenas moleculares de su estructura y un deterioramiento de sus propiedades mecánicas. En cuanto a los organismos vivos, la polilla ataca a la lana y pelos (por su contenido en azufre) y los mohos a las fibras celulósicas. La presencia de productos como el almidón puede favorecer el ataque a fibras que en estado puro no lo serían.

El amarilleamiento de las fibras puede ser un indicativo de su degradación. Las principales causas de este fenómeno son:

- contaminación atmosférica
- utilización de films de polietileno como envoltorios
- cartón de los embalajes
- antioxidantes añadidos a las fibras químicas
- blanqueadores ópticos
- lubricantes pegajosos
- adhesivos y recubrimientos
- determinados productos auxiliares

Veamos a continuación de forma breve los efectos de las sustancias químicas más usuales sobre las principales fibras textiles:

- El algodón resiste a los álcalis y es sensible a los ácidos. Es atacado por los agentes oxidantes utilizados en el blanqueo de la fibra presentes en muchos detergentes domésticos. Los agentes reductores solamente atacan en condiciones de elevada concentración. Su resistencia térmica es muy buena por debajo de 150 °C y su resistencia a la luz, aceptable.
- La lana resiste a la acción de los ácidos y es fácilmente atacada por los álcalis. También es atacada por productos oxidantes y reductores. El calor degrada a la lana por encima de los 150 °C y su resistencia a la luz es moderada.
- El poliéster es resistente a la acción de los ácidos y oxidantes mientras que es atacada fácilmente por los álcalis. Presenta buen comportamiento al calor y a la acción de la luz.
- La poliamida es estable al ataque de los álcalis y presenta un comportamiento deficiente a los ácidos fuertes. Se degradan lentamente a menos de 200 °C y su estabilidad a la luz solar es buena.
- Las fibras acrílicas son estables a los ácidos y álcalis diluidos, siendo degradadas por los álcalis fuertes en caliente y disueltas por el ácido sulfúrico y nítrico concentrados. Se degradan lentamente a más de 200 °C y su estabilidad a la luz es excelente.
- Finalmente el polipropileno resiste bien la acción de los ácidos y de los álcalis pero moderadamente a los oxidantes. Se degradan lentamente por la acción del calor y su estabilidad a la luz solar es deficiente, precisando una fotoestabilización.

Bibliografía

Bona, M. *Textile quality. Physical methods of product and process control*. TEXILIA. Biella, 1994.

Booth, J.E. *Principles of Textile Testing*. Heywood Book. Temple Press Books LTD, London, 1964.

Gacén, J. *Fibras textiles, propiedades y descripción. Curso básico*. Universitat Politècnica de Catalunya, Terrassa, 1991.

Morton, W.E., Hearle, J.W.S. *Physical properties of textile fibers*. The Textile Institute, Manchester, 1962.

Sinclair, R. (ed.). *Textiles and Fashion. Materials, Design and Technology*. Woodhead Publishing. Elsevier, Cambirdge, 2015.

Sreenivasa Murthy, H.V. *Introduction to Textile Fibres*. Woodhead Publishing India in Textiles, WPI Publishing, Bengaluru, 2015.