Influencia de la estructura del hilo y del tejido sobre su rigidez de flexión

Prof. Dr. Ing. VICENTE GALCERÁN

PREAMBULO

Ante todo vamos a definir lo que debemos entender por *dureza* y por *rigidez* de flexión de un hilo o de un tejido. Dureza o aspereza es lo contrario de suavidad, considerando que un hilo o un tejido son *suaves* cuando son blandos, dulces y gratos al tacto. Rigidez es lo contrario de flexibilidad, juzgando que un hilo o un tejido son *flexibles* cuando están predispuestos a doblarse con facilidad, es decir, cuando el tacto aprecia cierta agradable facilidad al doblarlos o arrugarlos con las manos.

Estas cualidades de suavidad y flexibilidad han de poseerlas todos los hilos y tejidos destinados para vestir, siendo tanto mejores cuanto más suaves sean, pero no cuanto más flexibles porque la flexibilidad tiene su límite, ya que puede darse el caso de que un tejido demasiado flexible no guste una vez confeccionado, precisamente por tener poca consistencia.

El objeto de este trabajo es exponer, de una manera resumida, la forma de conocer, por medio del cálculo, es decir, de una manera *indirecta,* la rigidez de flexión que aproximadamente pueden tener un hilo o un tejido antes de que estén fabricados. Ya es sabido que dicha rigidez puede determinarse también *directamente,* o sea, por medio de aparatos, pero para su empleo es necesario que el hilo o el tejido estén previamente fabricados y lo que pretendemos es poder conocer dicha rigidez antes de su fabricación; o bien, si nos conviene transformar la estructura de un hilo o de un tejido, ¿cuál será la variación de su rigidez?; o también, si la rigidez de un hilo o de un tejido no nos conviene, ¿qué modificaciones deberíamos llevar a cabo para que dicha rigidez fuese la que nos interesa?

EQUILIBRIO DE TENSIONES EN EL TEJIDO Y FATIGAS QUE EXISTEN EN EL INTERIOR DEL MISMO

Sabemos que durante la operación del tisaje la urdimbre en el telar generalmente está sometida a una fuerte tensión. De momento la trama, obligada por los templazos tiende a quedar en línea recta, lo que hace que la urdimbre tenga que efectuar sus evoluciones en forma de una línea sinuosa tensa y acentuada. Pero cuando el tejido se separa de la acción de los templazos, la trama, obligada por la tensión de la urdimbre, se ondula, el tejido se encoge transversalmente, mientras la tensión de la urdimbre disminuye y aumenta la de la trama, existiendo una primera fase de equilibrio entre las tensiones de urdimbre y trama. A medida que el tejido fabricado va alejándose de los templazos generalmente va encogiéndose por trama y se van equilibrando las tensiones entre los hilos y las pasadas hasta que al quitar el tejido del telar el equilibrio es casi completo.

En el acabado del tejido, especialmente en las operaciones de lavaje, tintura y perchado, los elementos constituyentes del tejido acaban de equilibrar sus tensiones y el tejido quedará en equilibrio completamente estable si no se fuerza en el ramaje o en alguna otra operación. Si en estas operaciones el tejido se fuerza, el equilibrio puede quedar más o menos inestable y entonces bastará un ligero mojado para que se equilibren otra vez las tensiones, encogiéndose de nuevo el tejido en una o en ambas direcciones. Esto es lo que puede deformar la prenda una vez confeccionada; no obstante, se puede acabar el tejido de forma que facilite el equilibrio de tensiones o se fije la ondulación de los hilos para que quede asegurada la indeformabilidad de la prenda durante la confección o el uso.

Acabamos de ver que las tensiones que actúan en los elementos componentes de un tejido están en equilibrio, pero ésto no excluye las fatigas que dichas tensiones provocan en el interior del mismo. Parte de estas fatigas provienen de la estructura del hilo y las restantes de la del tejido.

Si consideramos un elemento pequeñísimo de tejido, una fibra por ejemplo, y nos interesamos en pensar como debe encontrarse allí dicha fibra, con seguridad nos daremos cuenta de que está sometida a las siguientes fatigas:

La de torsión, debida al momento de torsión a que está sometido el hilo; la de tracción, debida a la tensión del hilo, procedente de la tensión de la urdimbre en el telar y de la que provoca la torsión a muchas fibras del hilo; la de compresión, debida al apretamiento que existe entre los hilos y las pasadas, procedente de la presión que el peine ejerce en el tejido en la operación del tisaje; y la de flexión, debida a las ondulaciones de los hilos al evolucionar los unos por encima y por debajo de los otros

Para poder dar una idea del valor de la compresión a que está sometida cada una de las fibras de un tejido, hemos calculado que para un tejido, de estambre corriente de pañería la presión es de unos 130 g. por cada cm. de longitud de fibra.

Las fatigas que acabamos de mencionar influyen en la dureza y rigidez del hilo y del tejido, de manera que la suavidad y especialmente la flexibilidad de los mismos dependen, en parte, del valor o intensidad de dichas fatigas.

CAUSAS QUE INFLUYEN EN LA RIGIDEZ DE LOS HILOS Y DE LOS TEJIDOS

Vamos a estudiar de la manera más a fondo posible las causas que influyen en la rigidez de los hilos y tejidos y las relaciones que existen entre estas causas y los efectos que producen.

Las principales causas son:

1.ª La naturaleza de la fibra empleada.

2.ª Dentro de cada clase de fibra, la finura o título de la misma.

3.ª El grueso o número del hilo.

4.ª La torsión o coeficiente de torsión.

5.ª La densidad o coeficiente de densidad del tejido.

6.ª El coeficiente de ligadura del ligamento empleado.

7.ª El grado de superposición parcial o total de las bastas del ligamento.

8.ª La clase de acabado del tejido.

INFLUENCIA DE LA NATURALEZA DE LA FIBRA EN SU RIGIDEZ DE FLEXION

La determinación de la rigidez individual de las distintas clases de fibras no es un trabajo fácil, porque para cada clase, dicha rigidez depende de muchos factores, como: la procedencia de la fibra, su grado de humedad, la forma de su sección, el valor de su resistencia, de su deformación, etc.

Con respecto a su deformación por tracción las fibras pueden clasificarse en tres grupos:

1.º Fibras cuya carga de rotura es muy elevada, pero poco deformables, aproximadamente de 3 a 4 % de alargamiento a la rotura; como el lino, el ramio, etc.

2.º Fibras que poseen una carga de rotura elevada, pero a pesar de ser muy deformables, de 24 a 26 % de alargamiento a la rotura, poseen buenas características de recuperación elástica y poca deformación permanente. Fibras con estas características son: la seda, las de poliester, poliamídicas, etc.

3.º Fibras de carga de rotura débil, pero de alargamiento a la rotura muy elevado, de 28 a 33 %, con un límite de elasticidad muy débil y una deformación permanente muy grande. Estas, son: la lana, el rayon acetato, etc.

El algodón y los rayones viscosa y cupro, tienen un comportamiento intermedio entre las fibras del 2.º y 3.er grupos.

La deformación permanente de las fibras sintéticas ya sabemos que aumenta con la temperatura creciente, mientras que su módulo de elasticidad baja. Las fibras naturales y artificiales son menos sujetas a esta variación.

Uno de los factores más importantes para la determinación de la rigidez de flexión, como veremos más adelante, es el módulo de Young o de elasticidad y como que éste, en parte, depende de la resistencia de la fibra y de su deformación elástica, ya se comprende que estas características tienen mucha importancia en la citada determinación.

Sabemos que la flexión es una tracción asimétrica, que provoca gran deformación en determinadas regiones de la fibra, es decir, produce un alargamiento importante de las partes correspondientes al mayor radio de curvatura.

Para determinar la rigidez de flexión individual de las fibras los investigadores han ensayado dos procedimientos: uno que podemos llamar *directo*, con el que se emplean aparatos especiales y de gran precisión; y otro *indirecto*, que se obtienen por medio del cálculo partiendo de las características particulares de cada fibra.

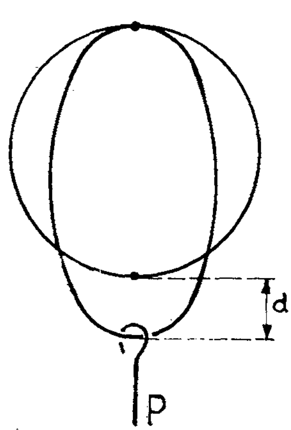

Fig. 1

El primero se funda en la deformación que experimenta un bucle de fibra o de hilo en forma de anillo, al colgarle un peso fijo, váase fig. 1; o bien midiendo el peso, por medio de una balanza de torsión, que produce una deformación determinada en el anillo. Cuando el bucle está formado por un hilo, se puede determinar la rigidez de las fibras que lo forman contando el número que de éstas entran en el hilo ensayado.

Una de las fórmulas que los especialistas aplican para encontrar la rigidez de flexión de la fibra es la (1).

$$\text{Rigidez de flexión de la fibra} = \frac{Pl^3}{3d} \text{ g cm}^2 \quad (1).$$

Siendo P el peso aplicado a la muestra, l la longitud del bucle y d la deformación del anillo después de colgar el peso.

Con este procedimiento se mide la rigidez de flexión de una manera estática; se puede medir también dinámicamente, es decir, haciendo vibrar transversalmente el extremo de la muestra, variando la frecuencia hasta que la amplitud de vibración sea la máxima alcanzada. Los especialistas dicen que un mínimo de medio cm. de fibra recta es suficiente para la prueba, la cual puede ser observada por medio de un microscopio.

Ya hemos dicho que este procedimiento requiere el empleo de aparatos especiales de gran precisión y además trabajos laboriosos y extremadamente cuidadosos.

Hemos cotejado los resultados obtenidos por distintos investigadores que han trabajado para la determinación directa de la rigidez de flexión de la fibra (1') y hemos observado que existen diferencias más o menos grandes en estos resultados; además, no hemos encontrado el resultado de todas las fibras que nos interesaban para este estudio, por lo que delante de la imposibilidad de coordinar la totalidad de los resultados que nos hacían falta, hemos decidido determinar de una manera indirecta la rigidez de flexión de las fibras que más nos van a interesar, fundándonos en la teoría de la elasticidad que parte del módulo de Young, dato con el que coinciden los diversos investigadores.

Aunque algunos especialistas hayan expuesto ya este procedimiento para determinadas fibras, vamos a exponerlo también adaptado a los conocimientos básicos de las deformaciones elásticas, para el mayor número posible de las principales fibras.

La rigidez de flexión de una fibra, como la de otro sólido en general, depende esencialmente del módulo de elasticidad y de la forma de su sección. Para encontrar la fórmula matemática que nos puede dar la rigidez aproximada de una fibra, recurriremos al estudio de las deformaciones elásticas por flexión.

Consideremos, fig. 2, que A B es una fibra que en virtud de las fuerzas F aplicadas a sus extremos está sometida a un trabajo de flexión; la fibra, al flexarla, según la curvatura de radio r, ofrece cierta resistencia a la flexión, que es lo que caracteriza su rigidez o inflexibilidad.

Tomemos dos secciones próximas A y B de la fibra, distanciadas de la magnitud l. Si por el punto B trazamos una paralela B d, a la recta C A, la magnitud df $= \Delta l$ será el incremento de l en virtud de dicha flexión.

(1') Véase "Physical Properties of Textile Fibres" por W. E. Morton y J. W. S. Hearle. "Hand book of Textile Fibres" por M. Harris. "Rigidité des fils et des fibres" por H. L. Röder, "Bulletin de L'Institut Textile de France" (Octubre de 1954).

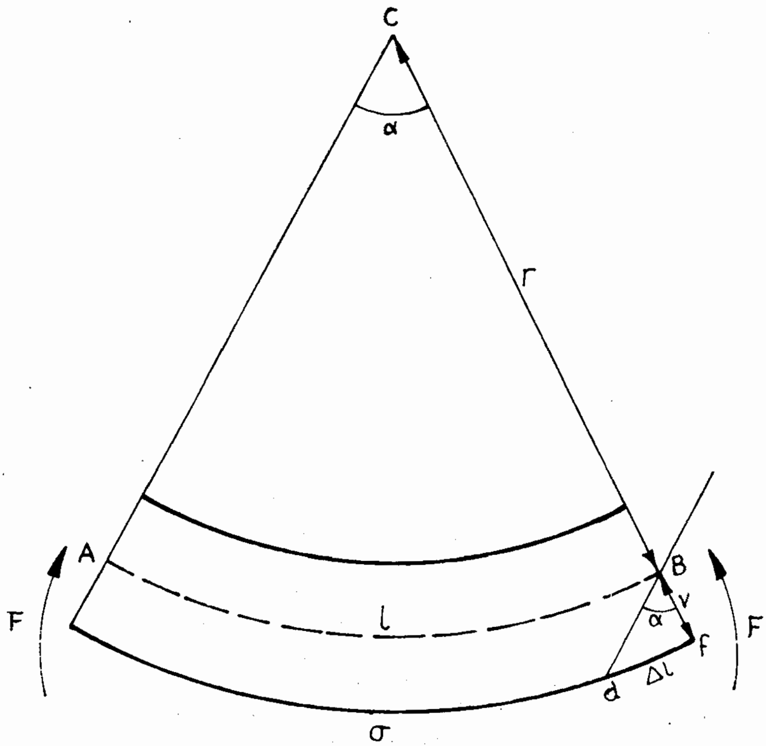

Fig. 2

Sabemos, por la ley de las deformaciones, que $\frac{\Delta l}{l} = \frac{\sigma}{E}$, siendo σ la carga unitaria de trabajo por tracción y E el módulo de elasticidad. Pero por la fórmula del trabajo de flexión sabemos que $\sigma = \frac{Mv}{J}$, siendo M el momento de flexión, J el momento de inercia de la sección y v la distancia entre el borde de la fibra y su plano neutro.

Por lo tanto tendremos $\frac{\Delta l}{l} = \frac{Mv}{EJ}$

Pero $\frac{\Delta l}{l} = \frac{v}{r}$, de donde $\frac{v}{r} = \frac{Mv}{EJ}$

es decir, que $Mr = EJ$.

El producto EJ nos mide la rigidez de flexión o inflexibilidad de la fibra.

J puede expresarse en función del radio medio j de giro o de inercia, es decir, $J = Sj^2$, siendo S la sección de la fibra.

Luego, la rigidez de flexión será:

Rigidez de flexión $= ESj^2$. Para la sección circular $j^2 = \dfrac{S}{4\pi}$.

Si la sección no es circular, como sucede en la mayor parte de las fibras textiles, hay que multiplicar por un factor f de forma de la sección, que para la circular f es igual a 1 y para las demás secciones varía de 0'59 a 0'91.

Así, la fórmula para encontrar la rigidez de flexión de la fibra, será:

$$\text{Rigidez de flexión} = \frac{ES^2f}{4\pi} \quad (2).$$

Como que la sección de una fibra es difícil de medir, podemos expresar S en función de la densidad δ y la finura en Ntex de dicha fibra.

$$Ntex = 1000\ p = 1000\ S \times 100\ \delta = 10^5\ S\ \delta.$$

Siendo p el peso por m de la fibra y expresando δ en g por cm^3.

Despejando S y sustituyendo en (2), tendremos:

$$\text{Rigidez de flexión} = \frac{ENtex^2f}{4\pi\delta} \times 10^{-5}\ \text{gramos}\ cm^2 \quad (3).$$

Conociendo los valores de E, f y δ podremos calcular, por el procedimiento indirecto, la rigidez de flexión de las diversas clases de fibras.

En la tabla I se dan los valores de E, de f (1) y de δ para determinadas fibras, así como su rigidez de flexión, suponiendo que todas son del mismo título, es decir, Ntex = 1.

La fórmula de aplicación para este caso, es:

$$\text{Rigidez de flexión} = \frac{0'8\ Ef}{\delta} \times 10^{-4}\ g\ cm^2 \quad (4).$$

Clase de fibra	Valor de E en g tex	Valor de f	Valor de δ	Rigidez
Algodón	500	0'59	1'54	$1'7 \times 10^{-4}$
Lino	1800	0'76	1'50	$7'2 \times 10^{-4}$
Ramio	1500	0'63	1'52	$5'0 \times 10^{-4}$
Lana	270	0'80 *	1'30	$1'3 \times 10^{-4}$
Pelo mohair	400	0'88	1'32	$2'1 \times 10^{-4}$
Seda	750	0'59 *	1'34	$2'7 \times 10^{-4}$
Rayon viscosa	600	0'74 *	1'52	$2'3 \times 10^{-4}$
» cupro	610	0'78	1'54	$2'5 \times 10^{-4}$
» acetato	360	0'67 *	1'32	$1'4 \times 10^{-4}$
Fibra poliester	820	0'90	1'38	$4'3 \times 10^{-4}$
» poliamídica	260	0'91 *	1'14	$1'7 \times 10^{-4}$

TABLA I. — *Rigidez de flexión de algunas fibras para Ntex = 1.*

(1) Los valores de E han sido adaptados a la media de los resultados obtenidos por diversos investigadores y los de f marcados con * han sido extraídos del ya citado libro "Physical Properties of Textile Fibres" y los demás han sido dados por analogía de una manera aproximada.

El expresar la rigidez de las fibras haciendo Ntex = 1 nos permite poder comparar la rigidez absoluta entre ellas; así podemos decir que a igualdad de finura o de Ntex, la fibra más rígida es la de lino y la más flexible la de lana.

Debemos advertir que la rigidez de flexión encontrada con el empleo de la fórmula (4), obtenemos valores medios aproximados, ya que el valor de E varía con la procedencia de las fibras, especialmente cuando se refiere a las naturales. Para el caso del algodón, por ejemplo, cuanto más bajo u ordinario es (algodón de la India) más bajo es el valor de E y por lo tanto el de su rigidez a igualdad de Ntex. Para la lana, cuanto más fina, más bajo tiene el valor de E, lo que hace que su rigidez de flexión sea también más baja.

Para el caso particular de la fibra de lana debemos tomar en consideración la diferencia de rigidez que prácticamente encontramos entre las distintas procedencias. Todos sabemos que la lana del Cabo, a igualdad de finura, es menos rígida que la de Australia y ésta menos que la española. No hemos podido averiguar la causa de las diferencias de rigidez que prácticamente se encuentran entre estas tres procedencias de lanas; juzgamos que una gran parte será debida a diferencias entre los valores del módulo de elasticidad y también a las de los del peso específico, ya que se ha encontrado que las lanas españolas tienden a tener un peso específico menor que el de las australianas. Siéndonos necesario hacer una diferenciación entre la rigidez de estas tres procedencias de lanas y no teniendo actualmente datos concretos para poderla determinar y sabiendo que el valor dado en la tabla anterior corresponde a la lana de Australia, proponemos multiplicar por 1'25 para tener el de la lana española, o por 0'75 para tener el de la lana del Cabo.

La fórmula (3) nos da la rigidez de flexión de las distintas clases de fibras en función de su finura dada en Ntex, pero como que la finura dada para las fibras artificiales y sintéticas casi siempre se da en dineros (Ndin), vamos a establecer la relación que existe entre Ntex y Ndin para poder determinar la rigidez en función de Ndin.

Sabemos que para pasar de dineros a tex basta dividir Ndin por 9, es decir, que:

$$\text{Ntex} = \frac{\text{Ndin}}{9}$$

Por lo tanto la fórmula (3) quedará transformada en

$$\text{Rigidez de flexión} = \frac{\text{ENdin}^2\,\text{f}}{324\,\pi\,\delta} \times 10^{-5} \text{ g cm}^2 \quad (5)$$

INFLUENCIA DEL GRUESO O TITULO DE LA FIBRA EN SU RIGIDEZ DE FLEXION

La fórmula (3) nos da la rigidez de la fibra en función de su grueso o título, por lo que sería interesante aplicarla y representar gráficamente la variabilidad de rigidez en función de dicho grueso. Pero antes será necesario indicar en tex y en dineros la variabilidad de gruesos de las principales fibras textiles, por lo que a continuación se dan las tablas II y III de clasificación de fibras por su finura expresada en tex y en dineros respectivamente, habiéndose dividido en tres grupos, o sea, en fibras finas, medias y gruesas.

Finura en tex	Algodón	Lino	Lana	Seda	Fibras artificiales	Fibras sintéticas
Fibra fina	0'12 a 0'19	hasta 0'19	0,34 a 0'56	0'11 a 0'13	0'17 a 0'33	0'17 a 0'33
» media	0'19 a 0'26	0,19 a 0'29	0'56 a 0'78	0'13 a 0'15	0'33 a 0'61	más de 0'33
» gruesa	0'26 a 0'32	más de 0'29	0'78 a 1'34	—	más de 0'61	—

TABLA II. — *Clasificación de las fibras según su finura, expresada en Ntex.*

Finura en din	Algodón	Lino	Lana	Seda	Fibras artificiales	Fibras sintéticas
Fibra fina	1'1 a 1'7	hasta 1'7	3 a 5	1 a 1'2	1'5 a 3	1'5 a 3
» media	1'7 a 2'3	1'7 a 2'6	5 a 7	1'2 a 1'4	3 a 5'5	más de 3
» gruesa	2'3 a 2'9	más de 2'6	7 a 12	—	más de 5'5	—

TABLA III. — *Clasificación de las fibras según su finura, expresada en Ndin.*

GRAFICOS DE RIGIDEZ APROXIMADA DE ALGUNAS FIBRAS EN FUNCION DE LA VARIABILIDAD DE SU FINURA EXPRESADA EN Ntex.

En la Tabla I dada anteriormente, las rigideces se refieren a una finura o peso unitario de fibra, igual para todas ellas, es decir, a una finura correspondiente a Ntex = 1 que, como ha podido verse en la Tabla II, representa una fibra muy gruesa; por tanto, vamos a dar ahora la rigidez de estas fibras en función de la variabilidad de su finura expresada en Ntex; esto nos permitirá comparar las rigideces correspondientes a una finura media de aplicación, lo que nos dará un resultado comparativo mucho más real de la rigidez particular de cada fibra.

La fórmula a aplicar para cada clase de fibra se obtendrá multiplicando la rigidez dada en la Tabla I, fórmula (4), por el factor $Ntex^2$; representando Ntex la variabilidad de finura de cada fibra dada en la Tabla II.

Así, en las figs. de 3 a 9 se dan los gráficos de rigidez aproximada de las fibras de algodón, lino, lana, pelo mohair, seda, rayón acetato, viscosa y cupro, fibra poliester y fibra poliamídica respectivamente, en función de la variabilidad de su finura expresada en Ntex.

Estos gráficos nos permitarán comparar la rigidez de flexión de dichas fibras en función de la finura media de aplicación antes mencionada, que puede ser la que corresponde al paso de la fibra fina a la media; por esta razón hemos indicado en estos gráficos la clasificación de las fibras en finas, medias y gruesas, según nuestro parecer.

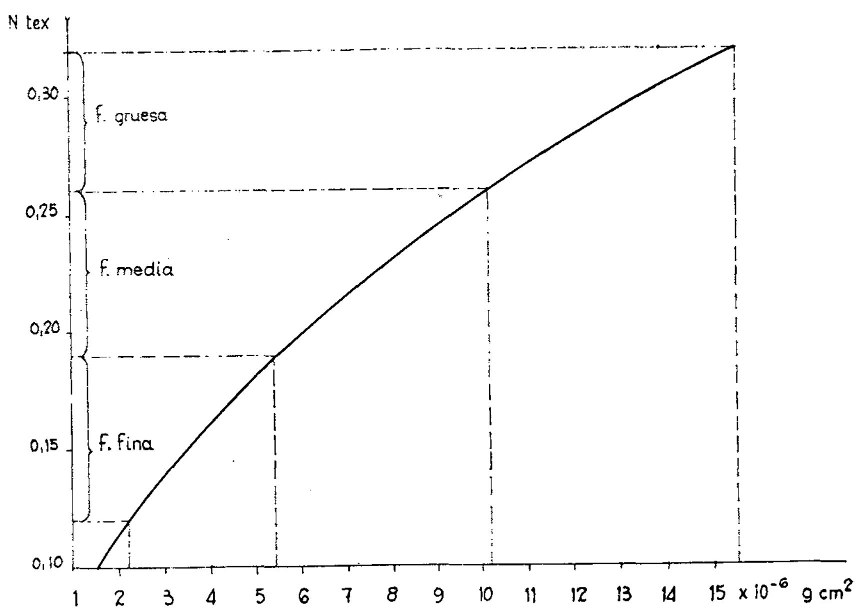

Fig. 3. - Rigidez de las fibras de algodón

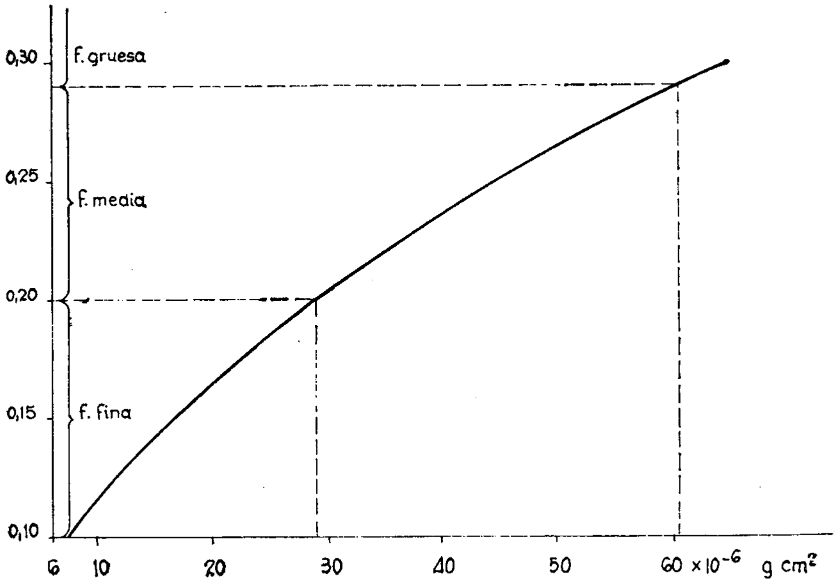

Fig. 4. - Rigidez de las fibras de lino

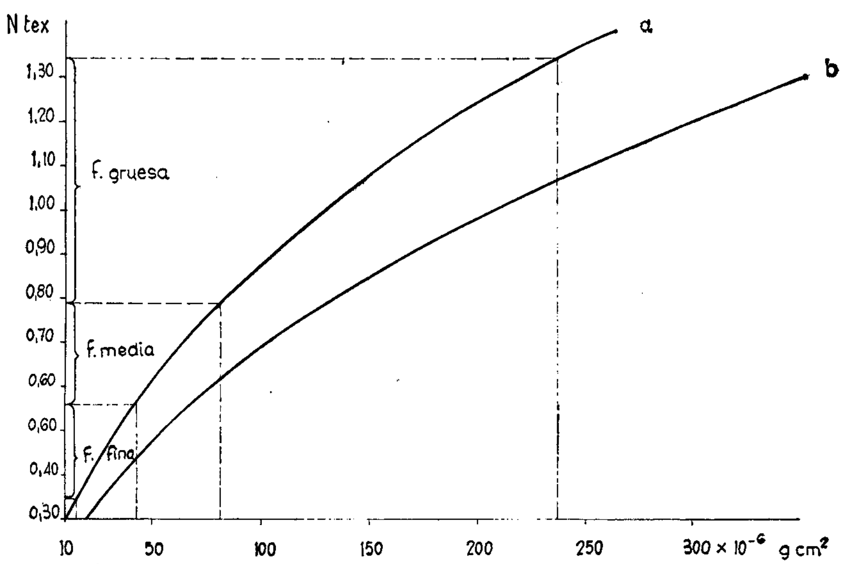

Fig. 5. - Rigidez de las fibras de lana (a) y de pelo mohair (b)

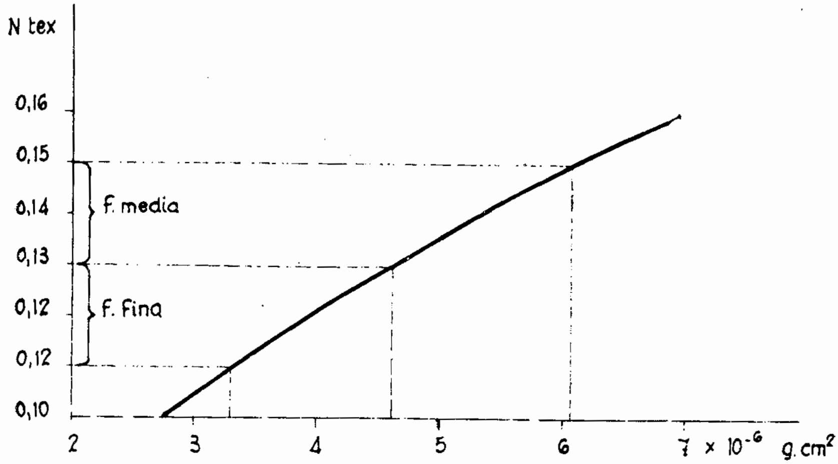

Fig. 6. - Rigidez de las fibras de seda

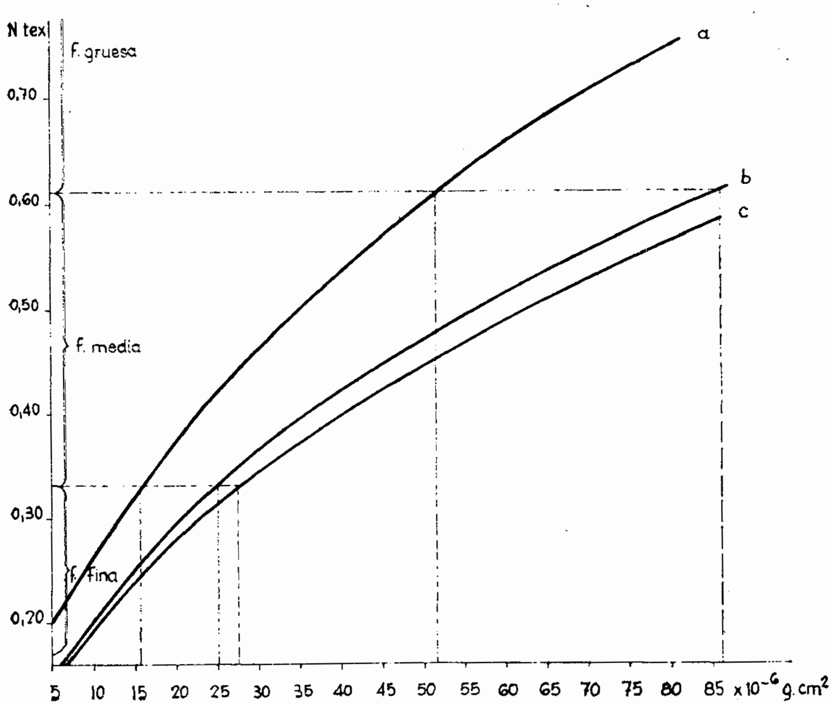

Fig. 7. - **Rigidez de las fibras artificiales acetato (a), viscosa (b) y cupro (c)**

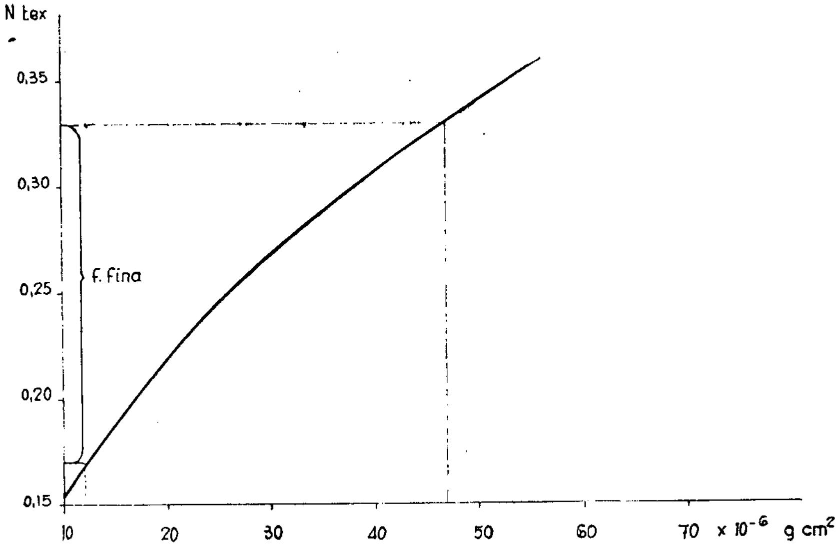

Fig. 8. - Rigidez de las fibras de poliester

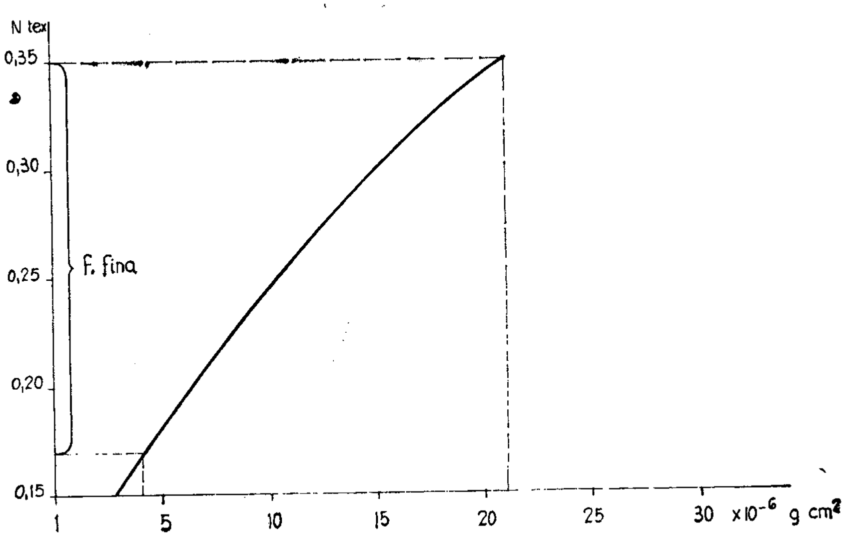

Fig. 9. - Rigidez de las fibras poliamídicas

En la tabla IV se da la rigidez media aproximada de algunas fibras, correspondiente a una finura media de aplicación.

Clase de fibra	Finura media de aplicación dada en Ntex	Rigidez de flexión
Algodón	Ntex medio de la fibra = 0'19	5'4 $\times 10^{-6}$ g cm²
Lino	» » » » » = 0'17	21'0 $\times 10^{-6}$ » »
Lana	» » » » » = 0'55	39'0(1) $\times 10^{-6}$ » »
Pelo mohair	» » » » » = 0'78 (2)	127'0 $\times 10^{-6}$ » »
Seda	» » » » » = 0'13	4'6 $\times 10^{-6}$ » »
Rayón viscosa	» » » » » = 0'33	25'0 $\times 10^{-6}$ » »
» cupro	» » » » » = 0'33	27'0 $\times 10^{-6}$ » »
» acetato	» » » » » = 0'33	15'0 $\times 10^{-6}$ » »
Fibra poliester	» » » » » = 0'33	47'0 $\times 10^{-6}$ » »
» poliamídica	» » » » » = 0'33	18'5 $\times 10^{-6}$ » »

TABLA IV. — *Rigidez de algunas fibras, correspondiente a una finura media de aplicación.*

Así, bajo el punto de vista de la finura media de aplicación, la fibra más rígida es la de pelo mohair y la más flexible la de seda.

La tabla que acabamos de dar, juzgamos que practicamente puede tener mucho interés porque cada una de las distintas clases de fibras, tal como se emplean para la fabricación de hilos, tienen su finura particular de aplicación; por lo tanto, comparar su rigidez para una finura en Ntex igual para todas ellas, no nos dará la realidad de la rigidez que nosotros prácticamente o por medio de aparatos encontramos en el hilo o en el tejido. Por ejemplo, todos sabemos que la lana es más rígida que el algodón; si comparamos su rigideces entre fibras de la misma finura o igual Ntex (Tabla I) veremos que la rigidez de la lana es de 1'3 y la del algodón 1'5; pero si comparamos sus respectivas rigideces en función de la finura media de aplicación dada también en Ntex (Tabla IV) veremos que la rigidez de la fibra de lana es de 39 mientras que la del algodón es de 5'5 tal como se puede apreciar prácticamente.

INFLUENCIA DEL GROSOR O NUMERO DEL HILO EN SU RIGIDEZ DE FLEXION

Las fórmulas que nos han servido para determinar gráficamente la variabilidad de rigidez en función de la finura o título de la fibra pueden servirnos también para determinar la rigidez en función del grosor o número del hilo. Para esto bastará multiplicar dichas fórmulas por el número de fibras n de que está compuesto el hilo. El valor de n varía para cada hilo pero su valor medio vendrá dado por la relación

(1) Recuérdese que este valor hay que multiplicarlo por 0'75 o por 1'25 según se trate de lana de Cabo o española.

(2) Consideramos que esta finura es la que corresponde a la media de aplicación.

$$n = \frac{\text{Ntex del hilo}}{\text{Ntex medio de la fibra}} = \frac{\text{Nhtex}}{\text{Nftex}}$$

Por lo tanto, la fórmula general a aplicar es;

$$\text{Rigidez} = K \times 10^{-4}\ \text{Nftex} \times \frac{\text{Nhtex}}{\text{Nftex}}$$

que una vez simplificada, será:

$$\text{Rigidez de flexión} = K \times 10^{-4}\ \text{Nftex}\ \text{Nhtex}$$

Siendo $K \times 10^{-4}$ la rigidez que corresponde a cada clase de fibra para $\text{Nftex} = 1$ que ya ha sido dada en la Tabla I.

También se puede encontrar la rigidez de flexión del hilo multiplicando la de la fibra dada en los gráficos, por la relación $\dfrac{\text{Nhtex}}{\text{Nftex}}$.

Cuando no conozcamos la finura media de la fibra que compone el hilo cuya rigidez queremos saber, entonces deberemos determinar dicha rigidez de una manera aproximada partiendo de la que figura en los gráficos, tomando una finura media que esté de acuerdo todo lo posible con la clase de hilo de que se trate.

Ejemplos:

1.º ¿Cuál será la rigidez aproximada de un hilo de algodón del N.º 19 tex, prescindiendo de la influencia de la torsión?

Para la determinación de la finura media de la fibra con que ha sido fabricado este hilo, hemos de considerar que el grueso del mismo es del tipo medio, por tanto, la finura de la fibra deberemos considerarla también media, es decir, del N.º 0'23 tex, que le corresponde una rigidez de 8×10^{-6} g cm^2 (véase fig. 3), según ésto, la rigidez aproximada del hilo será:

$$\text{Rigidez} = 8 \times 10^{-6} \times \frac{19}{0'23} = 662 \times 10^{-6}\ \text{g cm}^2,\ \text{o sea},\ 6'62 \times 10^{-4}\ \text{g cm}^2$$

2.º Calcular la rigidez aproximada de un hilo de estambre del N.º 25 tex, dejando aparte la influencia de la torsión.

Para fabricar un hilo de estambre de este número deberíamos emplear una fibra de finura media 0'70 tex aproximadamente, que le corresponde una rigidez de 64×10^{-6} g cm^2 (véase fig. 5), por lo que la rigidez aproximada de dicho hilo, será:

$$\text{Rigidez} = 64 \times 10^{-6} \times \frac{25}{0'70} = 2280 \times 10^{-6}\ \text{g cm}^2,\ \text{o sea},\ 22'8 \times 10^{-4}\ \text{g cm}^2$$

3.º Un hilo fabricado con 45 % de fibra de estambre de grueso igual a la del hilo del ejemplo anterior y con un 55 % de fibra poliester de finura 0'33 tex, de N.º 25 tex, igual al del hilo anterior, determinar si éste será más o menos rígido que aquél.

Ya hemos visto que la rigidez del primer hilo es de $22'8 \times 10^{-4}$ g cm^2.

La rigidez del segundo hilo, si fuera de 100 % de fibra poliester sería (véase fig. 8).

$$\text{Rigidez} = 46'8 \times 10^{-6} \frac{25}{0'33} = 3540 \times 10^{-6} \text{ g cm}^2, \text{ o sea, } 35'4 \times 10^{-4} \text{ g cm}^2.$$

Pero dicho hilo contiene un 45 % de la primera rigidez y un 55 % de la segunda. Luego la rigidez aproximada será:

$$\text{Rigidez} = (0'45 \times 22'8 + 0'55 \times 35'4) \times 10^{-4} = (10'25 + 19'5) \times 10^{-4} =$$
$$= 29'75 \times 10^{-4} \text{ g cm}^2,$$ o sea, el segundo hilo es más rígido que el primero.

INFLUENCIA DEL COEFICIENTE DE TORSION DEL HILO, EN SU RIGIDEZ DE FLEXION

No podemos demostrar matemáticamente o de una manera precisa la influencia que tiene la torsión o el coeficiente de torsión en la rigidez de flexión del hilo; no hay duda que la tiene pero tal vez en un grado más bajo del que a primera vista parece. Si bien por el tacto podemos apreciar en un hilo la influencia que tiene el grado de torsión, no debemos confundir la dureza con la rigidez; recordemos que dureza es lo contrario de suavidad y un hilo con mucha torsión será muy duro, pero probablemente no tan rígido como duro. Vamos a aclararlo; un hilo con poca torsión tiene sus fibras poco apretadas, por lo tanto, comunicará al tacto cierta suavidad o dulzura; por el contrario, un hilo con mucha torsión,

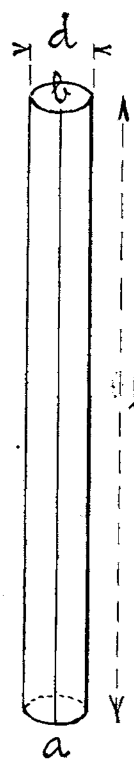

Fig. 10

Fig. 11

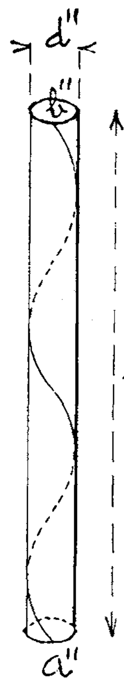

Fig. 12

por tener sus fibras muy apretadas, tendrá poca elasticidad de volumen y nos comunicará al tacto la sensación de dureza. Pero por lo que se refiere a su rigidez, un hilo con poca torsión tendrá más diámetro aparente o menos peso específico y ya sabemos que la rigidez es inversamente proporcional al peso específico del hilo y por lo tanto tenderá a tener mayor rigidez; un hilo con mucha torsión tendrá, por un lado, menor diámetro o más peso específico, por consiguiente, le corresponderá menor rigidez; pero por el otro, las fibras estarán más tensas y esto hará aumentar la rigidez de flexión como vamos a ver.

Consideremos que la fig. 10 representa esquemáticamente un hilo sin torsión, con una de sus fibras a b en su periferia, completamente recta. Si a este hilo de longitud l y diámetro d le damos la torsión normal pasará a la longitud l′ y diámetro d′, fig. 11, evidentemente algo menores, tomando la fibra la posición de la hélice a′ b′. Dicha fibra habrá sufrido un aumento de longitud y, por lo tanto, presentará una tensión longitudinal que antes no tenía; lo mismo sucederá con una gran parte de las demás fibras; si ahora doblamos el hilo, éste ofrecerá mayor resistencia a la flexión, que es lo que producirá el aumento de rigidez debido a la torsión. Si a este hilo le damos una fuerte torsión, tal como se representa en la fig. 12, quedará más corto y más delgado que en el caso anterior, con la fibra a″ b″ más tensa todavía y, por consiguiente, comunicará mayor rigidez al hilo.

En realidad, las hélices que forman las fibras por causa de la torsión del hilo, no son tan acentuadas ni tan regulares como han sido indicadas, pero aunque sean más o menos caprichosas e irregulares no dejan de influir en la rigidez del hilo antes indicada.

La rigidez que acabamos de considerar es la que proviene de la tensión de la fibra, provocada por la torsión del hilo, independientemente de la que puede producir la torsión particular de la fibra que también debería tomarse más o menos en consideración. Para que el lector pueda tener una idea de la rigidez de torsión particular de la fibra de finura dada en Ntex = 1, a continuación damos la Tabla V en la cual se indica dicha rigidez de torsión que no debe confundirse con la rigidez de flexión del hilo que adquirirá bajo la influencia de su torsión.

Clase de fibra	Rigidez de torsión	Clase de fibra	Rigidez de torsión
Algodón	$7'9 \times 10^{-4}$ g cm^2	Rayón viscosa	$4'7 \times 10^{-4}$ g cm^2
Lino	$5'8 \times 10^{-4}$ » »	» cupro	$7'0 \times 10^{-4}$ » »
Lana	$6'7 \times 10^{-4}$ » »	» acetato	$3'4 \times 10^{-4}$ » »
Pelo mohair	$6'7 \times 10^{-4}$ » »	Fibra poliester	$4'7 \times 10^{-4}$ » »
Seda	$10'2 \times 10^{-4}$ » »	» poliamídica	$4'0 \times 10^{-4}$ » »

TABLA V. — *Rigidez de torsión particular de la fibra.*

No habiendo encontrado, de momento, ninguna exposición matemática satisfactoria para relacionar la influencia que la torsión tiene en la rigidez del hilo y debiendo resolver este asunto aunque sólo sea de una manera aproximada, nos hemos visto obligados a recurrir a deducciones experimentales que juntamente con lo que se acaba de exponer, nos permiten juzgar que la rigidez del hilo, que le comunica la torsión, es directamente proporcional al coeficiente de torsión; pero dicho coeficiente prácticamente no influirá hasta alcanzar determinado valor, que para los hilos de algodón y seda (fibras de mayor rigidez de torsión) consideramos que, en tex, es de 1.000; para los de lino, lana, pelo, fibrana viscosa y cupro y poliester, de 1.250; y para los de fibrana acetato y nylon (fibras de menor rigidez de torsión) de 1.500.

Según ésto, el aumento de la rigidez de flexión debido a la torsión del hilo vendrá dado por un factor que será el cociente de dividir el coeficiente de torsión dado en tex, por un divisor d de valor 1.000, 1.250 ó 1.500, según la clase de hilo de que se trate.

Así la fórmula que en este caso nos dará la rigidez de flexión del hilo, será:

$$\text{Rigidez re flexión del hilo} = K \times 10^{-4}\ \text{Nftex Nhtex}\ \frac{\text{Ktex}}{d}\ \text{g cm}^2 \quad (6)$$

Los gráficos de las figs. 13, 14, 15, nos dan los factores de aumento en función del coeficiente Ktex de torsión, para cada una de las tres clases de hilo respectivamente.

Para tener una idea de la rigidez de flexión media de los hilos de las principales fibras, correspondientes a una finura de fibra media, a un coeficiente de torsión normal y a un número de hilo medio de aplicación, seguidamente se da la tabla VI cuya rigidez de flexión media del hilo ha sido hallada multiplicando la rigidez de flexión media de la fibra, por el número de fibras que aproximadamente contiene el hilo y por el factor de aumento de rigidez debido al coeficiente de torsión.

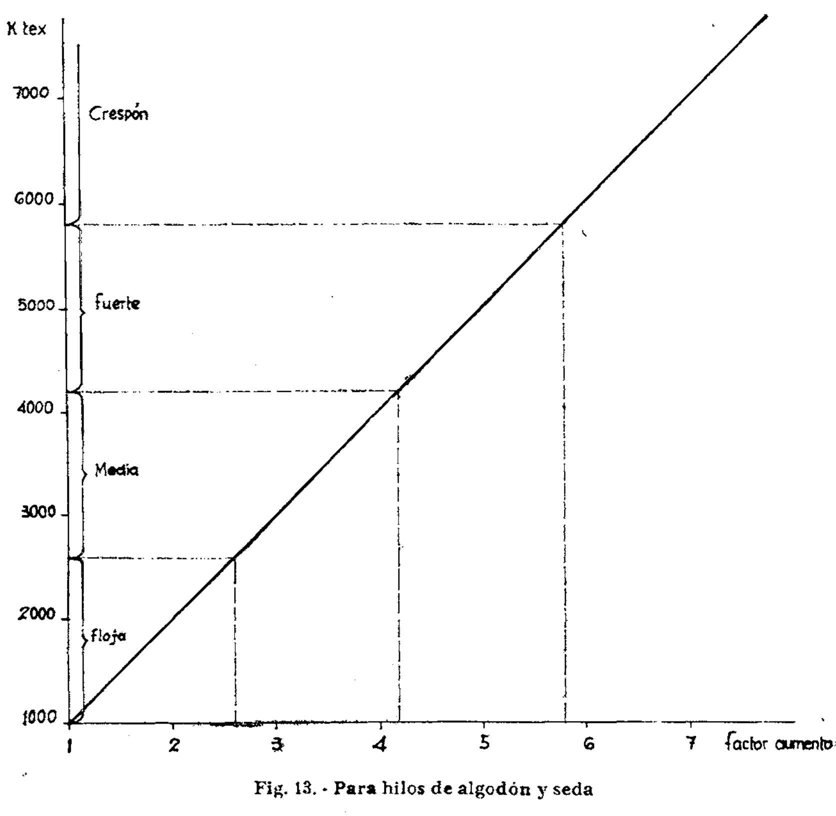

Fig. 13. - **Para hilos de algodón y seda**

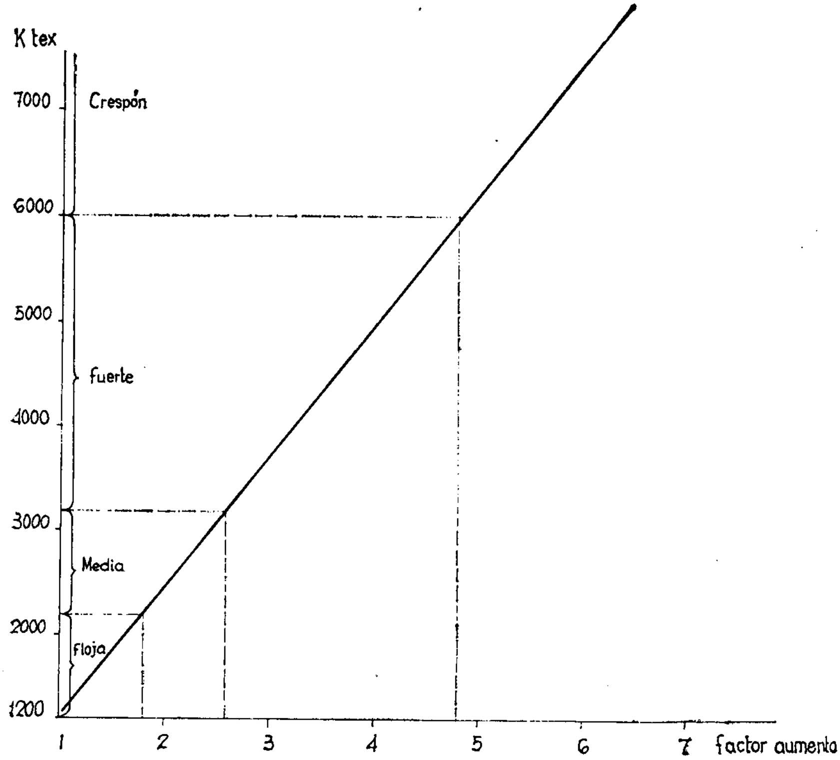

Fig. 14. - Para hilos de lino, lana, viscosa cupro y poliester

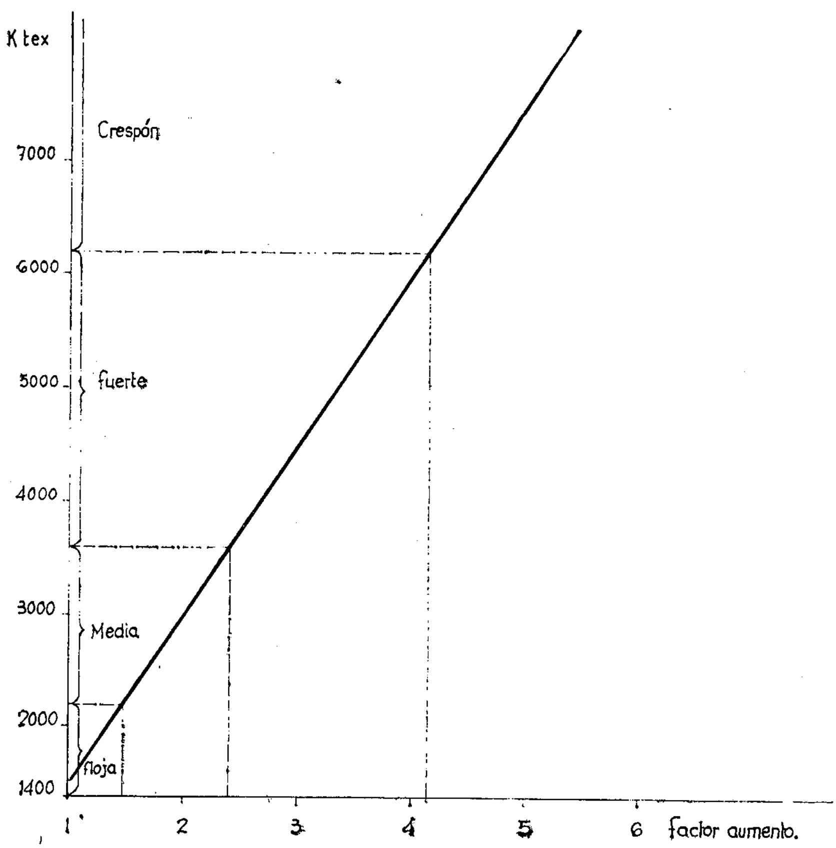

Fig. 15. - Para hilos de fibrana acetato y fibra poliamídica

Hilo de	Rigidez de flexión media de la fibra	Número aproximado de fibras del hilo	Coef. de torsión y factor de aumento	Rigidez de flexión media del hilo
Algodón	5'4 × 10^{-6} g cm^2	19 : 0'19 = 100	3500 : 1000 = 3'5	18'8 × 10^{-4} g cm^2
Lino	21'0 × 10^{-6} » »	19 : 0'17 = 112	2810 : 1250 = 2'1	49'1 × 10^{-4} » »
Lana peinada	39'0 × 10^{-6} » »	25 : 0'55 = 45	2810 : 1250 = 2'1	36'8 × 10^{-4} » »
» cardada	39'0 × 10^{-6} » »	79 : 0'55 = 143	3500 : 1250 = 2'8	157'0 × 10^{-4} » »
Pelo mohair	127'0 × 10^{-6} » »	50 : 0'78 = 64	3180 : 1250 = 2'5	203'0 × 10^{-4} » »
Seda	4'6 × 10^{-6} » »	5 : 0'13 = 38	1900 : 1000 = 1'9	3'3 × 10^{-4} » »
Rayón viscosa	25'0 × 10^{-6} » »	11 : 0'33 = 34	— —	8'5 × 10^{-4} » »
» cupro	27'0 × 10^{-6} » »	11 : 0'33 = 34	— —	9'2 × 10^{-4} » »
» acetato	15'0 × 10^{-6} » »	11 : 0'33 = 34	— —	5'1 × 10^{-4} » »
Fibrana viscosa	25'0 × 10^{-6} » »	20 : 0'33 = 60	2810 : 1250 = 2'1	31'6 × 10^{-4} » »
» cupro	27'0 × 10^{-6} » »	20 : 0'33 = 60	2810 : 1250 = 2'1	34'0 × 10^{-4} » »
» acetato	15'0 × 10^{-6} » »	20 : 0'33 = 60	2810 : 1500 = 1'9	17'1 × 10^{-4} » »
Fibra poliester	47'0 × 10^{-6} » »	11 : 033 = 34	— —	15'0 × 10^{-4} » »
» poliamídica	18'5 × 10^{-6} » »	11 : 033 = 34	— —	6'3 × 10^{-4} » »

TABLA VI. — *Rigidez de flexión media de algunos hilos de número o título medio de aplicación.*

INFLUENCIA DE LA DENSIDAD Y DEL LIGAMENTO EN LA RIGIDEZ DE FLEXION DEL TEJIDO.

La densidad del tejido, bajo el punto de vista de su rigidez, influye en las dos direcciones, la de urdimbre y la de trama. En cada una de estas direcciones la rigidez del tejido depende de tres variables. En la dirección de la urdimbre, depende: 1.º, de la densidad de urdimbre; 2.º, del coeficiente de ligadura de urdimbre; y 3.º, del coeficiente de densidad de tramama. De la misma manera la rigidez del tejido en la dirección de la trama, depende de la densidad de trama, del coeficiente de ligadura de trama y del coeficiente de densidad de urdimbre.

La influencia de la densidad queda de manifiesto porque si la fórmula (6) nos da la rigidez de flexión de un hilo, ya se comprende que si la densidad del tejido, en una dirección dada, es de D hilos por cm., la rigidez de un cm. de tejido en esta dirección será D veces mayor.

La influencia del ligamento, o mejor dicho, del coeficiente de ligadura, también queda de manifiesto porque en la fórmula (6) se supone que el hilo está recto, es decir, tal como se presenta en la fig. 16, pero en el tejido forma las on-

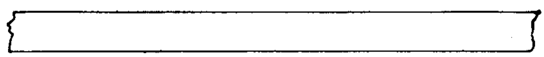

Fig. 16

dulaciones determinadas por sus evoluciones, tal como se representa en la fig. 17.

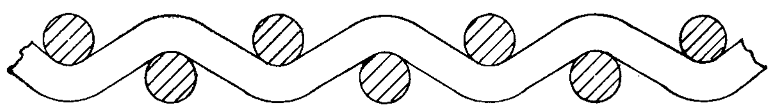

Fig. 17

Estas ondulaciones hacen que muchas fibras queden más o menos flexadas y que pequeñas porciones de ellas estén con mayor tensión, lo que harán aumentar la rigidez cuando se doble el tejido. El número de ondulaciones o flexiones dependerá del coeficiente de ligadura (véase fig. 18) y para determinar su influencia

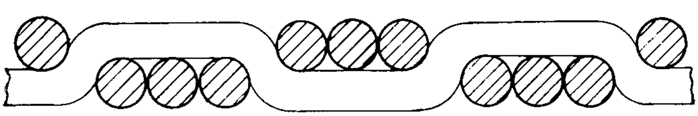

Fig. 18

numérica sobre la rigidez del tejido nos hemos visto obligados a recurrir a procedimientos experimentales, los cuales nos han permitido deducir que la rigidez del tejido aproximadamente es directamente proporcional al coeficiente de ligadura; pero su influencia no se pone de manifiesto hasta que alcance el valor 0'2 que es el mínimo de aplicación en la práctica. (Recuérdese que el ligamento que más liga es el tafetán, que tiene un coeficiente de ligadura igual a 1; todos los demás ligamentos aplicables en la práctica tienen un coeficiente de ligadura comprendido entre 0'2 y 1). Por lo tanto, para encontrar el factor de aumento de rigidez debido al coeficiente de ligadura, debemos dividir dicho coeficiente por 0'2, es decir, que el mencionado factor será $\frac{Kl}{0'2}$, siendo Kl el coeficiente de ligadura.

Y por último, la influencia de la densidad y del número del hilo de trama, es decir, del coeficiente de densidad de trama, para la rigidez en el sentido de la urdimbre, también se pondrá de manifiesto si comparamos las figs. 17 y 19; al

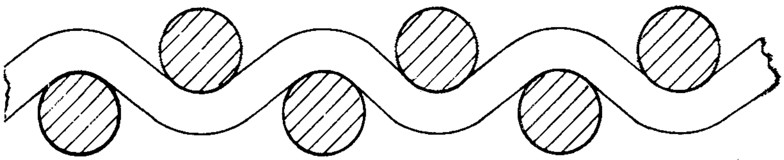

Fig. 19

aumentar el coeficiente de densidad aumentará la ondulación y por consiguiente la rigidez. Pero también el coeficiente de densidad tiene un valor mínimo de aplicación que podemos considerar de 60, como término medio, por lo que el factor de aumento debido a este coeficiente de densidad, vendrá dado por el cociente de dividir dicho coeficiente por 60 y como en el caso anterior, experimentalmente hemos deducido que el mencionado factor interviene aproximadamente de una manera directamente proporcional. Así, este tercer factor de aumento será $\frac{Kd}{60}$, siendo Kd el coeficiente de densidad expresado en tex.

Así, la fórmula completa para encontrar indirectamente la rigidez aproximada de un tejido, será la (6) multiplicada por los factores D, $\frac{Kl}{0'2}$ y $\frac{Kd}{60}$, que expresada en dos, una para la urdimbre y otra para la trama y simplificando, serán:

Rigidez de flexión por urdimbre =

$$= K \times 10^{-4}\ \text{Nftex Nhtex}\ \frac{Kt}{d}\ Dn\ \frac{\text{Klu Kdt}}{12}\ \text{g cm}^2 \quad (7)$$

Rigidez de flexión por trama =

$$= K \times 10^{-4}\ \text{Nftex Nhtex}\ \frac{Kt}{d}\ Dt\ \frac{\text{Klt Kdu}}{12}\ \text{g cm}^2 \quad (8)$$

siendo Du y Dt, Klu y Klt, Kdu y Kdt, las densidades, los coeficientes de ligadura y los coeficientes de densidad de urdimbre y de trama respectivamente.

Con las fórmulas (7) y (8) podremos calcular la rigidez de flexión aproximada en la dirección de la urdimbre y en la de la trama respectivamente, pero si queremos expresar la rigidez del tejido en función de la rigidez total del mismo, entonces calcularemos la media geométrica de los valores encontrados por urdimbre y por trama. Así representando por Ru y Rt la rigidez de flexión por urdimbre y por trama la rigidez total estará expresada por la fórmula:

$$\text{Rigidez de flexión total} = \sqrt{\text{Ru Rt}} \quad (8).$$

Ejemplo de aplicación:

Nos interesa calcular la rigidez total aproximada que puede tener un tejido de algodón (azul mecánico) que tiene las siguientes características al salir del telar.

Urdimbre: Hilo de algodón de N.º tex 25 × 2, con 30 hilos por cm. Trama: hilo también de algodón de N.º tex 35, con 26 pasadas por cm. Ligamento, sarga batavia de tres.

Tanto la urdimbre como la trama de este tejido, a juzgar por los números de los hilos, estarán fabricados con fibra del tipo corriente (Nftex = 0'24) con coeficientes de torsión normales, es decir, 3470 para la urdimbre y 3160 para la trama. El coeficiente de ligadura es de 0'666 tanto por urdimbre como por trama.

El coeficiente de densidad de urdimbre será:

$$\text{Kdu} = 30 \sqrt{50} = 212 \text{ y el de trama Kdt} = 25 \sqrt{35} = 148.$$

La rigidez de la fibra para Nftex = 1, será: $1'5 \times 10^{-4}$ (Tabla I).

La rigidez de flexión aproximada por urdimbre, aplicando la fórmula (7) será:

$$\text{Ru} = 1'5 \times 10^{-4} \times 0'24 \times 25 \times 2 \times \frac{3470}{1000} \times 30 \times \frac{0'666 \times 148}{12} = 1'55 \text{ g cm}^2$$

y la de trama, aplicando la fórmula (8), será:

$$\text{Rt} = 1'5 \times 10^{-4} \times 0'24 \times 35 \times \frac{3160}{1000} \times 26 \times \frac{0'666 \times 212}{12} = 1'20 \text{ g cm}^2$$

Luego, la rigidez total, será: $\text{Rtot.} = \sqrt{1'55 \times 1'20} = 1'36 \text{ g cm}^2$.

Observaciones:

1.ª Cuando no se sepa con exactitud la finura o título de la fibra debe darse de una manera aproximada fundándose en el aspecto y grosor de la misma, en el grueso o número del hilo, etc.; en este caso, el uso de la tabla II puede dar una buena orientación.

2.ª De la misma manera, cuando no se sepa el coeficiente de torsión, debe uno fijarse en el aspecto del hilo para deducir si la torsión es normal o especial. (Los gráficos de las figs. 13, 14, 15, pueden también orientar para determinar el factor que deberá tomarse).

Ya se ha dicho que el procedimiento indirecto para determinar la rigidez de flexión de un tejido, puede dar resultados aproximados, por lo que cuanto más exactos sean los datos de finura de fibra, coeficiente de torsión, etc., más reales serán los resultados obtenidos.

INFLUENCIA DE GRADO DE SOBREPOSICION PARCIAL O TOTAL DE LAS BASTAS DEL LIGAMENTO

La influencia que la sobreposición parcial puede tener en la rigidez del tejido, juzgamos que es poquísima, ya que si por un lado dicha sobreposición representa que tiende a disminuir la densidad, por el otro tiende a aumentar el grosor del tejido y, por tanto, la rigidez; consideramos que aproximadamente se compensan y no vamos a tener en cuenta dicha sobreposición parcial. En cambio, la sobreposición total si vamos a considerarla. En las telas a dos caras por urdimbre en relación 1 y 1, por ejemplo, para calcular la rigidez por trama, se tomará el coeficiente de densidad de urdimbre multiplicado por $\frac{1}{2}$; si la relación es de 2 y 1, se tomará multiplicando por 2/3; etc. En las dobles telas la rigidez total podrá encontrarse sumandos las rigideces particulares de cada tela; en caso de que estén ligadas por medio de hilos suplementarios, se añadirán la mitad de éstos en cada una de las dos telas.

Para todos los tejidos compuestos deberá ponerse la máxima atención para determinar el coeficiente de ligadura y el coeficiente de densidad.

INFLUENCIA DE LA CLASE DE ACABADO

La influencia del acabado es la parte más difícil, por no decir imposible, de poder relacionar con la rigidez, ya que ésta es tan sensible a las operaciones de acabado que un cambio en alguna de ellas es capaz de hacer variar notablemente dicha regidez. Hemos podido comprobar que las operaciones de acabado hacen disminuir la rigidez de los tejidos, siempre que en ellas no haya un fuerte batanado o no se aplique alguna a base de aprestos adicionantes.

Las causas que hacen que las operaciones de acabado hagan disminuir la rigidez del tejido son varias. Por lo que anteriormente hemos expuesto, sabemos que las fibras en el tejido se hallan sujetas a determinadas tensiones o fatigas. La variabilidad de la tensión longitudinal o por tracción, es la que más influye en la variabilidad de rigidez. En algunas operaciones de acabado (lavaje, ramaje, calandrado o prensado) las fibras más tensas probablemente se rompen o se alargan más o menos permanentemente y esto es lo que sin duda hace disminuir la rigidez. La operación que consideramos que más influye en la disminución de la rigidez del tejido, especialmente por trama, es el perchado. En cambio otras operaciones tenderán a aumentar la rigidez, como el fieltrado o el batanado en los tejidos de lana, el mercerizado en los de algodón, etc. Repetimos que en las operaciones de acabado a que nos referimos en este capítulo, no ha de haber ninguna a base de apresto adicionantes, ya que si ésta existiera podría aumentar considerablemente la rigidez.

No nos es posible fijar de una manera correcta la disminución numérica que las operaciones de acabado pueden producir a la rigidez del tejido, pero para dar una idea aproximada diremos que dicha disminución puede ser: Para los tejidos simplemente lavados, de 25 a 50 %; para los lavados y perchados de 50 a 100 %, siendo la disminución de la rigidez, en este caso, mucho mayor por trama. Si el tejido ha sido más o menos fieltrado, mercerizado, etc., dicha disminución puede ser mucho menor; entonces el interesado, con su criterio, puede determinar de una manera aproximada la disminución media, que a su juicio, puede considerar.

OBSERVACION FINAL

Acabamos de ver que el estudio de la determinación indirecta de la rigidez de flexión que puede tener un tejido no es fácil, por depender de varias causas algunas de ellas difíciles de medir. Si nos hemos interesado por este estudio ha sido, por un lado, para ver más claramente algunos problemas relacionados con la rigidez de los tejidos que frecuentemente se nos presentan en la práctica diaria de su fabricación; y por el otro para tener una idea de la influencia que cada una de las variadas causas tiene en sus efectos. Es posible que el cálculo indirecto no siempre coincida con el determinado directamente por medio de los aparatos apropiados, pero la gran ventaja del procedimiento que acabamos de exponer consiste en que si al calcular indirectamente la rigidez que puede tener un hilo o un tejido antes de ser fabricado, si ésta no nos conviene, siempre podremos modificar algo de su estructura, o de la disposición de su fabricación para que la nueva rigidez sea la que más nos convenga.

De varios tejidos de distintas naturaleza, hemos determinado la rigidez de flexión por los dos procedimientos el indirecto y el directo y al cotejar los resultados obtenidos hemos encontrado una coincidencia bastante satisfactoria entre dicho resultados. No obstante, debemos advertir que en el procedimiento indirecto que acabamos de exponer, para calcular aproximadamente la rigidez que puede tener un hilo o un tejido, hemos hecho uso de fórmulas, algunas de las cuales han podido deducirse matemáticamente y por tanto pueden dar resultados bastante precisos; otras, sólo ha sido posible deducirlas de una manera más o menos experimental y por consiguiente susceptibles de ser modificadas o perfeccionadas para conseguir resultados lo más exactos posible dentro de la gran variedad de casos que pueden presentarse entre las diferentes clases de tejidos.