

INFLUENCIA DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS DEL HILO SOBRE SU COMPORTAMIENTO FRICCIONAL

A. Naik*, N. Gómez**, E. Valencia*** y J. Torrecillas****

0.1. Resumen

Durante la conversión de los hilos en tejidos, suele aparecer como problema repetitivo tanto el desgaste como la abrasión sufridas por el hilo y las guías. El control de la fricción tiene una gran importancia durante todos estos procesos. Poder conocer el comportamiento friccional de un hilo antes de su procesado puede ayudarnos a controlar la fricción en las distintas etapas del proceso textil.

Por esto en este trabajo se han estudiado un conjunto de hilos de lana 100% y mezclas con diferentes parámetros estructurales con el fin de estudiar su efecto en el comportamiento friccional de los mismos en diferentes condiciones de ensayo.

Palabras clave: Coeficiente de fricción de hilo, ángulo de contacto, coeficiente de torsión.

0.2. Summary: INFLUENCE OF SOME OF THE YARN CHARACTERISTICS ON THEIR FRICTIONAL BEHAVIOUR

When yarns are woven into fabric, there generally appears a repetitive problem both in wear and abrasion that appears in the yarn, the guides and other metal elements. Friction control is of great importance during all of these processes. Being able to know the frictional behaviour of a yarn before it is woven may help to control friction at different stages of the textile process. Thus, this work takes a set of 100% wool yarns mixed with different structural parameters in order to study their effect on the frictional behaviour of the yarns under different test conditions.

Key words: Yarn friction, friction angle, twist coefficient.

0.3. Résumé: INFLUENCE DE CERTAINES CARACTÉRISTIQUES DU FIL SUR SON COMPORTEMENT À LA FRICTION

Le problème le plus fréquent, observé pendant la conversion des fils en tissus, relève de l'usure et de l'abrasion du fil, des guides et des autres éléments métalliques. Le contrôle de la friction est très important à toutes les étapes. Pour connaître le comportement d'un fil à la friction avant son traitement, il peut être utile de contrôler la friction dans les différentes étapes du procédé textile.

Les auteurs ont donc entrepris d'étudier un ensemble de fils de laine 100% et de mélanges avec différents paramètres structurels pour étudier l'effet sur leur comportement à la friction dans des conditions d'essai différentes.

Mots clé: Coefficient de friction, angle de friction, coefficient de torsion.

1. INTRODUCCIÓN

Cuando un cuerpo se desliza sobre otro hay una fuerza que se opone al movimiento, dicha fuerza recibe el nombre de fricción, ésta es independiente del área geométrica de los cuerpos puestos en contacto. La fuerza friccional es proporcional a la carga normal aplicada a los cuerpos y por tanto el coeficiente de fricción entre dos cuerpos se mantiene prácticamente constante, cumpliéndose que:

$$\mu = F/N$$

Coulomb en 1799 nos aporta la primera definición de fricción estática –Fuerza requerida para iniciar el movimiento- y de fricción dinámica –Fuerza necesaria para mantener el movimiento- y demostró que la fricción surgía esencialmente de las asperezas presentes en todas las superficies y puede reducirse considerablemente mediante el uso de lubricantes, que pueden cubrir los huecos entre las superficies^{1,2,3}.

Es más fácil interpretar y conocer las propiedades friccionales de un material homogéneo que de uno heterogéneo. En las fibras sintéticas⁴ es posible explicar los principales rasgos del comportamiento friccional no así en las fibras naturales que tienen una complejidad estructural impuesta por los requerimientos biológicos tanto de su pasado como de su presente. En el caso de la lana existe una importante diferencia entre las propiedades friccionales y la fuerza de fricción, ésta depende de la dirección del movimiento y será muy grande cuando la fibra roce contra una superficie de punta a raíz, pues en este sentido las escamas

* Dr. Ing. Arun Naik Kardile, Prof. Titular de Universidad en el Departamento de Ingeniería Textil y Papelera (U.P.C.). Subdirector de la E.T.S.I.I.T. (U.P.C.). Jefe del Laboratorio de Parametría Física Textil del INTEXTER.

** Dra. Nieves Gómez de Paula, Laboratorio de Parametría Textil, INTEXTER (U.P.C.).

*** Dr. Ing. Eugeni Valencia Leonardo. Catedrático del Departamento de Mecánica de Fluidos en la E.T.S.E.I.B. (U.P.C.). Asignación secundaria al Laboratorio de Sistemas y Procesos Textiles del INTEXTER (U.P.C.).

**** J. Torrecillas, Ing. Industrial.

actúan como una cadena de asperezas que han de ser superadas. El valor de la fuerza de fricción es por ello muy superior al que se obtiene con un movimiento de raíz a punta. El coeficiente de fricción en el caso de un movimiento de punta a raíz toma el doble de valor que si se considera el deslizamiento de raíz a punta⁵⁾.

Para la conversión de las fibras en hilos y de éstos en tejidos tiene una gran importancia el control de la fricción, que influirá en el rendimiento y calidad del producto final. La fricción en el devanado y en el hilo tensado, el desgaste y la abrasión sufridos por el hilo y las guías, son comunes en estos procesos.

Por otro lado el coeficiente de fricción dinámico para rozamientos sobre superficies influye en la facilidad de deslizamiento de las fibras resbalando unas a lo largo de otras y la fricción con las partes de la maquinaria con las que tales fibras están en contacto. Es fundamental el conocimiento de este coeficiente de fricción para dominar el comportamiento de las fibras en las diversas fases del proceso de hilatura y también en los procesos en los que interviene el hilo⁶⁾.

2. OBJETIVOS

Las fibras e hilos sufren un rozamiento continuo durante los procesos de fabricación que puede alterar sus características iniciales, por otro lado si un hilo presenta variaciones en el coeficiente de fricción se muestran irregularidades del mismo tipo en las prendas ya fabricadas.

Dada la importancia de la fricción de los hilos en los procesos textiles, especialmente en la obtención de géneros de punto, el objetivo del presente trabajo es determinar que características físicas, estructurales y del proceso de fabricación

son relevantes en el comportamiento friccional de un hilo. Somos conscientes de la complejidad de los procesos y el gran número de variables que influyen en la fricción que en muchos casos hace difícil correlacionar los datos de laboratorio con la práctica industrial.

3. EXPERIMENTAL

Las muestras de hilo fueron acondicionadas en ambiente estándar ($20 \pm 1^\circ\text{C}$, $65 \pm 5\% \text{h.r.}$), durante al menos 24h (ASTM D3374)⁷⁾.

Para la determinación de los coeficientes de fricción de los hilos se ha usado un F-meter R-1183 de Rothschild junto con el enrollador R-1083⁸⁾.

Organizaremos este estudio en tres áreas:

1.-Las características y parámetros estructurales de la materia prima.

2.-Las características del hilo: número métrico, mezcla de distintos tipos de fibras, parámetros de torsión y retorsión y número medio de fibras por sección.

3.-Los parámetros y componentes de la máquina: velocidad del hilo 20, 50 y 100m/min, material de rozamiento –acero y cerámica- y ángulo de contacto 90, 135 y 180°.

En este trabajo se han estudiado un conjunto de 16 hilos de lana y mezclas de diferentes composiciones y parámetros estructurales, pero obtenidos todos ellos en continuas de anillo y siguiendo un proceso de hilatura de estambre. Las principales materias primas utilizadas son: lana, lana merina y mezclas con fibras acrílicas, poliamidas y poliéster. En la tabla 1 se muestran los hilos empleados así como su composición y número métrico.

TABLA 1

REFERENCIA	COMPOSICION	NUMERO (Nm)
01	80% Lana/ 20% Poliamida	34
03	100% Lana	18
06	50% Lana/ 50% Acrílico	42
08	85% Lana/ 15% Poliamida	18
09	80% Lana/20% Poliéster	20
10	50% Lana/ 50% Acrílico	25
11	50% Lana/ 50% Acrílico H.B.	18
14	100% Lana	36
24	50% Lana/ 50% Acrílico	24
30	100%Lana	09
33	60% Acrílico HB/ 25% Poliamida/ 15% Lana	22
36	100% Lana Merina	28
39	65% Lana/ 35% Acrílico	08
41	50% Lana/ 50% Acrílico	07
46	100% Lana Merina	42
54	100% Lana Merina	28

-Una primera selección de los diferentes números métricos existentes en el lote nos permite estudiar el efecto de la velocidad, ángulo de rozamiento y material en función del número métrico.

-La siguiente selección se realiza en función de la composición considerando los diferentes porcentajes de lana.

-A continuación se seleccionan los hilos con diferentes valores de torsión, retorsión y el coeficiente Retorsión/Torsión.

-Las sucesivas selecciones se realizan atendiendo al número medio de fibras por sección y la finura de las fibras que constituyen el hilo.

-El último estudio trata del efecto de la fricción dinámica cuando el rozamiento se realiza sobre el propio hilo, en este apartado se estudian los hilos seleccionados según la composición.

3.1. Determinación del coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción dinámico para el rozamiento del hilo con diferentes superficies se calcula mediante la fórmula de Eytelwein que hemos expresado como:

$$Ts/Te = e^{\theta\mu}$$

Donde: Ts es la tensión de salida del hilo (cN)

Te es la tensión de entrada del hilo (cN)

θ es el ángulo entre el hilo y el material de rozamiento (rad)

μ es el coeficiente de fricción entre el hilo y el material de rozamiento.

El eje cilíndrico de fricción es de acero o de cerámica, los ángulos estudiados son 135°, 180° y 90° y las velocidades de deslizamiento aplicadas de 20, 50 y 100 m/min.

Para la determinación del coeficiente de fricción dinámico de hilos entrelazados, el procedimiento más empleado se basa en el rozamiento del hilo consigo mismo al tiempo que se bobina a una velocidad muy reducida. Para el cálculo de dicho coeficiente se usa la fórmula de Lindberg y Galén:

$$\mu = (1/\pi n \beta) \ln Ts/Te$$

siendo: n el número de vueltas que el hilo describe sobre sí mismo, en nuestro caso 3

β el ángulo de fricción (rad)

Ts la tensión de salida del hilo (cN)

Te la tensión de entrada del hilo (cN)

4. RESULTADOS

En la Tabla 2 se muestran los coeficientes de fricción obtenidos para los hilos de los hilos de lana en función de su número métrico, usando como materiales para el eje de rozamiento acero y cerámica, ángulos de deslizamiento en el hilo y el eje de 135°, 180° y 90° y velocidades del hilo de 20, 50 y 100 m/min.

TABLA 2

Material	Angulo	Velocidad (m/min)	COEFICIENTE DE FRICCION				
			Nm 09	Nm 18	Nm 28	Nm 36	Nm 42
Acero	135°	20	0.34	0.24	0.16	0.22	0.10
		50	0.42	0.26	0.26	0.24	0.18
		100	0.42	0.30	0.28	0.28	0.28
	180°	20	0.50	0.48	0.34	0.34	0.12
		50	0.56	0.44	0.36	0.38	0.20
		100	0.54	0.52	0.34	0.32	0.24
	90°	20	0.64	0.40	0.42	0.42	0.12
		50	0.68	0.52	0.30	0.40	0.30
		100	0.74	0.58	0.48	0.54	0.36
Cerámica	135°	20	0.44	0.22	0.20	0.26	0.18
		50	0.48	0.24	0.28	0.28	0.32
		100	0.50	0.26	0.30	0.30	0.34
	180°	20	0.50	0.36	0.34	0.30	0.26
		50	0.60	0.38	0.34	0.34	0.28
		100	0.52	0.40	0.36	0.38	0.30
	90°	20	0.74	0.66	0.42	0.44	0.26
		50	0.80	0.72	0.44	0.40	0.32
		100	0.80	0.52	0.46	0.42	0.34

Se observa una tendencia general a la reducción del coeficiente de fricción con el aumento del número métrico, independientemente de la posición o ángulo de rozamiento utilizado en el ensayo. A medida que el número métrico aumenta el hilo se va haciendo más fino y por tanto más flexible a la vez que presentará menos irregularidades, la superficie de contacto con el eje será por ello menor y la fricción que de ella se derive también se reducirá.

La velocidad es sin duda un factor que afecta a la fricción, en las posiciones de los hilos a 135° y 90° el aumento de velocidad provoca un aumento en el coeficiente de fricción. Los valores de rozamiento obtenidos cuando el eje es de cerámica son en general mayores que los obtenidos sobre eje de acero. Si bien para la posición o ángulo de rozamiento de 180° el material que aporta menor fricción es la cerámica, aunque apreciamos un cambio conforme crece el número métrico, cuanto más fino es el hilo mejor es su comportamiento sobre ejes de acero. Para el ángulo de rozamiento de 135°, independientemente de la velocidad el mejor material es el acero. Los comportamientos más lineales se dan para las velocidades de 50 y 100m/min. La diferencia entre números es mínima, en concreto para la velocidad de 100m/min el coeficiente de fricción toma los mismos valores para los números comprendidos

entre Nm 18 y Nm 42. Para la posición de rozamiento de 90°, el comportamiento friccional respecto a los dos materiales estudiados, acero y cerámica, es idéntico e igualmente inadecuado. El coeficiente de fricción toma valores muy elevados y aunque la aplicación de ensimajes lo reduzca será difícil llegar a niveles óptimos para su procesado en la industria de género de punto.

La posición más adecuada para el rozamiento de los hilos por las diferentes componentes de las máquinas es de 135° independientemente de la velocidad, un incremento de ésta provoca un aumento del coeficiente de fricción. La posición de 90° es poco adecuada pues el coeficiente de fricción toma valores muy elevados, pero permite apreciar como este disminuye con el aumento del número métrico. La posición de rozamiento alrededor de superficies cilíndricas más adecuada es de 135°. El comportamiento de la cerámica frente al acero es menos estable, para hilos gruesos es decir de número métrico bajo el rango de variación del coeficiente de fricción es similar, sin embargo con los números más altos presenta una tendencia a la baja más suave cuando usamos componentes de cerámica frente a los de acero.

En la tabla 3 se muestran los resultados de coeficiente de fricción en función de la proporción de lana en los hilos.

TABLA 3

Material	Ángulo	Velocidad (m/min)	COEFICIENTE DE FRICCIÓN				
			PROPORCIÓN DE LANA (%)				
			15	50	80	85	100
Acero	135°	20	0.20	0.28	0.20	0.24	0.34
		50	0.28	0.28	0.28	0.26	0.42
		100	0.30	0.26	0.32	0.30	0.42
	180°	20	0.20	0.30	0.34	0.48	0.50
		50	0.32	0.32	0.46	0.44	0.56
		100	0.36	0.36	0.46	0.52	0.54
	90°	20	0.26	0.34	0.40	0.40	0.64
		50	0.44	0.46	0.40	0.52	0.68
		100	0.42	0.54	0.46	0.58	0.74
Cerámica	135°	20	0.24	0.18	0.32	0.22	0.44
		50	0.26	0.24	0.32	0.24	0.48
		100	0.26	0.26	0.34	0.26	0.50
	180°	20	0.30	0.38	0.36	0.36	0.50
		50	0.32	0.40	0.36	0.38	0.60
		100	0.36	0.40	0.44	0.40	0.52
	90°	20	0.42	0.50	0.48	0.66	0.74
		50	0.44	0.42	0.52	0.72	0.80
		100	0.46	0.40	0.56	0.52	0.80

A continuación comentamos el comportamiento de los hilos teniendo en cuenta el efecto de la composición, por ello se compara tanto la proporción de lana como de acrílico. Los hilos con una proporción de lana de 80 y 85% tienen como segundo componente la poliamida. Estudiamos solo su rozamiento sobre superficies metálicas a todas las velocidades y posiciones posibles. El comportamiento sobre superficies de cerámica suele ser algo más inestable, pero se

aprecia de todas formas las tendencias reflejadas en el acero.

Por los resultados analizados hasta ahora, con hilos de lana se considera como material de rozamiento más adecuado el acero rozando con el hilo según un ángulo de 135° y en ella se estudia el efecto del coeficiente que se denomina Retorsión/Torsión, muy importante en los géneros de punto, cuyos valores se muestran en la Tabla 4.

TABLA 4

		COEFICIENTE DE FRICCIÓN								
		COEFICIENTE RETORSION/TORSIÓN								
Angulo	Velocidad (m/min)	0.48	0.50	0.51	0.52	0.53	0.56	0.58	0.59	0.67
135°	20	0.19	0.22	0.10	0.15	0.18	0.18	0.20	0.24	0.22
	50	0.28	0.27	0.18	0.27	0.24	0.24	0.28	0.26	0.24
	100	0.32	0.28	0.28	0.29	0.30	0.32	0.30	0.30	0.28

Los resultados obtenidos nos muestran que según aumenta la velocidad, el coeficiente de Retorsión/Torsión tiene un comportamiento estable y no parece afectar al comportamiento friccional, pues se distribuye según una recta horizontal. Si consideramos velocidades bajas, próximas a las que se dan en las continuas de aro y cursor (20m/min) vemos que la mejor relación se da cuando la retorsión aplicada a los hilos es la mitad de la aplicada en la torsión. Este comportamiento es también efectivo para velocidades de 50m/min,

en torno a las cuales se mueve la fabricación del género de punto, en este caso para todo el grupo de hilos de lana estudiados el coeficiente de fricción oscila entre 0.15 y 0.28, valores muy propicios para la fabricación de todo tipo de jerseys.

Para complementar el estudio realizado hasta ahora, se ha estudiado también el comportamiento friccional de los hilos en función del número de fibras por sección, obteniéndose los resultados que se muestran en la tabla 5.

TABLA 5

		COEFICIENTE DE FRICCIÓN				
		NUMERO MEDIO DE FIBRAS POR SECCIÓN				
Material	Ángulo	19	22	52	95	148
Acero	135°	0.14	0.12	0.20	0.24	0.34
	180°	0.12	0.32	0.34	0.36	0.50
	90°	0.12	0.40	0.40	0.48	0.64
Cerámica	135°	0.18	0.24	0.32	0.30	0.44
	180°	0.26	0.36	0.36	0.36	0.50
	90°	0.26	0.34	0.48	0.60	0.74

Vemos claramente que a medida que aumenta el número de fibras de lana crece el coeficiente de fricción correspondiendo el valor más elevado al hilo compuesto por 100% lana y formado por una media de 148 fibras por sección. El ángulo de rozamiento con menor coeficiente de fricción es el de 135° y la velocidad la de 20m/min como ya se ha comentado. Estas conclusiones son igualmente

válidas para ejes de acero y de cerámica, si bien los valores del coeficiente de fricción son algo más elevados en el caso de usar ejes de cerámica.

En la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos en función de la finura de las fibras de lana que componen los hilos estudiados.

TABLA 6

Material	Ángulo	COEFICIENTE DE FRICCION						
		FINURA DE LA FIBRA DE LANA (dtex)						
		4.5	4.7	5	5.4	6.4	7.5	9.9
Acero	135°	0.20	0.24	0.26	0.22	0.16	0.24	0.22
	180°	0.34	0.32	0.36	0.28	0.24	0.36	0.38
	90°	0.40	0.42	0.50	0.36	0.22	0.48	0.44
Cerámica	135°	0.32	0.20	0.34	0.22	0.24	0.30	0.20
	180°	0.36	0.34	0.42	0.32	0.26	0.36	0.38
	90°	0.48	0.38	0.48	0.42	0.34	0.62	0.56

Observamos que la finura de las fibras que constituyen los diferentes hilos estudiados aquí no puede ser considerada como un factor que influya en el coeficiente de fricción, pues para finuras muy diferentes el coeficiente de fricción toma valores muy similares, tanto cuando el hilo roza sobre

superficies de acero como de cerámica. Esta afirmación es patente para todas las condiciones estudiadas pero especialmente en las de ángulo de rozamiento de 180°.

En la tabla 7 se muestran los valores del coeficiente de fricción hilo con hilo.

TABLA 7

Velocidad(m/min)	COEFICIENTE DE FRICCION									
	NUMERO MÉTRICO									
	7	8	9	20	22	24	25	34	36	42
20	0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.075	0.07	0.06	0.06	0.58

A partir de los datos obtenidos podemos decir que el rozamiento hilo con hilo se mantiene estable para números métricos comprendidos entre los valores Nm 7 y Nm 24. Para números superiores se percibe una reducción de dicho coeficiente independientemente de la proporción de lana del hilo.

5. CONCLUSIONES

5.1.El coeficiente de fricción aumenta al incrementarse la velocidad de deslizamiento del hilo.

5.2.El material de rozamiento más adecuado está en función del ángulo de rozamiento. Cuando el hilo roza con el eje formando un ángulo de 180°, el material más adecuado es la cerámica. Si el ángulo de rozamiento es de 135° el material que aporta menor coeficiente de fricción es el acero, siendo las distribuciones lineales para velocidades de 50 y 100 m/min.

5.3.El ángulo de rozamiento mas adecuado tanto si el deslizamiento tiene lugar sobre superficies de acero como de cerámica es la de 135° independientemente de la velocidad de rozamiento estudiada.

5.4.Se aprecia una tendencia muy marcada a la reducción del coeficiente de fricción con el aumento del numero métrico.

5.5.Independientemente de los parámetros de ensayo; velocidad, ángulo y material de rozamiento, el aumento de la proporción de lana repercute en un incremento del coeficiente de fricción. El más alto se obtiene para el hilo 100% lana.

5.6.El coeficiente Retorsión/Torsión a baja velocidad (20m/min) nos permite un cierto control de la fricción en los procesos de hilatura. El mejor comportamiento friccional se da cuando la retorsión aplicada es la mitad de la torsión (510 Z y 260 S, Coeficiente Retorsión/Torsión=0.51). Sin embargo, el comportamiento friccional de estos hilos no se puede controlar mediante el coeficiente Retorsión/Torsión cuando la velocidad es media o alta (50 y 100m/min).

5.7.En cuanto al número de fibras por sección, se observa que su aumento incide en un incremento del coeficiente de fricción. Sin embargo la finura de la fibra no es un factor que afecte al coeficiente de fricción del hilo de forma directa.

5.8.El coeficiente de fricción para hilos entrelazados se distribuye según una recta horizontal para números métricos comprendidos entre Nm 7 y Nm 24, para números superiores se

aprecia una tendencia a la reducción de coeficiente de fricción con el aumento del número.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean agradecer a la CICYT su ayuda económica para la realización del presente trabajo dentro del proyecto PETRI con referencia 95-0333-OP.

7. BIBLIOGRAFÍA

1. L.Mauri: "Una aportación a la teoría el ensimaje. Parte I". Revista de la Industria Textil, N° 341, (1996).
2. L.Mauri: "Una aportación a la teoría del ensimaje. Parte II". Revista de la Industria Textil, N° 346, (1997).
3. L.Mauri: "Una aportación a la teoría del ensimaje. Parte III". Revista de la Industria Textil, N° 347, (1997).
4. Howell, Mieszkis and Tabor: "Friction in Textiles", Butterworths, London (1959).
5. F.Monfort: "Aspects Scientifiques de l'industrie Lainière", Dundo, Paris, (1960).
6. I.Rius: "Tisaje, tintura y acabado de géneros de punto", Bosch, Barcelona, (1968).
7. A.S.T.M. for Textile Testing, (1986).
8. Rothschild. Manuales del aparato f-Meter.

Trabajo presentado en: 2000.01.17.

Aceptado en: 2000.10.26.