

# ESTRUCTURA DE LOS HILADOS Y CARACTERÍSTICAS DE LOS TEJIDOS DE ALGODÓN. PARTE 1: EFECTO DE LA ESTRUCTURA DE LOS HILADOS SOBRE EL PILLING DEL TEJIDO

M.H. Kasem\* y A. Riva\*\*

## 0. 1. Resumen

*El pilling es un defecto que aparece sobre la superficie del tejido, caracterizado por "bolitas" de fibra enredada que deterioran el aspecto de las prendas. Las bolitas se forman por la migración de las fibras de los hilos constituyentes del tejido; la reducción o prevención de pilling se deberá efectuar, por tanto, mediante la reducción de esta tendencia migratoria. En el presente trabajo se ha estudiado la evaluación del pilling de tejidos, utilizando el sistema de análisis de imagen propuesto por Xu. El análisis de imagen se ha aplicado a tejidos de diferentes pesos por unidad de superficie, fabricados con hilos de algodón obtenidos por tres sistemas diferentes de hilatura: hilatura de anillo, RS, hilatura open end, OE, e hilatura neumática de vórtice, VS. Los resultados obtenidos indican que los tejidos fabricados con hilos obtenidos por el sistema de vórtice presentan más resistencia a la formación de pilling.*

**Palabras clave:** pilling, tejido de algodón, análisis de imágenes, sistema de hilatura, estructura del hilo, hilados RS, hilados OE, hilados vórtice.

## 0.2. Summary: YARN STRUCTURE AND COTTON FABRIC CHARACTERISTICS. PART 1: EFFECT OF THE YARN STRUCTURE ON THE WOVEN FABRIC PILLING

*Pilling is a fabric surface fault characterized by "pills" of entangled fibre to the cloth surface giving the garment a slightly appearance. The pills are formed by the migration of fibres from the constituent yarns in the fabric; the reduction or prevention of pilling may be effected by reducing this migratory tendency. In this paper the fabric pilling evaluation has been*

*studied by using the image analysis system proposed by Xu. The image analysis has been applied to fabrics, of different weight per unit area, made with cotton yarns obtained by three different spinning systems: ring spun, open end and vortex system. The results indicate that the fabrics made with vortex cotton yarns have more resistance to the pilling formation.*

**Key words:** pilling, cotton fabric, image analysis, spinning system, yarn structure, RS yarn, OE yarn, Vortex yarn.

## 0.3. Résumé: ESTRUCTURE DES FILAGES ET CARACTÉRISTIQUES DES TISSUS DE COTON. PARTIE 1: EFFET DE LA STRUCTURE DES FILAGES SUR LE PILLING DU TISSU

*Le pilling est un défaut qui apparaît sur la surface du tissu caractérisé par des "boules" de fibre emmêlée dans la surface du tissu en détériorant légèrement l'aspect des vêtements. Les petites boules sont formées par la migration des fibres constituants des fils dans le tissu; la réduction ou prévention de pilling pourra s'effectuer moyennant la réduction de cette tendance migratoire. Dans le présent travail on a étudié le pilling de tissus, analysé avec le système d'analyse d'images proposée par Xu. L'analyse d'image a été appliquée aux tissus, de différents poids par unité de surface, faites avec des fils de coton obtenues par trois systèmes différents de filature : filature d'anneau RS, filature du rotor OE, et système de tourbillon (vortex), VS. Les résultats indiquent que les tissus fabriqués avec des fils de coton du système de tourbillon ont plus de résistance à la formation de pilling.*

**Mots clé:** pilling, tissu de coton, analyse d'image, système de filature, structure des fils, filages RS, filages OE, filages vortex

\* Dr. Ing. Mohamed Hussein Kasem. Investigador del "Engineering Textile Department" del "National Research Centre" de El Cairo (Egipto). Estancia postdoctoral en el INTEXTER (U.P.C.)

\*\* Dra. Ing. Ascensión Riva Juan, Profesora Titular de Universidad, del Departamento de Ingeniería Textil y Papelera. Jefa del Laboratorio de Físico-Química de la Tintura y Acabados del INTEXTER (U.P.C.)

## 1. INTRODUCCIÓN

El pilling es un efecto causado por el uso y desgaste que deteriora considerablemente el aspecto original de un tejido. Se empieza con la migración de las fibras hacia el exterior del

hilo, de modo que surge pelusa sobre la superficie del tejido. Debido a la fricción, esta pelusa se enreda y las bolitas que se generan se mantienen suspendidas con las fibras largas<sup>1-5</sup>. Las bolitas se desarrollan sobre la superficie de tela en cuatro etapas: formación de pelusa, enredo, crecimiento y caída (Cooke, 1985)<sup>6</sup>. Por otra parte el pilling se define como el enredo de las fibras durante el lavado, limpieza en seco, ensayos, uso, etc., que forman bolas que permanecen en la superficie del tejido. Las bolas son de tal densidad que la luz no pasa a través de ellas, por lo que se proyecta una sombra.

El efecto del tipo de hilo, su estructura, parámetros de los hilados y diferentes ensayos de pilling se han estudiado extensamente. Uno de los primeros estudios señaló que los tejidos de hilados de carda generaban más bolitas que los tejidos de hilados de estambre<sup>3</sup>. Paek<sup>9</sup> estudió el pilling de tejidos de algodón/poliéster hechos con hilados de anillo RS y con hilados de OE-rotor. Los resultados indicaron que el tipo de hilatura afecta a la formación del pilling. Alston<sup>1</sup> constató que los tejidos de hilados mezcla de Pes/Cot obtenidos por rotor tienen una mayor tendencia al pilling que los tejidos de hilados neumáticos. Sharma y col.<sup>13</sup> informaron de que tejidos de punto hechos con hilos de anillo RS de acrílica/viscosa tienen una mayor tendencia al pilling que tejidos similares de hilados de rotor OE. Candan y col.<sup>5</sup> indicaron que tejidos de punto de algodón hechos con hilados de anillo RS tienden a formar más pilling que los hechos con hilados de rotor OE. Sharma y col.<sup>13</sup> observaron que la incidencia de las bolitas en los tejidos de hilados mezcla Pes/Lana aumenta al aumentar el contenido de poliéster, la finura de los hilos, y al decrecer el factor de torsión. Anteriormente Richards<sup>11</sup> había señalado tendencias similares para tejidos de punto. No obstante, Anon<sup>3</sup> informó de que un aumento de la torsión de los hilados reduce la tendencia al pilling, pero no tiene efecto después de un cierto grado. Kasem y Tornero<sup>8</sup> indicaron que la tendencia al pilling de tejidos de punto de algodón hechos con hilados vórtice era más pequeña que la de tejidos similares hechos con hilados de anillo. Goktep<sup>7</sup> estudió el efecto del tipo de aparato en la evaluación del pilling mostrando que diferentes aparatos pueden dar resultados diferentes para el mismo tejido; en general, las pruebas realizadas en el aparato Martindale dieron resultados de pilling inferiores que los obtenidos con los sistemas ICI pilling box y pilling drum.

El pilling comúnmente se determina en los laboratorios mediante el uso de aparatos específicos para generar bolitas. Con estos aparatos, habitualmente, se facilitan unos standards consistentes en fotografías de muestras con distinto grado de pilling. El experto da un grado de pilling observando la muestra procesada por la máquina. Sin embargo, un inconveniente de estos métodos subjetivos, basados en estimaciones de los expertos, es su falta de consistencia y de exactitud en la calificación del grado de pilling.

Se pueden lograr importantes mejoras en la exactitud mediante la utilización del análisis de imagen, que ha sido ampliamente utilizado para caracterizar la textura de los materiales y, en particular, del material textil<sup>14,15,16,17</sup>.

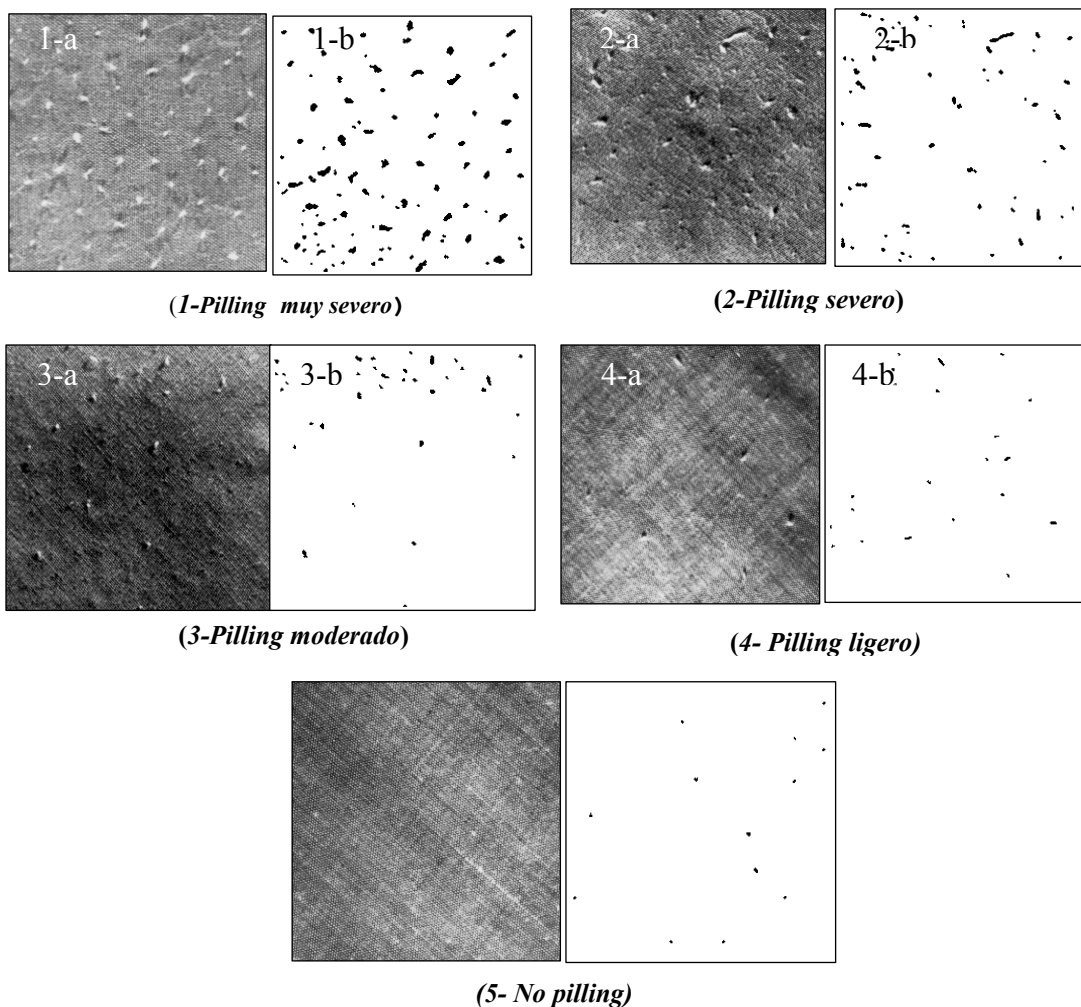
Xu<sup>15,16</sup> introdujo el concepto de un modelo para la evaluación del pilling a partir del análisis de imagen de las fotografías de la norma ASTM (figura 1), y obtuvo buenos resultados para tejidos de colores sólidos.

A partir de la revisión bibliográfica efectuada hemos constatado que la evaluación del pilling mediante análisis de imagen, de tejidos fabricados con hilados vórtice, no ha sido estudiada.

El primer objetivo del presente trabajo fue la obtención de ecuaciones empíricas, partiendo del modelo de Xu, para evaluar las características del pilling (tamaño, contraste, densidad y número de bolitas) en relación con el grado de pilling establecido subjetivamente de acuerdo con los standards.

El segundo objetivo del trabajo fue el estudio comparativo de las citadas características del pilling de tejidos de algodón 100% fabricados con hilados de diferentes estructuras, obtenidos por tres diferentes sistemas de hilatura: hilatura neumática de vórtice (VS), hilatura open end de rotor (OE), e hilatura convencional de anillo (RS).

Se ha abordado especialmente la influencia del peso por unidad de superficie del tejido en el comportamiento de pilling. El peso por unidad de superficie de los tejidos está relacionado directamente con el título de los hilos utilizados, ya que ha sido el título de los hilos la única variable en la fabricación de los tejidos.



**FIGURA 1:** Imágenes fotográficas para la evaluación del pilling: (a) imagen original (b) imagen filtrada

## 2. PARTE EXPERIMENTAL

### 2.1. Materia

La materia utilizada ha sido algodón 100% peinado, suministrado por una empresa de hilatura, con el que se han fabricado los diferentes tipos de hilados.

#### 2.1.1. Producción de las muestras de hilado

Se han utilizado tres sistemas de hilatura para producir los hilados anteriormente citados: hilatura de anillo, RS, hilatura Open End rotor, OE, e hilatura por el sistema de vórtice, VS. Los hilados RS se han obtenido en la empresa Hilaturas Llaudet, mediante una máquina industrial Marzoli. Los hilados OE-rotor han sido producidos en una máquina de pruebas de INTEXTER equipada con un box industrial SE-11 de Schlafhorst; esta máquina de pruebas está

equipada con un motor individual para cada uno de los órganos funcionales lo que permite, mediante un panel de control, ajustar de manera fácil y precisa la velocidad de cada uno de dichos órganos funcionales. Gracias a este equipo ha sido posible la elaboración de hilados tan finos como el de 14 Tex manteniendo estables las condiciones de hilatura. El coeficiente de torsión métrica ( $\alpha_m$ ) utilizado ha sido de 125 para los tres hilos elaborados mediante este sistema de hilatura. Los principales parámetros de hilatura se detallan en la tabla 1.

Los hilados de vórtice, VS (Vortex System), han sido elaborados en una máquina de pruebas de hilatura neumática. La tobera de hilatura utilizada ha sido una tobera Vortex desarrollada en INTEXTER, similar a la MVS pero con algunas modificaciones. El tren de estiraje utilizado ha sido un 4/IV. Los títulos de los hilados obtenidos, igual que para los otros sistemas de hilatura, han sido 14, 20 y 25 Tex. En la tabla 2 se muestran las condiciones de hilatura de los hilados Vortex.

**TABLA 1**  
 Parámetros de hilatura OE-rotor

	Título (Tex)		
	14	20	25
Tipo de rotor	T, 256 D	T, 256 D	T, 256 D
Cilindro disgregador	B 174	B 174	B 174
Boquilla	KN 4	KN 4	KN 4
Velocidad del rotor [1/min]	38924	35514	35975
Velocidad de alimentación [m/min]	0,1678	0,2534	0,3818
Velocidad de producción [m/min]	37	40	45
Torsión	1061	890	794

**TABLA 2**  
 Parámetros de hilatura Vortex

		Título del hilado (Tex)		
		14	20	25
Draft system		4/IV	4/IV	4/IV
Velocidad de producción		200 m/min	300 m/min	300 m/min
Ecartamientos	Superior	37, 35.5,	37, 35.5,	37, 35.5,
	Inferior	48 43, 39, 46.5	48 43, 39, 46.5	48 43, 39, 46.5
Condensadores [mm]	A	12 x3	12 x3	12 x3
	B	blanco	blanco	blanco
	C	12.5 x4 rojo 3 rojo	12.5 x4 rojo 3 rojo	12.5 x4 rojo 3 rojo
Estiraje total [-]		214,3	150	120
Estiraje principal [-]		64	50,13	40,10
Tensión de hilatura [-]		0,98	0,98	0,98
Tipo de tobera		Vortex Intexter	Vortex Intexter	Vortex Intexter
Presión de aire [bar]		9	9	9

### 2.1.2. Producción de las muestras de tejido

Se han fabricado nueve muestras diferentes de tejidos: tres muestras para cada tipo de hilados de los indicados anteriormente (a = tejidos ligeros, b = medios b, c = tejidos gruesos). Se mantuvieron constantes las densidades de urdimbre y trama.

Para cada tipo de hilados la especificación de los tejidos se es la indicada a continuación:

$$a) \frac{40/cmU \times 25/cmP}{14texU \times 14texP} \times 150cm$$

$$b) \frac{40/cmU \times 25/cmP}{20texU \times 20texP} \times 150cm$$

$$c) \frac{40/cmU \times 25/cmP}{25texU \times 25texP} \times 150cm$$

### 2.1.3. Acabado de las muestras de tejido

Las muestras de tejido fueron descoladas y descruadas previamente a la evaluación del pilling.

## 2.2. Aparatos

Para determinar el grado de pilling se utilizó el equipo Martindale modelo TO7B. Las muestras del tejido se montan en la placa base de sujeción y la abrasión se realiza sin carga adicional. El pilling se evalúa mediante la comparación de los tejidos sometidos a ensayo con las fotos de la norma, bajo condiciones de iluminación estándar.

## 3. ECUACIONES EMPÍRICAS PARA LA EVALUACIÓN DEL PILLING

Como parámetros representativos del pilling se utilizaron: densidad y número de bolitas, su área (tamaño) y el contraste.

**Densidad (D):** La densidad de las bolitas es la primera impresión que un observador obtendrá cuando examine el pilling de una muestra. La densidad se calcula a menudo por el número de bolitas en una unidad de área. Esta definición es correcta sólo si las bolitas están distribuidas al azar o de manera uniforme sobre la zona seleccionada para contarlas<sup>16</sup>.

En el sistema de análisis de imagen propuesto por Xu<sup>16)</sup>, utilizando los standards fotográficos, en primer lugar se generan una serie de puntos al azar dentro de una imagen binaria umbral. En cada uno de estos puntos se busca la bolita más cercana al punto, y se calcula la distancia  $r_i$  entre esta bolita y el punto; luego se busca la siguiente bolita más cercana a este punto, y se

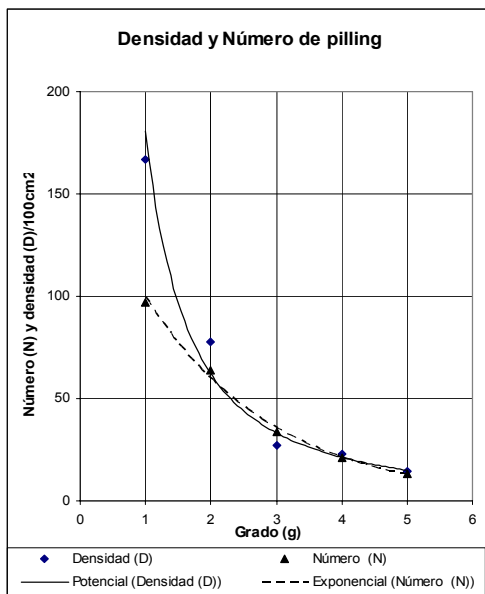
calcula la distancia entre las dos bolitas  $x_i$ . Después de hacer esto en "n" puntos aleatorios, se estima la densidad de población "D" mediante la siguiente ecuación<sup>15,16</sup>.

$$D = \frac{\sqrt{2n}}{\sqrt{\sum (r_i^2) \sum (x_i^2)}} \quad (1)$$

Esta estimación es insensible a la aglutinación de las bolitas, mientras que la densidad estimada por el número de bolitas en una unidad de área es sensible a la misma.

Según los resultados propuestos por Xu, hemos obtenido la relación entre el grado (g) de pilling y la densidad (D); esta relación se determinó mediante una regresión no lineal, siendo la ecuación potencial la que dio una correlación más elevada ( $r=0,986$ ), (ecuación 2, figura 2).

$$D = 180,47 \cdot g^{-1,54} \quad (2)$$



**FIGURA 2:** Densidad y Número de bolitas en función del grado de pilling

**Número:** El número de bolitas (N) es un factor importante que influye en el aspecto del pilling. Se obtiene contando las bolitas en la plantilla, tras la filtración por ordenador, de una superficie dada de las fotos indicadas anteriormente. De los análisis de los resultados de Xu, hemos deducido el número de bolitas en función del grado de pilling (ecuación 3, figura 2); la correlación entre el número de las bolitas y el grado de pilling es muy elevada ( $r= 0, 99$ ).

$$N = 150,34 e^{-0,52} \quad (3)$$

En la figura podemos ver que, lógicamente, un aumento de pilling (disminución del número indicativo del grado), conlleva un aumento del número de bolitas y de la densidad; se observa, no obstante, que la variación del número y la densidad de las bolitas no es constante al variar el grado de pilling: así es mucho mayor al variar el grado de pilling de 2 a 1, que al variar de 5 a 4.

**Área (tamaño):** El promedio de tamaño de las bolitas es otro factor importante que influye en el aspecto de pilling. El ordenador puede localizar cada bolita, contar los píxeles en la bolita, y calcular los siguientes datos estadísticos: área media, desviación estándar, máxima, mínima, y porcentaje del área, es decir la proporción de la superficie total de las bolitas respecto al área de la imagen<sup>15</sup>. Según el análisis propuesto por Xu hemos obtenido la media del área de las bolitas (A), el total de área (At), y el porcentaje del área (%A) en relación con el grado de pilling, resultando las ecuaciones exponenciales negativas 4, 5 y 6, con correlaciones elevadas ( $r= 0,97, 0,99$  y  $0,99$ , respectivamente).

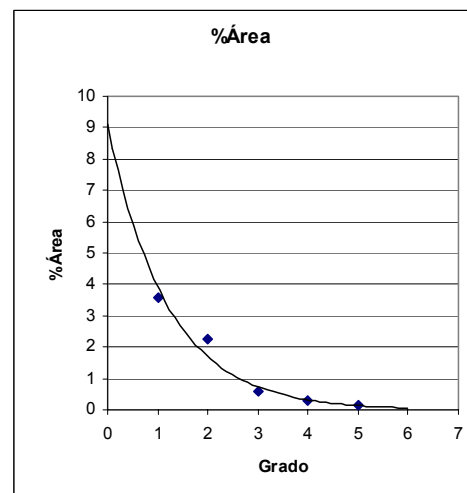
$$A_{(mm^2)} = 5,825 \cdot e^{-0,32g} \quad (4)$$

La superficie total aproximada (At) se puede obtener multiplicando las ecuaciones 3 y 4.

$$\therefore A_{t(mm^2)} = 928,3 \cdot e^{-0,84g} \quad (5)$$

El porcentaje del área (%A) se obtiene a partir de la proporción de la superficie total de las bolitas respecto de la superficie total de la imagen ( $10^4 \text{ mm}^2$ ).

La figura 3 ilustra la relación del %A con el grado de pilling.



**FIGURA 3:** Porcentaje del área en función del grado de pilling

**Contraste:** El contraste entre una bolita y su alrededor refleja la altura de la bolita; el contraste entre las dos regiones se mide por la diferencia de intensidades: el ordenador puede medir la intensidad de estas dos regiones en la escala de gris y a continuación calcular el contraste para cada bolita<sup>15</sup>. No se ha podido deducir ninguna relación entre el contraste obtenido por Xu y el grado de pilling.

#### 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

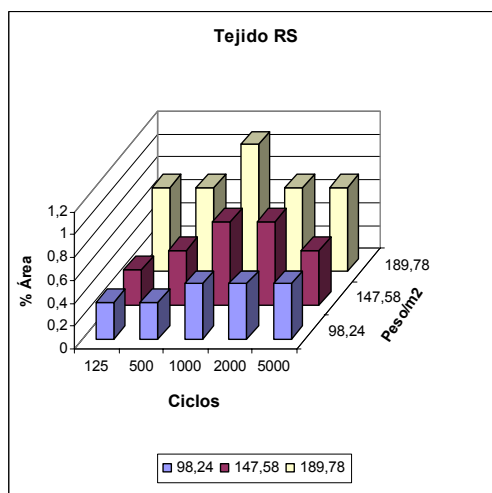
Las ecuaciones obtenidas se aplicaron para determinar las características de pilling de los tejidos analizados experimentalmente.

##### 4.1. Comparación entre del tipo de hilado

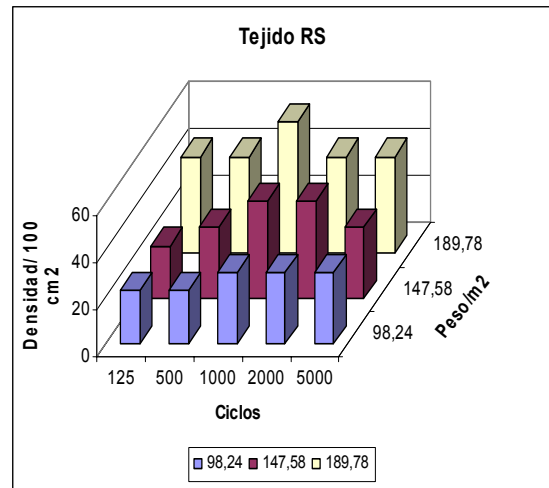
Las siguientes figuras muestran el efecto del peso del tejido (dependiente del título del hilo) y de los ciclos de abrasión en las características del pilling de los tejidos realizados con los distintos tipos de hilados.

##### 4.1.1. Tejidos elaborados con hilados convencionales (RSF)

El peso de los tejidos hechos con hilos convencionales de anillos presenta una relación directa con el pilling de los tejidos (Figura 4 y 5): al aumentar el peso del tejido aumenta el pilling y todas las características (superficie, superficie total, porcentaje de área, número, densidad). En los tejidos ligeros las características del pilling aumentan con el aumento del número de ciclos de abrasión hasta mil ciclos, después de los cuales permanecen constantes. En las telas medias y gruesas, el pilling del tejido aumenta con el número de ciclos hasta dos mil, disminuyendo después con el aumento de los ciclos de abrasión.



**FIGURA 4:** Efecto del peso y ciclos de abrasión sobre el %A del pilling de tejidos RSF

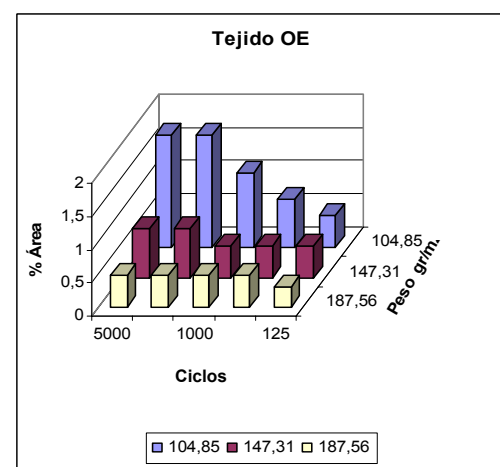


**FIGURA 5:** Efecto del peso y ciclos de abrasión en la densidad del pilling de tejidos RSF

##### 4.1.2. Tejidos elaborados con hilados Open End (OEF)

En las figuras 6 y 7 podemos ver que con el aumento de los ciclos de abrasión va aumentando el porcentaje del área y la densidad del pilling.

Las figuras muestran que la relación entre las características del pilling y el peso del tejido es inversa, es decir al aumentar el peso disminuye el área y la densidad de las bolitas. Este comportamiento era esperado debido a que la vellosidad de los hilados finos de OE es superior a la vellosidad de los hilos más gruesas, por lo tanto, las telas finas tienen más pelusa superficial (fuzziness) que las telas medianas y gruesas.



**FIGURA 6:** Efecto del peso y ciclos de abrasión sobre el % Á del pilling de tejidos OEF

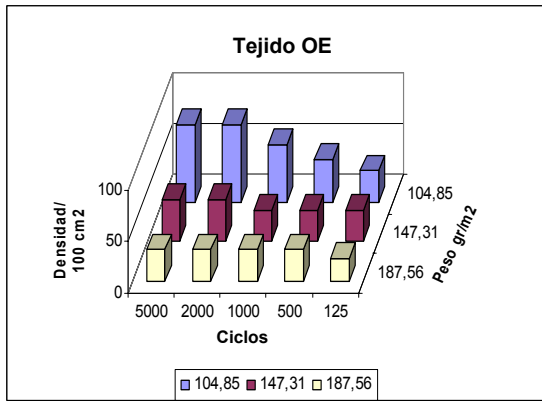


FIGURA 7: Efecto del peso y ciclos de abrasión en la densidad del pilling de tejidos OEF

#### 4.1.3. Tejidos elaborados con hilados Vortex (VSF)

En las figuras 8 y 9 podemos ver que, para 5000 ciclos de abrasión no hay ningún efecto del peso del tejido sobre el % del área y la densidad de las bolitas. Con el aumento de los ciclos, se aprecia aumento del % de área y de la densidad de las bolitas si bien este aumento se produce para distinto número de ciclos de abrasión según se trate de tejidos de diferente peso.

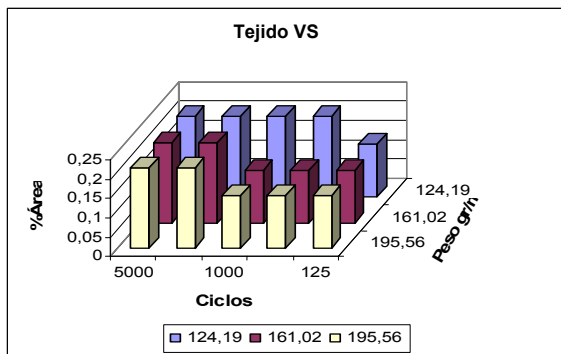


FIGURA 8: Efecto del peso y ciclos de abrasión sobre el % Á del pilling de tejidos (VSF)

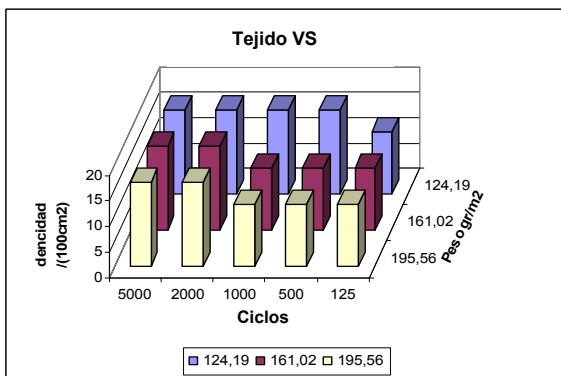


FIGURA 9: Efecto del peso y ciclos de abrasión en la densidad del pilling de tejidos VSF

#### 4.2. Comparación entre los tipos de tejidos

La configuración del pilling para los diferentes tipos de tejidos se ilustra en las figuras 10 a 13

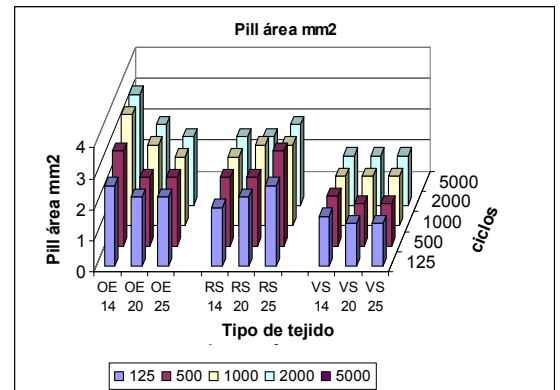


FIGURA 10: Área media del pilling (A) de los diferentes tejidos

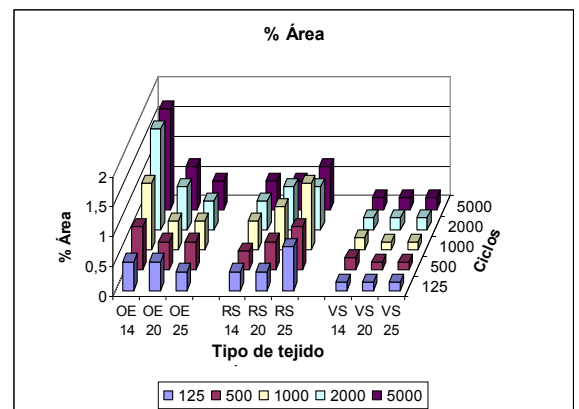


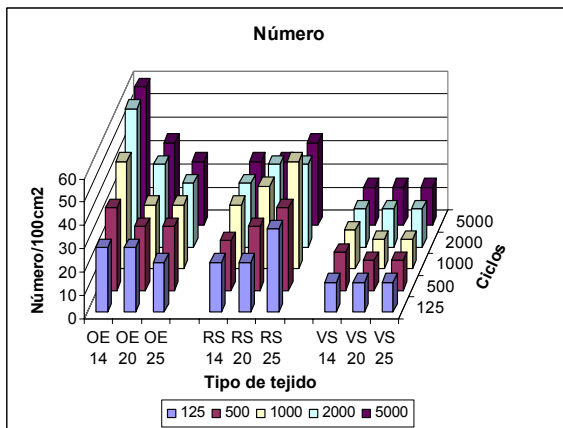
FIGURA 11: Porcentaje del área del pilling (%A) de los diferentes tejidos

A partir de las figuras 10 y 11 se puede ver que, para los tejidos fabricados con hilados OE, el área de las bolitas y la superficie total del pilling aumentan al disminuir el título del hilo que forma los tejidos; en el caso de los tejidos fabricados con hilados RS no existe una tendencia tan clara pero, para el máximo número de ciclos, estos parámetros parecen aumentar con el título del hilo; en los tejidos fabricados con hilados VS no parece tener influencia el título del hilado. Las figuras 10 y 11 nos permiten apreciar también que el área promedio de las bolitas y el porcentaje total del área del pilling de los tejidos OE son, en general, mayores que los correspondientes a los tejidos RS y éstos mayores que los de los tejidos VS. Este comportamiento se observa sea cual sea el número de ciclos de abrasión si bien, para algunos títulos de hilo, los

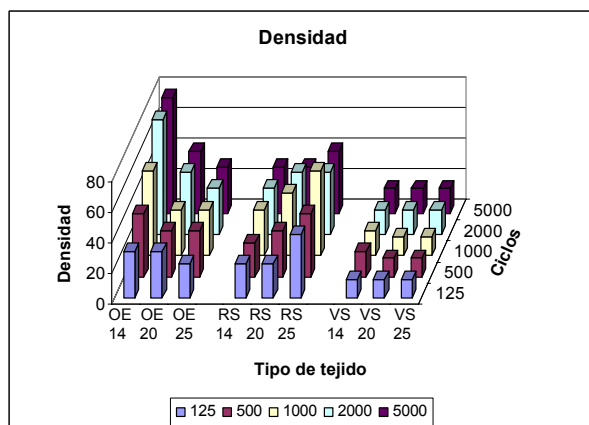


resultados experimentales han presentado algún valor no concordante con la tendencia general.

La evolución del número y la densidad de las bolitas se muestran en las figuras 12 y 13.



**FIGURA 12:** Número de bolitas (N) de los diferentes tejidos



**FIGURA 13:** Densidad del pilling (D) de los diferentes tejidos

Se observa que para el número y densidad de bolitas el comportamiento es paralelo a lo señalado para el tamaño. En los hilados de anillo RS, el aumento del número y densidad de las bolitas con el título puede atribuirse a la vellosidad de los hilados que se incrementa con el aumento del título. En cambio en los hilados de rotor OE la tendencia es la contraria, es decir, disminuyen con el aumento del grosor del hilo. En el caso de los hilados Vortex VS no se observan cambios significativos al cambiar el título del hilo lo cual puede relacionarse con la poca variación de la vellosidad de estos hilados.

## 5. CONCLUSIONES

**5.1.** Se ha formulado la relación entre el grado de pilling, asignado por evaluación visual, y las diferentes características del pilling (número, densidad y área de las bolitas) según el análisis de imagen propuesto por Xu15.

**5.2.** En los tejidos fabricados con hilados obtenidos por el sistema de anillos (RSF) el número y densidad del pilling aumenta con el aumento del título de los hilados, mientras que en los tejidos fabricados con hilados de rotor (OEF) estos parámetros disminuyen con el aumento del título de los hilados. La generación de pilling en los tejidos fabricados con hilados vortex (VSF) es muy escasa y no presenta variación significativa con el cambio del título de los hilados.

El tamaño y la superficie total de las bolitas de los tejidos VSF son también menores que los correspondientes a los tejidos RSF y OEF.

**5.3.** En los tejidos RSF y OEF el pilling aumenta sensiblemente con el aumento del número de ciclos de abrasión mientras que este aumento es bastante menor en el caso de los tejidos VSF.

**5.4.** Como conclusión general podemos decir que los tejidos fabricados con hilados de algodón obtenidos por el sistema vortex presentan más resistencia a la formación de pilling que los tejidos de características similares fabricados con hilados de algodón de los mismos títulos, obtenidos por hilatura open end rotor o por hilatura convencional de anillos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo ha sido posible gracias al apoyo financiero del Laboratorio de Físico-Química de Tintura y Acabados y del Laboratorio de Sistemas, ambos pertenecientes al Instituto de Investigación Textil de Terrassa (INTEXTER-UPC). Agradecemos especialmente la cooperación de la empresa Hilaturas Llaudet S.A (España) por el suministro de los peinados de algodón, y de las Sras. R. Prieto y P. Ferrer por su participación en el trabajo experimental.



## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alston, P. V., Pilling of Sweatshirts That Are a 50/50 Blend of Polyester and Cotton, *Textile Res. J.* 64(2), 592-596 (1994).
2. Andrew, L., Contribution Concerning the Detection of Defects on small-Patterned textiles, *Melliand Texiber.* 72,981-984 (1991).
3. Anon., *Wool Sci. Rev.* 43, 26-32 (1972).
4. Baird, M. E., Hatfield, P., and Morris, G. J., Pilling of Fabrics, A Study of Nylon and Nylon Blended Fabrics, *J. Textile Inst.* 47, T181-201 (1956).
5. Candan, C., Nergis, U. B., and Iridag, Y., Performance of Open-end and Ring Spun Yarns in Weft Knitted Fabrics, *Textile Res. J.* 70(2), 177-181 (2000).
6. Cooke, W. D., Pilling Attrition and Fatigue, *Textile Res. J.* 55, 409-414 (1985). "Textile Terms and Definitions," 9th ed., The Textile Institute, Manchester, England, (1993).
7. Goktep, Ozer., Fabric Pilling Performance and Sensitivity of Several Pilling testers, *Textile research journal*, Jul (2002).
8. Kasem, M.H, and Tornero, J.A., Comparative Study Between the Vortex, Open End , and Ring spun cotton yarns. *Textile Egypt conference* April (2006).
9. Paek, S. L., Pilling, Abrasion and Tensile Properties of Fabrics from Open-End and Ring Spun Yams, *Textile Res. J.* 59(10), 577-583 (1989).
10. Ramgulam, R. B., The Objective Assessment of Fabric pilling, Part 1: Methodology, *J. textile inst.* 84 (2), 221-223 (1993).
11. Richards, N., Pilling of Plain- and Rib-knit Wool Fabric, *Textile Inst.*, 53(8), T357-369 (1962).
12. Sharma, I. C., Mukhopadhyay, D., and Agarwal, B. R., Feasibility of Single-Jersey Fabric From Open-End-Spun Blended Yam, *Textile Res. J.* 56(4), 249-253 (1986).
13. Sharma, I. C., Chatterjee, K. N., Mukhopadhyay, A., and Kumar, A. V., A Critical Appraisal of Pilling on Polyester Worsted Fabric, *Ind. J. Fiber Textile Res.* 21, 122 (1996).
14. Xin, Binje, Objective Evaluation of Fabric Pilling Using Image Analysis Techniques, *Textile Res. J.* 72 (12), 1057-1064, (2002).
15. Xu. B. Instrumental Evaluation of Fabric Pilling, *J. textile inst.* 88, 488-500 (1997).
16. Xu B., Assessing Carpet Appearance Retention by Image analyses, *Textile Research Journal*, 64, 697-709, (1994).
17. Zhang, Y. F., and Bresee, R. R., Fabric Defect Defecation and Classification Using Image Analysis, *Textile Res. J.* 65 (1), 1-9 (1995).