

ENERGÍA DE CONTRACCIÓN ANTE LAS VARIABLES DE TERMOFIJADO EN EL POLIÉSTER. Δ)

F. Bernal*, A. Naik** y J. Gacén***

0.1 Resumen.

Un tejido de calada de poliéster fue termofijado bajo distintas condiciones de temperatura, tiempo y tensiones en un rame industrial. La influencia de estas variables fue evaluada analizando los hilos extraídos del tejido. Las características principales estudiadas son: fuerza de contracción, encogimiento y energía de contracción. Se compara con otros tejidos descrudados y termofijados, basándose en las características mencionadas.

0.2 Summary. *CONTRACTION ENERGY AS A FUNCTION OF POLYESTER HEAT SETTING VARIABLES.*

A polyester woven fabric under different conditions of temperature, time and tension was heat set on an industrial stenter. Influence of these variables was evaluated by studying yarns extracted from the fabrics. Main characteristics analysed are crimping force, shrinkage and contraction energy. Scoured and heat set fabrics are compared taking into consideration these characteristics.

0.3 Résumé. *ENERGIE DE CONTRACTION DEVANT LES VARIABLES DE THERMOFIXAGE POUR LE POLYESTER.*

Un tissu à foule de polyester a été thermofixé sous différentes conditions de température, de temps et de tension, sur une rame industrielle. L'influence de ces variables fut évaluée au moyen de l'analyse des fils qui ont été étudiés sont: la force de retraction, le retocissement et l'énergie de retraction. D'autres tissus qui avaient été préalablement décreusés et thermofixés, sont comparés en se basant sur les dites caractéristiques.

Δ) Trabajo ya publicado en "Melliand Textilberichte", 1989, nº 9, p. 640 a 643.

(*) Dr. en Ciencias Químicas Fernando Bernal Sánchez. Laboratorio de Polímeros Textiles.

(**) Dr. Ing. Arun Naik Kardile. Profesor Titular de Universidad, de "Hilatura", en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa. Jefe de los Laboratorios de "Parametría Textil Física y Control de Calidad" y de "Microscopia Textil", de este Instituto.

(***) Dr. Ing. Joaquín Gacén Guillén, Catedrático de "Polímeros Textiles" de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Terrassa. Sub-Director de este Instituto y Jefe de su Laboratorio de "Polímeros Textiles".

1. INTRODUCCIÓN.

El encogimiento de las fibras es un fenómeno inverso al de la orientación y el estirado ¹⁾. El origen de este fenómeno es complejo. Se atribuye a desorientaciones de las zonas amorfas y cristalinas; a recristalizaciones con mayor número de plegamientos de cadena por unidad estructural repetida ²⁾, y a la liberación de tensiones internas ^{3,4)}. Este último aspecto se relaciona con la heterogeneidad que presenta la estructura de las fibras.

El estudio del encogimiento térmico de las fibras se puede realizar directamente mediante un Analizador Termomecánico, o cualquier equipo que mida las variaciones dimensionales de la probeta sometida a calentamiento ^{5, 6)} o bien, indirectamente, registrando la fuerza que debe ejercerse sobre la probeta a fin de impedir completamente su encogimiento (Fuerza de Contracción). En este último caso, existen dos modalidades, según que el hilo a ensayar se encuentre en condiciones dinámicas ⁷⁾ o estáticas ⁸⁾.

El registro de las Fuerzas de Contracción térmica en condiciones estáticas, en función de la temperatura, se efectuó mediante un dinamómetro Instron. El análisis de dicho registro informa sobre la historia térmica de una fibra de poliéster, poliamida o acrílica.

En el caso de fibras de poliéster ha sido de utilidad a efectos de distinguir entre sustratos texturados en diferentes condiciones. La fuerza de contracción disminuye tanto cuando aumenta la temperatura del segundo horno, como cuando aumenta la sobrealimentación, mientras que si aumenta el nivel de torsión, también lo hace la fuerza de contracción ⁸⁾.

La comparación de las curvas de fuerza de contracción en función de la temperatura de dos sustratos, o bien la comparación de la fuerza correspondiente a una temperatura determinada o de la temperatura a la que se presenta el máximo de tales diagramas, permite detectar irregularidades en la tensión o en la temperatura propias de un tratamiento térmico previo ⁹⁾.

El principal objetivo del termofijado textil de las fibras de poliéster es su estabilización dimensional. Esta tiene su origen en los cambios estructurales que se producen en la fibra, tales como el aumento de la cristalinidad y el descenso de la orientación. Por lo tanto, el análisis de los diagramas fuerza de contracción/temperatura puede proporcionar información estructural suficiente para detectar cambios en la cristalinidad y/u orientación de la fibra, ya que mientras la primera estabiliza la fibra frente al calor, la segunda produce el efecto contrario.

Correlacionando la fuerza de contracción a una temperatura determinada y su encogimiento, se obtiene una curva, que con el eje de abscisas delimita una

superficie cuya área corresponde a la energía de contracción de la fibra en el intervalo de temperaturas considerado. Las condiciones de texturación tienen influencia sobre este parámetro. Así, el hilo texturado a mayor temperatura absorberá más energía al deformarse, y los filamentos con mayores niveles de falsa torsión se deformarán más y por lo tanto la fibra absorberá más energía. Así pues, estos resultados previos sugieren que la energía de contracción puede ser también sensible a las variables de termofijado que influyen en la estabilidad dimensional de la fibra de poliéster.

2. PARTE EXPERIMENTAL

2.1 Materia Prima

Como materia prima se ha empleado un tejido preparado con hilos multifilamento de poliéster, en el que el título de la urdimbre era de 9,5 y el de la trama 17,1 tex. La densidad del tejido era de 45,6 hilos/cm por urdimbre, y de 28,0 pasadas/cm por trama. La masa laminar era de 94,2 g/m²

2.2 Tratamientos

2.2.1 Descrudado

El artículo anteriormente descrito se sometió a un descrudado a 40 °C durante 30 minutos en un baño que contenía 2 g/l de Sandopán BE (Sandoz) y 2 g/l de fosfato trisódico.

Siguió al descrudado un secado a 100° C, resultando un encogimiento global del 3,6 %.

2.2.2 Termofijado

El termofijado se realizó horizontalmente sobre tejido plano en un rame industrial de dos campos (Fontanet, S. A.), con una sobrealimentación del 0 % por urdimbre. Las condiciones de temperatura, tiempo y sobrealimentación por trama fueron las reseñadas en la Tabla 1.

2.3 Equipo experimental

Para determinar las Fuerzas de Contracción se ha utilizado un dinamómetro Instron 1126 al que se ha acoplado una cámara criotérmica modelo 3111, también de la firma Instron. La velocidad media de calentamiento ha sido del orden de 9 grados/minuto. La temperatura en la cámara se midió en las proximidades de la

probeta mediante una sonda de platino conectada a un termómetro digital.

La probeta que se ha estudiado consistía en una madeja compuesta por 10 vueltas (20 cabos) de hilo.

Para la determinación de los encogimientos en función de la temperatura se ha empleado un analizador termomecánico de la firma Perkin-Elmer. La técnica experimental ha sido ya descrita en una publicación anterior (6).

TABLA 1
CONDICIONES DE TERMOFIJADO
Temperatura (T), tiempo (t) y sobrealimentación (s).

Ref.	T(°C)	t(s)	s(%)
1	180	45	1,4
2			3,6
3			5,8
4			7,2
5	200	30	1,4
6			3,6
7			5,8
8			7,2
9	200	45	1,4
10			3,6
11			5,8
12			7,2

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

3.1 Fuerzas de Contracción

Las Figuras 1, 2, 3 y 4 muestran las curvas de Fuerza de Contracción/Temperatura para los sustratos crudo, descrudado y termofijados en condiciones distintas (Tabla 1). Las fibras termoplásticas conservan tensiones internas adquiridas durante su proceso de fabricación. Los tratamientos térmicos liberan parte de estas tensiones. Por efecto del calor se produce una movilización diferencial en el sentido de que sólo los segmentos de cadena cuya energía cohesiva sea igual o inferior a un cierto valor, adquieren movilidad suficiente a una temperatura determinada. Dicha movilidad permite reorganizaciones estructurales (desorientaciones de las zonas amorfas orientadas, y replegamientos de cadena y recristalizaciones de las cristalinas). A nivel macroscópico, ello se manifiesta en el encogimiento de la fibra.

Dicho encogimiento puede tener lugar tanto durante el termofijado, como en ensayos térmicos cuyo objeto sea precisamente el detectarlo, registrarlo, para, posteriormente, ser estudiado. Tal como se ha indicado anteriormente, si este encogimiento se impide completamente, entonces lo que se registra es la fuerza de contracción. La cual se espera que varíe con los tratamientos térmicos o termomecánicos aplicados, así como con la intensidad de los mismos, del mismo modo que sucede cuando se mide o evalúa el encogimiento experimentado por el sustrato.

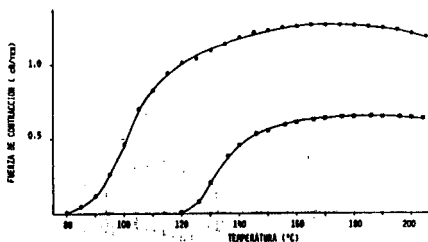


FIG. 1.- FUERZA DE CONTRACCION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA DEL ENSAYO. TEJIDOS CRUDO (\blacktriangle) Y DESCRUDADO (\blacksquare); HILO DE TRAMA.

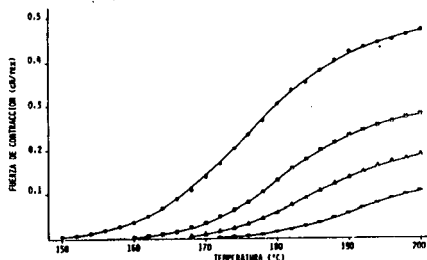


FIG. 2.- FUERZA DE CONTRACCION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA. TEJIDOS TERMOFIJADOS. N° 1 (\blacktriangle), 2 (\blacksquare), 3 (\blacktriangle) Y 4 (\circ), HILO DE TRAMA.

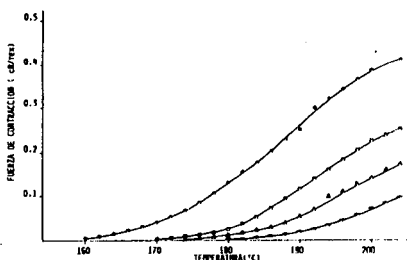


FIG. 3.- FUERZA DE CONTRACCION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA. TEJIDOS TERMOFIJADOS N° 5 (\blacktriangle), 6 (\blacksquare), 7 (\blacktriangle) Y 8 (\circ), HILO DE TRAMA.

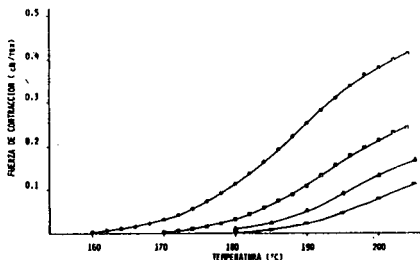


FIG. 4.- FUERZA DE CONTRACCION EN FUNCION DE LA TEMPERATURA. TEJIDOS TERMOFIJADOS N° 9 (\blacktriangle), 10 (\blacksquare), 11 (\blacktriangle) Y 12 (\circ), HILO DE TRAMA.

3.11 Influencia del descrudado - secado

A cualquier temperatura, la fuerza de contracción del sustrato crudo es superior a la del descrudado. La separación entre ambas curvas es notable (figura 1). El sustrato crudo empieza a ejercer fuerza de contracción a menor temperatura. Estas tendencias se atribuyen a diferencias estructurales entre ambos sustratos, que corresponden, en el caso del sustrato descrudado, a una estructura más fijada o estabilizada. Ello concuerda con el criterio ya explicado de la movilización diferencial. Según el cual a consecuencia del tratamiento de descrudado-secado a 100 °C (y sobre todo debido al secado) se habrán liberado parte de las tensiones internas acumuladas durante la fabricación del artículo.

La temperatura de inicio de la contracción se ha trazado a partir del punto intersección del tramo ascendente del diagrama, aproximadamente recto, con el eje de temperaturas. Esta temperatura mide la temperatura efectiva del tratamiento conjunto a efectos de estabilidad dimensional, ya que, a temperaturas inferiores, la probeta no ejerce fuerza de contracción alguna.

3.12 Influencia del termofijado

El sustrato trama nº 1, termofijado a 180 °C aplicando tan sólo el 1.4 % de sobrealimentación por trama, presenta en todo caso una temperatura de inicio de la contracción mayor que la del descrudado. Además, a una temperatura determinada, la fuerza de contracción de este sustrato termofijado es también inferior. Por ejemplo, el valor a 200 °C es igual a 0,5 cN/tex, valor ya alcanzado por el sustrato no termofijado a tan sólo 144 °C. Ello indica que el termofijado, por sí mismo, y aun en condiciones no completamente favorables, estabiliza mucho la estructura de las fibras de poliéster.

3.13 Influencia de la temperatura y el tiempo de termofijado

Partiendo de las figuras 2, 3 y 4, se pueden agrupar las curvas de fuerza de contracción correspondientes a sustratos termofijados aplicando la misma sobrealimentación. Así, es fácilmente visualizable la influencia de la temperatura y/o tiempo de termofijado. La Figura 5 se refiere a la sobrealimentación del 1.4 %. De éllo se deduce que, en las condiciones propias de nuestro estudio, la duración del termofijado no ha influido sobre la curva de fuerzas de contracción.

La no-influencia de la variable tiempo en el caso que se está estudiando, está en concordancia con los resultados proporcionados por otras técnicas aplicadas sobre los mismos sustratos ^{6,10}. Una posible interpretación se basaría en que a la temperatura de termofijado de 200 °C las variaciones estructurales habrían alcanzado ya un equilibrio para un tiempo de 30 s.

Sin embargo, sí se observa una excelente sensibilidad cuando se considera la influencia de la variable temperatura de termofijado. Cuando ésta es mayor, los sustratos resultantes ejercen menor fuerza de contracción (mayor estabilidad dimensional).

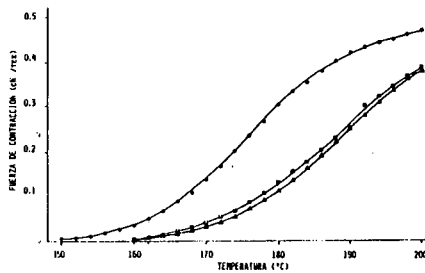


FIG.5.- FUERZA DE CONTRACCION EN FUNCION DE LA TEMPERATUA. TEJIDOS TERMOFIJADOS N°1 (○), 5 (□) Y 9 (▲), HILO DE TRAMA.

El mencionado criterio de la movilización diferencial justifica las tendencias encontradas al estudiar la variable temperatura. Cuanto mayor es la temperatura de termofijado, más tensiones se liberan durante esta operación, y por lo tanto, menor debe ser la fuerza de contracción ejercida durante el análisis. Además, cuanto mayor es la temperatura sabemos que mayor es el grado de cristalinidad, aumento que se produce a expensas de las regiones de menor orden (zonas amorfas anisotrópicas), ya que la cristalización se produce con participación de estas regiones ¹¹⁾. Estas zonas orientadas son responsables importantes del encogimiento, y por lo tanto, si se reduce su fracción, será superior la estabilidad dimensional.

3.14 Influencia de la sobrealimentación (Tensión)

Las Figuras 2, 3 y 4 contienen las curvas correspondientes a los sustratos termofijados a la misma temperatura y tiempo, pero a sobrealimentaciones distintas. Se aprecia una tendencia uniforme y manifiesta, que asocia la menor sobrealimentación aplicada a la mayor fuerza de contracción, y viceversa. A las sobrealimentaciones intermedias corresponden fuerzas de contracción también intermedias. Durante el termofijado, el artículo encoge por efecto del calor, hasta que se absorbe toda la sobrealimentación aplicada y, a partir de ese instante, el termofijado tiene lugar bajo tensión. El principal efecto de este fenómeno es prevenir la desorientación de las zonas amorfas orientadas y dificultar los repliegamientos de cadena en los cristalitos. Por consiguiente, a mayor sobrealimentación, menor tensión y, por lo tanto: a) mayor amplitud en las reorganizaciones estructurales, y b) mayor estabilización y liberación de tensiones, resultando valores inferiores de fuerza de contracción durante el ensayo. Este mecanismo describe muy bien los resultados experimentales.

Como consecuencia inmediata de lo discutido anteriormente, puede ser de gran utilidad la determinación de la curva de fuerza de contracción/temperatura, a efectos de atribuir el origen de un defecto a variaciones inesperadas de la variable tensión (sobrealimentación). Sin embargo es necesario asegurarse de que los sustratos objeto de comparación fueron termofijados a la misma temperatura. Ello requiere determinar la temperatura efectiva del termofijado mediante la calorimetría diferencial ¹².

3.2 Energía de contracción

En un trabajo anterior ⁶ se obtuvo la variación del encogimiento con la temperatura del ensayo mediante el Análisis Termomecánico. Combinando estos resultados con los propios de esta investigación, y eliminando en ambas series experimentales el parámetro común temperatura, se obtiene un gráfico como el de la Figura 6, que tiene la particularidad que el área de la superficie delimitada por la curva Fuerza de Contracción/Encogimiento y el eje de encogimientos constituye el trabajo de contracción térmica. Entonces es posible calcular numéricamente el valor de la Energía de Contracción. Estos resultados se resumen en la Tabla 2.

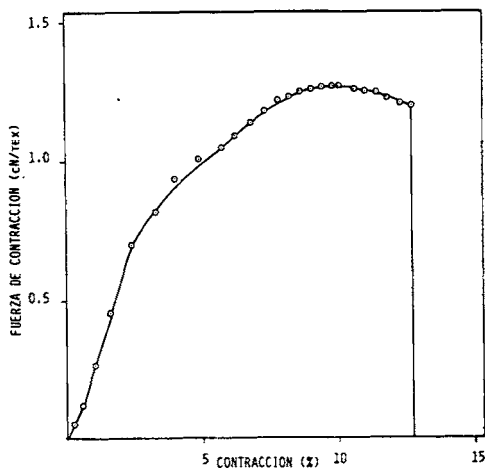


FIG. 6.- TRABAJO DE CONTRACCION TERMICA. TEJIDO CRUDO. HILO DE TRAMA.

Este parámetro constituye una medida muy indicativa de la estabilidad dimensional de la fibra al calor seco. Además, la caracteriza globalmente en un amplio intervalo de temperaturas.

La operación de descrudado-secado conduce a fibras cuya energía de contracción resulta ser muy inferior a la propia del sustrato crudo. Tal disminución puede cifrarse en un 73 %, e indica un notable incremento de la estabilidad dimensional, tanto por el incremento de la cristalinidad, como por la mayor estabilidad dimensional, consecuencia de la desorientación de la estructura.

Por su parte, la operación de termofijado supone una reducción de al menos el 57 % en el valor del parámetro considerado. Ello confirma la estabilización estructural del sustrato por el termofijado. Por su parte, el incremento de 20 °C en la temperatura del termofijado reduce del orden del 42 % el valor de la energía de contracción. El origen de estas tendencias se sitúa en la mayor estabilidad dimensional del sustrato termofijado respecto al que no lo fue, o del tratado a mayor temperatura con respecto al que lo fue a menor temperatura. En uno y otro caso, el fenómeno se justificaría en base a la mayor cristalinidad y en la liberación de tensiones y de la desorientación de las zonas amorfas orientadas. No se ha apreciado ninguna influencia significativa del tiempo del termofijado.

Sin embargo, es muy destacable su sensibilidad a la variable tensión (sobrealimentación). Se observa una disminución muy uniforme al aumentar la sobrealimentación. El origen de esta tendencia debe estar, lógicamente, en la mayor estabilidad del sustrato mas sobrealimentado, consecuencia de no haber sido dificultadas las desorientaciones de sus entidades estructurales ni tampoco la liberación de tensiones.

La energía de contracción tiene la ventaja de ser sumamente sensible a la variable tensión, y de ser un parámetro que caracteriza globalmente la estructura en cuanto a su estabilidad dimensional. Tal como se desprende de la Tabla 2, la Energía de Contracción es mucho más sensible a la variable tensión (sobrealimentación) que la Fuerza de Contracción o el Encogimiento. En efecto, cuando la sobrealimentación por trama se incrementa el 1,4 al 7,2 %, la Energía de Contracción disminuye del orden del 90 %, mientras que la disminución de los otros dos parámetros es del orden del 80 y el 60 %, respectivamente. Sin embargo, determinar este parámetro es muy laborioso, ya que requiere el concurso de dos técnicas que proporcionan sendos registros gráficos de fuerza de contracción o encogimiento en función de la temperatura, y la eliminación, punto a punto de este parámetro común, para su posterior integración (gráfica o numérica).

TABLA 2

Valores de la fuerza de contracción, F, del encogimiento, S, y de la energía de contracción, Ec, de los sustratos originales (crudo y descrudado) y los termofijados.

Sustrato Trama	F(200°C) (cN/tex)	S(200%) (%)	Ec (cN/tex x 100)
Crudo	1,21	12,3	12,71
Descrudado	0,64	7,11	3,43
1	0,47	5,07	1,47
2	0,28	4,01	0,66
3	0,19	3,26	0,35
4	0,11	2,21	0,14
5	0,39	4,49	1,05
6	0,23	3,31	0,4
7	0,15	2,59	0,21
8	0,07	1,46	0,08
9	0,38	3,88	0,89
10	0,21	3,27	0,39
11	0,13	2,65	0,2
12	0,08	1,64	0,08

4. CONCLUSIONES

- 4.1 A cualquier temperatura, la fuerza de contracción del sustrato crudo es superior a la del descrudado. Además, este sustrato inicia su contracción a una temperatura superior. Estas diferencias en el comportamiento térmico significan que la estructura del sustrato descrudado está más estabilizada, como consecuencia de su mayor cristalinidad, de la liberación de tensiones y de las desorientaciones que han tenido lugar durante ese tratamiento.
- 4.2 El termofijado también supone una estabilización de la estructura por liberación de tensiones y por desorientaciones. El sustrato termofijado en las condiciones más desfavorables del plan experimental, inicia su contracción a una temperatura superior a la del sustrato descrudado.
- 4.3 La temperatura de termofijado cuando aumenta, hace disminuir la fuerza de contracción (mayor estabilidad: mayor cristalinidad, liberación de tensiones y desorientaciones).
- 4.4 El sustrato menos sobrealimentado (mayor tensión) es el que mayor fuerza de contracción presenta y a la vez inicia su contracción a la menor temperatura (menor estabilidad: menos liberación de tensiones y desorientaciones).
- 4.5. La tensión (sobrealimentación) reduce el efecto positivo de la temperatura de termofijado sobre la estabilidad dimensional. Por ejemplo: la estabilidad dimensional adquirida en un termofijado a 200 °C sobrealimentado el 3 % es inferior que el proporcionado a menor temperatura (180 °C), pero mayor sobrealimentación (5 %).
- 4.6. La técnica de fuerza de contracción se presenta como idónea a efectos de distinguir entre sustratos termofijados en las mismas condiciones de temperatura y tiempo, bajo tensiones diferentes pero próximas.
- 4.7. La energía de contracción calculada numéricamente a partir de los resultados de la fuerza de contracción y del encogimiento a distintas temperaturas, disminuye con el descrudado, con el termofijado, con la temperatura de esta operación y también con la sobrealimentación aplicada.

5. BIBLIOGRAFÍA

- 1) Prevorsek, D. Y Tobolsky, A. V.; Textile Res. J., 33, (1965), 795-802.
- 2) Dismore, P.F. y Statton, W. O.; J. Polym. Sci., Part C, 13, (1966), 133-48.

- 3) Valk, G., Berndt, H.J. y Heidemann, G.; *Chemiefasern*, 21, (1971), 386-98.
- 4) Heidemann, G. y Berndt, H. J.; *Chemiefasern Textilindustrie*, 24 (76), (1974), 46.
- 5) Ribnick, A.; *Textile Res. J.*, 39, (1969), 742-8.
- 6) Gacén, J., Bernal, F., Juárez, D.; "Sensitivity of de Thermomechanical Analysis to the Heatsetting Variables of Poliester", *Melliand Textilberichte 7/ 1987*, 497-50.
- 7) Denton, M. J.; *Textile Month*, (feb.-march 1973).
- 8) Naik, A. y Valencia, E.; *Melliand Textilberichte*, 11/1977, 869-76.
- 9) Roth-Walrof, H. A. y Valk, G.; *Textil Praxis Int.*, 31, (1976), 905-10.
- 10) Gacén, J., Maillo, J. y Bernal, F.; "Sensibilità dell'assorbimento di Iodio alle Variazioni del Processo de Termofissaggio della Poliester - Iª parte", *Tintoria N.2*, (febbraio 1988), 60-4.
- 11) Valk, G., Jellinek, G. y Schoröder, U.; *Textile Res. J.*, (jan 1980), 46-54.
- 12) Gacén, J., Canal, J. M., Naik, A. y Bernal, F.; *Bull. Scient. ITF*, Vol. 14, nº 53, 1er trimestre 1985, 35-50.
- 13) Bernal, F.; "Influencia e Interacción de las Variables de Termofijado en la Estructura Fina del Poli (etilentereftalato)", Tesis Doctoral, Publicacions de la Universitat de Barcelona (1987).

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores quieren expresar su agradecimiento a Doña Montserrat García y al Ingeniero Técnico Don Dionisio Juárez por su colaboración en el trabajo experimental. A la Seda de Barcelona, S. A. por la aportación desinteresada del tejido estudiado y su termofijación. Y a la Comisión Asesora de Investigación Científica y Técnica por la subvención concedida al proyecto de investigación "Influencia de las Variables del Proceso de Termofijado en la Estabilidad Dimensional y en otras Propiedades de los Artículos de Poliéster.

Trabajo recibido en 1990.02.10 - Aceptado en 1990.03.13,

JARDI, S.A.

Maquinaria y accesorios textiles
Nuestras representadas:

TEXTIMA

- Plantas completas para hilatura de algodón cardado, algodón peinado, lana cardada y lana peinada.
- Máquinas Ketten tipo Kolett
- Máquinas circulares para punto interior y exterior.
- Tricotosas rectilíneas Diamant.
- Máquinas Liropol para tejidos de rizo.
- Telar multifase de calada ondulante.
- Máquinas auxiliares para la tejeduría (anudadoras de urdimbre, remetedoras, etc.)
- Máquinas para acabados (rames, perchas, tundosas, blanqueo y tintura al ancho.

TEXMER

- Recambios y accesorios textiles.

HOWA

- Máquinas de hilatura para algodón y sus mezclas, y completa automatización de las mismas.

Dirección: Provença, 261-265, 3º
Teléfono: 215. 25. 49
Fax: 215. 81. 40
Telex: 51203 ARDI E
08008 BARCELONA
