

Exploración y explotación de las superficies de respuestas para determinar las condiciones óptimas de texturación por falsa torsión

Dr. Ing. A. Naik
Dr. Ing. E. Valencia

SUMMARY

Texturing Conditions such as temperature and number of turns determine the properties of textured yarns. Optimum values may be calculated relatively easily using regression functions and mini-computers. Higher temperatures in the first heating zone and a high number of turns will produce yarns with high shrinkage and high extension at break. Low shrinkage yarns result at medium turn values and low temperature in the first and high temperature in the second heating zone.

RESUMEN

Condiciones de texturación tales como la temperatura y número de vueltas, determinan las propiedades de los hilos texturados. Se pueden calcular valores óptimos con relativa facilidad empleando funciones de regresión y mini-computadoras. Temperaturas elevadas del primer horno y alta torsión producirán hilos con mayor potencial de encogimiento y mayor alargamiento a la rotura. Hilos con bajo potencial de encogimiento se consiguen empleando un nivel medio de torsión y temperatura baja del primer horno y alta del segundo horno.

RESUME

Les conditions de texturation tels que la température et le nombre de tours déterminent les propriétés des fils texturés. On peut calculer des valeurs optimales avec relative facilité en employant des fonctions de régression et miniordinateurs. Températures élevées du premier four et haute torsion produiront des fils avec un plus grand potentiel de rétrécissement et un plus grand allongement à la rupture. Des fils avec un bas potentiel de rétrécissement s'obtiennent en employant un niveau moyen de torsion et une basse température du premier four et une température élevée du second four.

INTRODUCCION

La aplicación de las técnicas de optimización basadas en los diseños experimentales y mini-computadores, permite con muy pocos ensayos, establecer condiciones óptimas para los procesos textiles. Los procedimientos clásicos de investigación experimentales se basan en el principio de determinar la influencia de un factor al permanecer todos los demás constantes, y permite contrastar la significación de los factores uno a uno. La experimentación factorial, introducida por Yates en 1937, permite investigar simultáneamente los efectos de los factores implícitos, estudiando los efectos individuales y del conjunto de los mismos. Los diseños experimentales (1), (2) se están utilizando desde hace veinte años en la industria química y su extensión a otra ramas va progresando rápidamente. Recientemente varios problemas textiles han sido resueltos mediante dichas técnicas (3) y esto principalmente se debe al extenso uso hoy día de los mini-computadores que hace posible los cálculos de una manera rápida y fiable.

Box y Wilson introdujeron los denominados diseños compuestos que permiten la estimación de coeficientes lineales, cuadráticos e interacciones lineales que proporcionan la determinación de condiciones óptimas de un proceso. Teóricamente, el comportamiento de cualquier sistema, es controlado por las leyes halladas, y es posible determinar las condiciones óptimas para la aplicación de ellas. En la práctica, sin embargo, los mecanismos secundarios del sistema son a menudo tan complicados que necesitan una aproximación experimental.

1. Fundamento del método para dos variables

El objeto de este método es buscar niveles de los factores que dan respuestas óptimas. El verdadero nivel de respuesta correspondiente a una combinación particular de nivel de factor viene dada por la relación funcional:

$$Y = (X_1, X_2 \dots\dots\dots X_k)$$

Para dos variables independientes, en este caso la temperatura del primer horno y el nivel de falta torsión introducida, se aplica un diseño central giratorio propuesto por Box-Hunter, basándose en N_2 puntos igualmente espaciados a lo largo de una circunferencia situada en el plano $X_1 X_2$ con centro (0,0). Una de las grandes ventajas de este tipo de diseños es que se precisa un número relativamente pequeño de experiencias en comparación con los que corresponderían al número de factores y niveles utilizados, admitiendo, sin embargo, el cálculo de la superficie de respuesta con una mayor precisión, aportada por la adición de nuevos niveles a los del factorial 2^k .

Para calcular los valores de X_1 y X_2 para el caso $K = 2$ consideramos las trece combinaciones experimentales y simplificadas al ser reducidas en forma canónica. Tabla 1. Estas son distribuidas en la siguiente forma:

- (i) Cuatro combinaciones correspondiente al factorial 2^2 para niveles (-1, -1); (1, -1); (-1,1) y (1,1).
- (ii) Cuatro combinaciones más, que son los puntos adicionales incluidos por Box-Hunter para obtener la rotabilidad del diseño central $(-2^{1/2}, 0)$; $(2^{1/2}, 0)$; $(0, -2^{1/2})$ y $(0, 2^{1/2})$.

(iii) Cinco réplicas en el centro con el fin de estimar el error experimental. Para establecer los niveles experimentales, es preciso proceder primero a la codificación de las dos variables resultantes en $-2^{1/2}$, -1 , 0 , $+2^{1/2}$.

Para sólo dos variables ($K = 2$) y considerando un modelo de segundo grado, la ecuación general tomará la siguiente forma ajustada:

$$Y_i = b_0 + \sum_{j=1}^2 b_j X_j + \sum_{j=1}^2 b_{jj} X_j^2 + b_{jh} X_j X_{hi}$$

Esta representa la expresión de una superficie cuadrática donde

$i = 1, 2, \dots, 13$

\hat{Y}_i = respuesta para las trece combinaciones de variables.

X_j, X_{hi} = niveles codificados de las variables j y h .

b_j y b_{jj} = coeficientes del factor de interacción de j .

TABLA I

Experiencia	X_1	X_2	X_1^2	X_2^2	$X_1 X_2$	Y
1	-1	-1	1	1	1	Y1
2	1	-1	1	1	-1	Y2
3	-1	1	1	1	-1	Y3
4	1	1	1	1	1	Y4
5	1.414	0	2	0	0	Y5
6	1.414	0	2	0	0	Y6
7	0	-1.414	0	2	0	Y7
8	0	1.414	0	2	0	Y8
9	0	0	0	0	0	Y9
10	0	0	0	0	0	Y10
11	0	0	0	0	0	Y11
12	0	0	0	0	0	Y12
13	0	0	0	0	0	Y13

2. Parte experimental

Se trata de establecer para un proceso de texturación por falsa torsión, para un hilo de poliéster de 76 dtex. 34 filamentos, condiciones óptimas en función de dos variables: X_1 la temperatura del primer horno y X_2 el nivel de falsa torsión introducidas. Las trece condiciones experimentales, fueron repetidas para las tres temperaturas del segundo horno: 165°C , 180°C y 195°C para estudiar la influencia de esta variable también.

	-1,414	-1	0	1	1,414
X_1 °C	206	210	220	230	234
X_2 vpm.	2,888	2,950	3,100	3,250	3,332

Las respuestas son obtenidas para los siguientes parámetros de los hilos estudiados:

- contracción por rizado, %
- resistencia a la rotura, CN
- alargamiento a la rotura, %

2.1. Contracción por rizado

Este parámetro es uno de los más característicos del hilo texturado. Hay varios métodos (4) que se emplean tanto en la industria como en los centros de investigación, pero para este estudio nos limitamos solamente a tres de ellos: H.A.T.R.A. Crimp rigidity test, (5), el Tube test, (6) y el método de retracción por aire caliente (7). La razón principal de elegir estos tres métodos de todos los existentes es de que el medio y la temperatura de relajación empleada en cada una de ellas es muy distinta. Se ha demostrado en un trabajo anterior, (8) que la temperatura del medio relajante tiene una influencia muy significativa sobre el valor de contracción por rizado del hilo ensayado.

En el método H.A.T.R.A., las madejas del hilo se relajan en agua a una temperatura de $20^{\circ}\text{C} \pm 1$ y son sometidas a dos cargas distintas: una suficientemente pesada para que elimine el rizado en el hilo y la otra pequeña que permite desarrollar el rizado en el hilo libremente en este medio.

En el método Tube test, se permite una determinada cantidad del hilo, relajarse en un espacio limitado en un tubo de vidrio. El grado de relajación del hilo, que en principio depende del equilibrio entre las fuerzas retráctiles del hilo y las restricciones impuestas por las paredes del tubo de vidrio, da una valoración del potencial de encogimiento del hilo. El hilo es relajado en agua hirviendo (100°C).

El método de retracción por aire caliente, desarrollado en el INTEXTAR con la colaboración de G.E.D.R.T., nos permite medir la contracción del hilo cuando está relajado en una estufa de aire caliente a 120°C . Unos pórticos especiales permiten ensayar 10 madejas a la vez.

Estos tres métodos son rápidos y sensibles en detectar la influencia de las variables de texturación sobre las propiedades de los hilos (9).

La resistencia a la rotura y el alargamiento a la rotura de los hilos fueron determinadas empleando el dinamómetro Instron. Las tablas II, III y IV resumen los valores experimentales obtenidos.

TABLA II
Temperatura del segundo horno mantenida constante, 165°C

Experiencia	H.A.T.R.A. %	Tube test %	Retracción por aire caliente	Resistencia a la rotura	Alargamiento a la rotura %
1	6,00	13,63	20,69	354,5	23,4
2	11,38	14,81	28,30	315,3	26,0
3	7,52	15,94	23,33	358,4	25,4
4	12,75	22,84	30,20	312,6	27,9
5	6,95	14,82	21,75	355,8	25,1
6	12,55	22,18	30,05	312,4	27,9
7	7,10	16,50	22,50	345,8	22,8
8	13,50	23,78	31,35	348,6	28,5
9	11,62	22,15	26,8	346,2	26,3
10	10,55	21,63	25,30	349,5	26,0
11	12,12	23,00	27,00	345,8	25,4
12	11,35	22,00	26,10	350,5	27,2
13	10,50	22,70	27,95	348,0	25,0

TABLA III
Temperatura del segundo horno, 180°C

Experiencia.	H. A. T. R. A. %	Tube test %	Retracción por aire caliente	Resistencia a la rotura.	Alargamiento a la rotura %
1	5,58	13,21	20,00	353,3	23,1
2	11,00	14,38	27,50	318,8	26,2
3	6,00	15,00	22,35	357,8	25,0
4	11,50	21,00	28,85	310,9	26,8
5	6,60	13,75	20,35	358,3	24,1
6	12,00	21,90	29,30	310,8	27,3
7	6,85	16,00	21,30	348,3	26,5
8	12,80	22,50	30,60	350,2	28,0
9	11,00	21,50	25,65	345,2	26,0
10	11,80	22,38	26,80	350,5	25,5
11	10,60	20,60	27,30	348,8	26,8
12	12,00	21,80	25,50	351,8	25,0
13	10,40	20,90	27,00	347,3	26,1

TABLA IV
Temperatura del tercer horno, 195°C

Experiencia	H. A. T. R. A. %	Tube test %	Retracción por aire caliente	Resistencia a la rotura.	Alargamiento a la rotura %
1	5,33	12,50	19,22	350,5	23,0
2	10,45	13,42	26,00	320,2	26,1
3	5,80	14,10	21,50	355,9	24,9
4	10,75	20,42	27,75	312,3	26,6
5	6,15	12,82	19,80	358,0	24,0
6	11,00	21,00	27,15	315,6	27,0
7	6,20	15,65	20,50	345,9	26,1
8	12,00	21,80	29,25	353,1	25,8
9	10,10	20,75	24,10	348,5	26,0
10	10,65	21,50	23,85	350,0	25,2
11	9,50	20,10	24,50	345,0	26,6
12	9,00	20,90	23,00	348,5	26,0
13	10,82	22,00	24,80	352,8	25,0

TABLA V
Temperatura constante del segundo horno, 165°C

Respuesta	Método	Ecuación de la superficie de respuesta	Análisis de varianza, significación	Punto estacionario máx. o mín.	Respuesta máx. o mín. estacionaria
Contracción del hilo	H.A. T.R.A.	$Y = 11,228 + 2,3164 X_1 + 1,49268 X_2$ $- 0,8921 X_1^2 - 0,6171 X_2^2 - 0,0037 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 10% D.A. = 10%	$X_1 = 1,27$ $X_2 = 1,17$	$Y_S = 13,57$
	Tube test	$Y = 22,296 + 2,311 X_1 + 2,57962 X_2$ $- 2,52676 X_1^2 - 1,7067 X_2^2 + 1,43 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 1% D.A. = 5%	$X_1 = 0,761$ $X_2 = 1,075$	$Y_S = 24,56$
	Retracción por aire caliente	$Y = 26,63 + 3,2775 X_1 + 2,1321 X_2$ $- 0,5606 X_1^2 - 0,0048 X_2^2 - 0,185 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = N.S. D.A. = N.S.	$X_1 = -1,07$ $X_2 = 24,22$	beyond experimental limit
Resistencia a la rotura	Dinamometría	$Y = 348 - 18,2987 X_1 + 0,64498 X_2$ $- 8,3125 X_1^2 - 1,7625 X_2^2 - 1,6500 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 1% D.A. = 5%	$X_1 = -1,17$ $X_2 = 0,73$	$Y_S = 358,97$
Alarg. a la rotura	Dinamometría	$Y = 25,98 + 1,0355 X_1 + 1,4904 X_2$ $+ 0,00437 X_1^2 - 0,2237 X_2^2 - 0,0017 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = N.S. D.A. = N.S.	$X_1 = -1,08$ $X_2 = 3,76$	$Y_S = 23,04$

TABLA VI
Temperatura constante del segundo horno, 180°C

Respuesta	Método	Ecuación de la superficie de respuesta	Análisis de varianza, significación	Punto estacionario máx. o mín.	Respuesta máx. o mín. estacionaria
Contracción del hilo	H.A. T.R.A.	$Y = 11,16 + 2,3198 X_1 + 1,1668 X_2$ $- 1,1906 X_1^2 - 0,9281 X_2^2 + 0,02 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 5% D.A. = 5%	$X_1 = 0,98$ $X_2 = 0,64$	$Y_S = 12,67$
	Tube test	$Y = 21,436 + 2,3371 X_1 + 2,2005 X_2$ $- 2,4655 X_1^2 - 1,753 X_2^2 + 1,2075 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 1% D.A. = 5%	$X_1 = 0,68$ $X_2 = 0,86$	$Y_S = 23,19$
	Retracción por aire caliente	$Y = 26,45 + 3,3324 X_1 + 2,1066 X_2$ $- 0,9906 X_1^2 - 0,4281 X_2^2 - 0,25 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = N.S. D.A. = 10%	$X_1 = 1,42$ $X_2 = 2,04$	$Y_S = 30,97$
Resistencia a la rotura	Dinamometría	$Y = 348,7 - 18,5734 X_1 - 0,0089 X_2$ $- 8,77 X_1^2 - 1,42 X_2^2 - 3,099 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 1% D.A. = 10%	$X_1 = -1,30$ $X_2 = 1,39$	$Y_S = 360,3$
Alarg. a la rotura	Dinamometría	$Y = 25,88 + 1,1882 X_1 + 0,5664 X_2$ $- 0,3769 X_1^2 + 0,3956 X_2^2 - 0,33 X_1 X_2$	1er. orden = 5% 2º orden = N.S. D.A. = N.S.	$X_1 = 1,59$ $X_2 = 4,93$	$Y_S = 26,81$

TABLA VII
Temperatura constante del segundo horno, 195°C

Respuesta	Método	Ecuación de la superficie de respuesta	Análisis de varianza, significación	Punto estacionario máx. o mín.	Respuesta máx. o mín. estacionaria
Contracción del hilo	H.A. T.R.A.	$Y = 10,014 + 2,1163 X_1 + 1,1216 X_2$ $- 0,9082 X_1^2 - 0,6457 X_2^2 - 0,0042 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 10% D.A. = 10%	$X_1 = 1,14$ $X_2 = 0,83$	$Y_S = 11,69$
	Tube test	$Y = 21,05 + 2,3512 X_1 + 2,1623 X_2$ $- 2,7469 X_1^2 - 1,8394 X_2^2 + 1,35 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 1% D.A. = 5%	$X_1 = 0,63$ $X_2 = 0,82$	$Y_S = 22,67$
	Retracción por aire caliente	$Y = 24,05 + 2,9283 X_1 + 2,0506 X_2$ $- 0,4269 X_1^2 + 0,2731 X_2^2 - 0,1325 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = N.S. D.A. = 5%	$X_1 = 3,86$ $X_2 = -2,82$	$Y_S = 26,82$
Resistencia a la rotura	Dinamometría	$Y = 348,96 - 16,7342 X_1 - 0,9602 X_2$ $- 8,186 X_1^2 - 1,8363 X_2^2 - 3,3250 X_1 X_2$	1er. orden = 1% 2º orden = 1% D.A. = 5%	$X_1 = -1,31$ $X_2 = 1,45$	$Y_S = 360,68$
Alarg. a la rotura	Dinamometría	$Y = 25,76 + 1,1154 X_1 + 0,2620 X_2$ $- 0,2787 X_1^2 - 0,00537 X_2^2 - 0,33 X_1 X_2$	1er. orden = 5% 2º orden = N.S. D.A. = N.S.	$X_1 = -0,68$ $X_2 = 4,53$	$Y_S = 25,97$

3. Análisis y discusión de los resultados

Los resultados experimentales fueron analizados por medio de una mini-computadora equipada con un plotter. Ecuaciones de las superficies de respuestas, análisis de varianza, punto estacionario y respuesta estacionaria para cada uno de los cinco parámetros, fueron calculados. Del plotter se obtuvieron las gráficas correspondientes a estas superficies. El nivel de las líneas del contorno, es indicado en las gráficas por los números.

La tabla V da ecuaciones de las superficies de respuestas correspondientes a la temperatura de 165°C del segundo horno, la tabla VI para 180°C y la tabla VII corresponde a 195°C. Las figs. 1 a 15 demuestran la tendencia de los distintos parámetros estudiados en función de la variable seleccionada.

3.1. H.A.T.R.A. Crimp rigidity test. Figs. 1, 2 y 3

Tal como se puede observar en la fig. 1, las líneas de contorno son de elipse, con el valor máximo dentro del campo experimental. Hay tendencias claras con respecto a la temperatura del primer horno; a las temperaturas más bajas estudiadas, un aumento en el nivel de falsa torsión, prácticamente no influye sobre el valor de contracción por rizado del hilo. Mientras para una temperatura elevada del primer horno, un aumento en la torsión aumenta el valor de contracción por rizado, pero sin conseguir el valor máximo. Si trabajamos a altos niveles de torsión, entonces aumentando la temperatura del primer horno, se puede conseguir un máximo potencial de contracción por rizado. La fig. 2 corresponde a los valores cuando la temperatura del segundo horno es de 180°C y la fig. 3 a temperatura de 195°C. Observamos una tendencia similar a la de la fig. 1, en estas últimas dos figuras.

Comparando estas tres curvas, podemos analizar la influencia de la temperatura del segundo horno. Observamos que a medida que aumenta esta temperatura, el valor de contracción por rizado del hilo disminuye. El análisis de la varianza de estos valores indica que las diferencias son estadísticamente muy significativas, lo cual significa que la temperatura de fijación ejerce una influencia significativa sobre este parámetro.

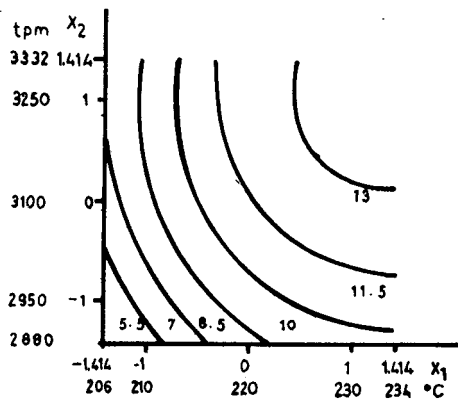


Fig. 1. Valores de contracción por rizado, %. H.A.T.R.A. (temperatura del segundo horno 165°C).

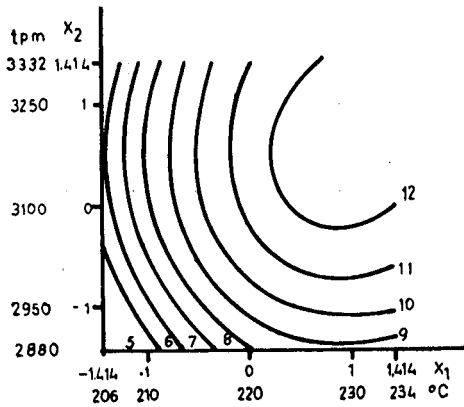


Fig. 2. Valores de contracción por rizado, %. H.A.T.R.A. (temperatura del segundo horno 180°C).

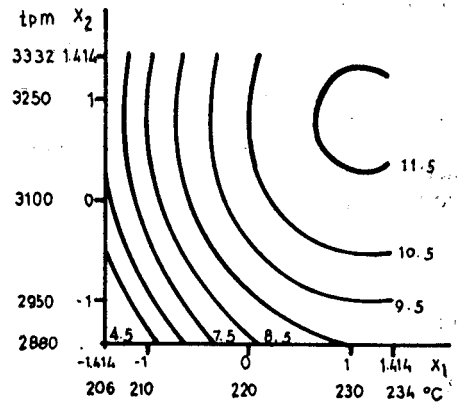


Fig. 3. Valores de contracción por rizado, %. H.A.T.R.A. (temperatura del segundo horno 195°C).

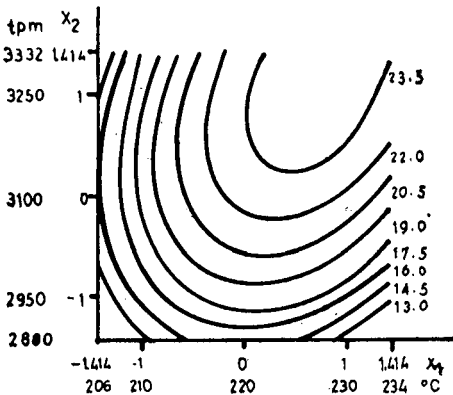


Fig. 4. Valores de retracción, %. Tube test (temperatura del segundo horno 165°C).

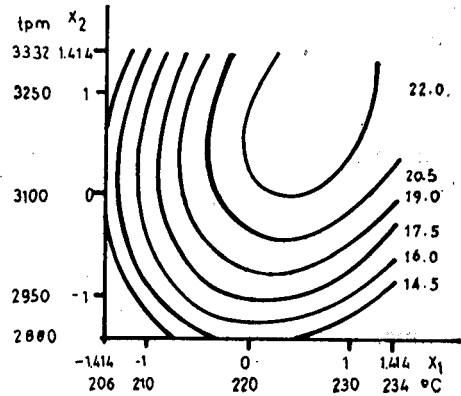


Fig. 5. Valores de retracción, %. Tube test (temperatura del segundo horno 180°C).

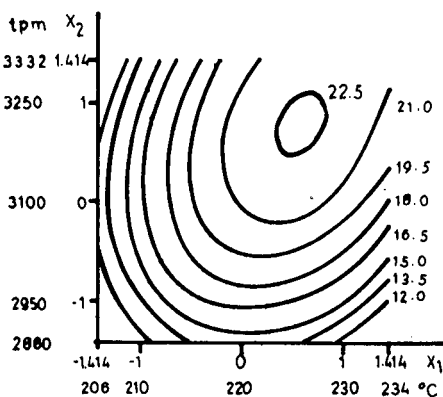


Fig. 6. Valores de retracción, %. Tube test (temperatura del segundo horno 195°C).

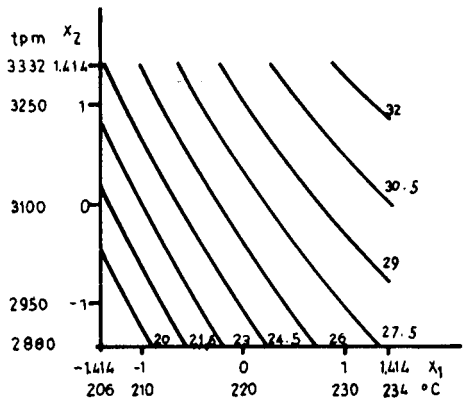


Fig. 7. Valores de retracción por aire caliente, %. (temperatura del segundo horno 165°C).

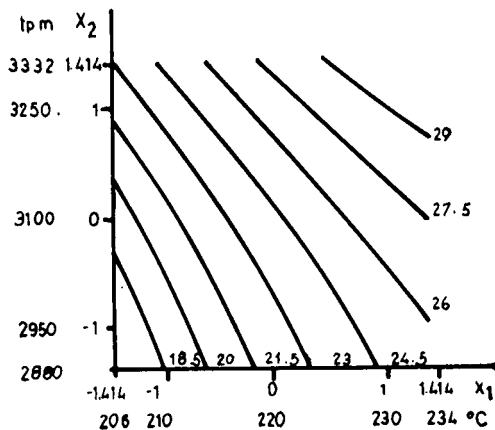
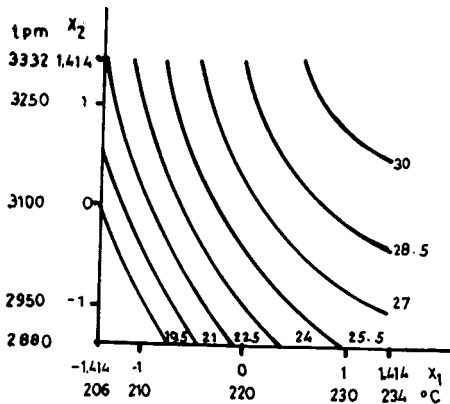


Fig. 8. Valores de retracción por aire caliente, % (temperatura del segundo horno 180°C).

Fig. 9. Valores de retracción por aire caliente, % (temperatura del segundo horno 195°C).

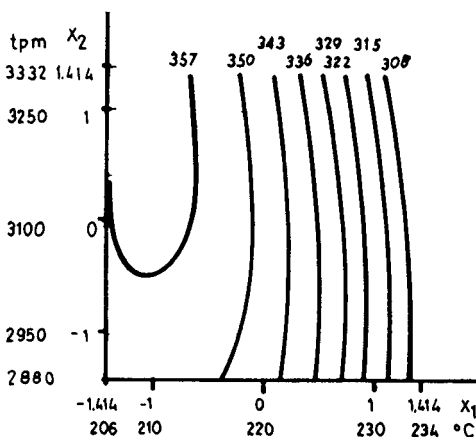
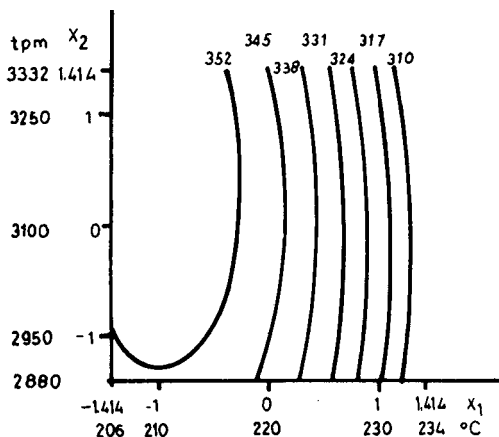


Fig. 10. Valores de resistencia a la rotura, cN. (temperatura del segundo horno 165°C).

Fig. 11. Valores de resistencia a la rotura, cN. (temperatura del segundo horno 180°C).

3.2. Tube test figs. 4, 5 y 6

En este caso también las líneas del contorno son de elipse. En la fig. 4 podemos apreciar claramente que trabajando a temperaturas inferiores del primer horno, para conseguir un ligero aumento en el valor de contracción por rizado, debe aumentar el nivel de torsión muy considerablemente, mientras que trabajando a altas temperaturas, con un aumento moderado en la torsión, podemos conseguir el valor máximo de contracción. Se observa una tendencia similar en las figs. 5 y 6. Aquí también se demuestra que la influencia de la temperatura del segundo horno es muy significativa.

3.3. Retracción por aire caliente figs. 7, 8 y 9

La fig. 7 demuestra que un aumento en la temperatura del primer horno resulta en un aumento de contracción. Este aumento es muy marcado para altos niveles de torsión. Una observación similar es válida también para las figs. 8 y 9.

A partir de este análisis de los resultados y gráficas podemos decir que los tres métodos de ensayo que hemos empleado en este estudio, reflejan la misma conclusión con respecto a las condiciones óptimas para conseguir valores máximos o mínimos de contracción por rizado.

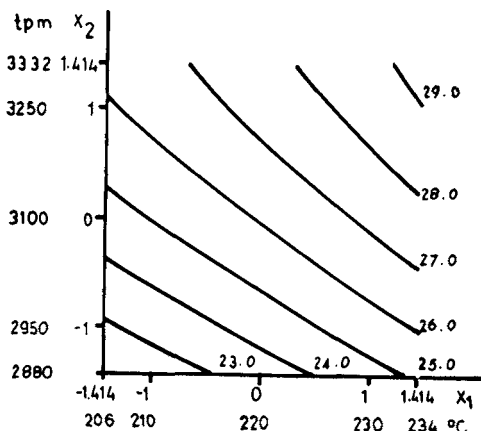
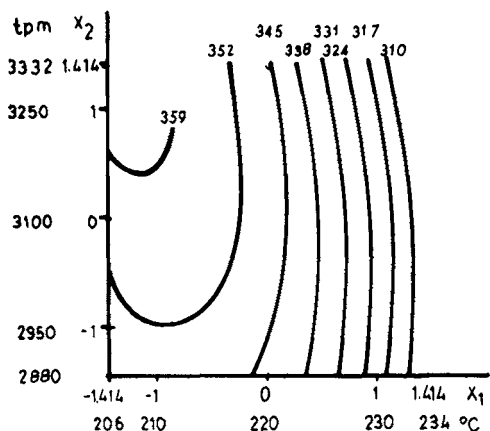


Fig. 12. Valores de resistencia a la rotura, cN. (temperatura del segundo horno 195°C).

Fig. 13. Valores de alargamiento a la rotura, %. (temperatura del segundo horno 165°C).

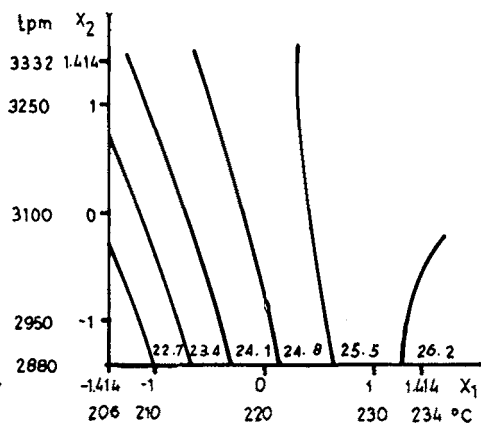
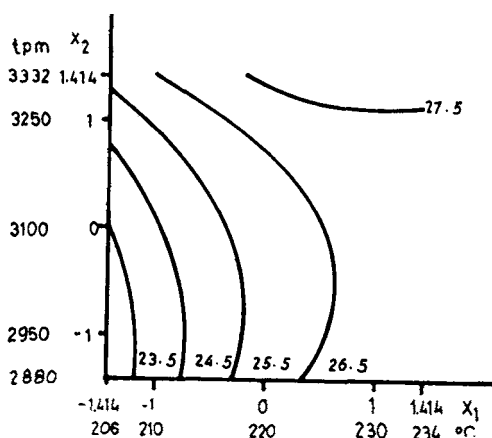


Fig. 14. Valores de alargamiento a la rotura, %. (temperatura del segundo horno 180°C).

Fig. 15. Valores de alargamiento a la rotura, %. (temperatura del segundo horno 195°C).

Al mismo tiempo, como una observación secundaria, podemos comentar que estos métodos son muy sensibles en detectar la influencia de las variables de texturación sobre el parámetro estudiado. A pesar de que estamos midiendo una misma característica del hilo, los valores obtenidos son muy diferentes. Esto es debido al hecho de que la temperatura del medio de relajación y las tensiones a que se someten las madejas son distintas en cada caso. Cuanto mayor es la temperatura del medio relajante, mayor es el valor de contracción por rizado.

3.4. Resistencia a la rotura, figs. 10, 11 y 12

En la fig. 10 podemos observar que tanto trabajando a temperaturas bajas o altas, un aumento en el nivel de torsión, prácticamente no influye sobre la resistencia del hilo. Sin embargo, aumentando la temperatura del primer horno, cualquiera que sea el nivel de torsión, la resistencia a la rotura del hilo disminuye. Esta observación es válida también para las figs. 11 y 12. La única variable que influye sobre la resistencia del hilo es la temperatura del primer horno. El análisis de varianza para estudiar la influencia del segundo horno, nos indica que las diferencias en la resistencia observada, estadísticamente no son significativas.

3.5. Alargamiento a la rotura, figs. 13, 14 y 15

En la fig. 13 observamos que tanto la temperatura del primer horno como el nivel de falsa torsión, influyen significativamente sobre el valor de alargamiento a la rotura del hilo. Mientras en la fig. 14 tenemos el punto de minimax. Trabajando indistintamente a temperaturas bajas o altas, un aumento en la torsión resulta un mayor alargamiento a la rotura. A niveles bajos de torsión, un aumento en la temperatura no influye grandemente sobre el valor de alargamiento a la rotura. Para niveles elevados de torsión, un aumento en la temperatura representa un aumento en el alargamiento.

La temperatura del segundo horno también ejerce una influencia significativa. Cuanto más elevada es esta temperatura, menor es el valor de alargamiento.

4. Conclusiones

A la vista de los resultados, queremos resaltar las siguientes conclusiones:

- Las diferencias observadas en el valor de los parámetros del hilo estudiado, son debidas a las distintas condiciones de texturación.
- La aplicación del diseño central giratorio nos permite establecer condiciones óptimas para procesar un hilo por el sistema de falsa torsión.
- Un aumento en la temperatura del primer horno y en el nivel de falsa torsión, resulta en un hilo con un alto potencial de contracción por rizado y mayor alargamiento a la rotura. Desde luego una temperatura elevada del primer horno perjudica la resistencia a la rotura del hilo, pero esta pérdida está dentro de los límites aceptables.
- Cuando se necesita un hilo con menor potencial de contracción por rizado, las condiciones óptimas del trabajo serán de un nivel medio de torsión con la temperatura del primer horno baja y la del segundo horno alta.

5. Bibliografía

1. Davies O. L. Design and analysis of Industrial experiments. Oliver & Boyd, London 1956.
2. Cochran and Cox. Experimental designs Wiley, New York 1957.
3. Barella, Vigo, Tura y Esperon. An application of mini-computers to the optimization of the open-end spinning process. Journal of the Textile Institute, 1976, n.º 7/8.
4. A treatise on textured yarns from Monsanto Textiles Division. 1965.
5. Hosiery Research Bulletin n.º3, June 1961.
6. Denton M. A new method of assessing the bulking potential of textured yarns. Shirley Institute Bulletin vol. XLIII, n.º 2, April 1969.
7. Hot Aire Retraction test. A method developed by G.E.D.R.T. Testing of textured yarns.
8. Naik and Pons. Ensayos de contracción del rizado de los hilos texturados. Boletín del Instituto de Investigación Textil, n.º 47, julio-septiembre 1971.
9. Naik and Pons. Influencia de las condiciones de texturación por falta torsión sobre las propiedades de los hilos de poliamida y poliéster «set». Boletín del Instituto de Investigación Textil, n.º 53, enero-marzo 1973.