

# EXPERIENCIAS FACTORIALES SOBRE LA EXTENSOMETRIA DE HILOS DE LANA

por A. BARELLA y A. SUST(\*)

## I. — RESUMEN

En el presente trabajo se examina, mediante las técnicas de análisis factorial, el comportamiento de los hilos de lana cardada y peinada a las extensiones o fatigas repetidas.

En las primeras series de experiencias se han hecho variar simultáneamente la carga estática aplicada al hilo, la amplitud del ciclo de fatiga y la longitud de la probeta. Se estudia, después, el caso de interposición de un guía-hilos, fijando la carga estática y haciendo variar simultáneamente, además de la longitud y la cursa del ciclo, la posición del guía-hilos. Finalmente se estudia la variación simultánea de los cuatro factores que intervienen en el fenómeno (caso más general asimilable al tisaje) estableciéndose la superficie de la respuesta. Se pone de manifiesto, a lo largo de las experiencias realizadas, que los dos factores que ejercen la influencia más importante sobre la resistencia a las extensiones repetidas son: la longitud del hilo sometida a la fatiga y la amplitud del ciclo de esta última.

## II. — INTRODUCCION. SINOPSIS DE TRABAJOS ANTERIORES

Aparte los muchos investigadores que se han ocupado de la extensometría de los hilos, los autores, en trabajos anteriores (1), (2), (3), (4) han estudiado distintos aspectos de esta cuestión, que interesa especialmente en tisaje

No vamos a describir aquí experiencias que han sido ya descritas con anterioridad, pero sí creemos interesante recordar brevemente los resultados obtenidos, que no dejan de constituir la base del presente trabajo.

En la referencia (1), al estudiar la influencia de los distintos parámetros sobre la resistencia a las extensiones repetidas, se puso de manifiesto que las tres variables que intervienen en el ensayo: la longitud de la probeta, amplitud del ciclo de fatigas y carga estática aplicada sobre el hilo influyen sobre la magnitud del parámetro en cuestión.

En aquella ocasión se efectuó el estudio haciendo variar individualmente los distintos factores en causa según las reglas de la experimentación clásica. Se fijó primero la carga estática y se estudió la influencia

(\*) Patronato "Juan de la Cierva". Departamento Textil. Barcelona - España.

que la longitud y la cursa ejercían sobre la resistencia las extensiones repetidas, alargamiento a la rotura y trabajo de rotura. Por lo que hace referencia al primero de estos tres parámetros, que es el únicamente considerado en el presente trabajo, se demostró que aumenta con la longitud de la probeta y disminuye con el aumento de la amplitud de la fatiga según expresiones muy aproximadamente exponenciales en ambos casos. Fijando longitud y cursa, se demostró así mismo que la resistencia disminuye con el aumento de la carga estática que gravita sobre el hilo, según una ley así mismo exponencial.

En la referencia (2) se estudió el caso de la interposición de un guía-hilos en el recorrido del hilo, añadiendo un efecto de rozamiento al de la fatiga por extensiones repetidas. Se demostró que la presencia de un tal elemento produce una caída de la resistencia las extensiones y que tanto este parámetro como los demás que se derivan del ensayo extensométrico (alargamiento a la rotura y trabajo de rotura) dependen, en el caso considerado, de la posición del guía-hilos en relación con los puntos de aplicación de la carga estática y de la fatiga, siendo la resistencia tanto más elevada cuanto más alejado se halla el guía-hilos del punto de aplicación de las extensiones repetidas. Las experiencias se efectuarán fijando la amplitud del ciclo de fatiga y la magnitud de la carga estática y haciendo jugar únicamente la longitud de la probeta y la posición del guía-hilos y los resultados que acabamos de resumir demostraron que la ley exponencial puede aplicarse muy aproximadamente para explicar matemáticamente los fenómenos puestos en evidencia.

En realidad, juegan pues, cuatro factores: la longitud de la probeta, la amplitud de la fatiga, la magnitud de la carga y la posición del guía-hilos. Es, en suma, un caso típico para la planificación de las experiencias según las técnicas factoriales (5), (6), (7) que permiten obtener conclusiones válidas con una cantidad de experimentación relativamente pequeña, a base de hacer variar simultáneamente todos los factores en juego.

Es por ello que, vista la concordancia de los resultados de experiencias anteriores con lo que nos muestra la práctica del tisaje y los ajustes que se efectúan en los telares para evitar rotura de hilos, hemos creído justificado, como culminación de los trabajos previos antes resumidos, estudiar el problema a la luz de las técnicas factoriales de experimentación, poniendo de manifiesto la naturaleza y significación de los efectos principales y las interacciones entre los mismos, llegando a establecer la ecuación de la superficie de la respuesta, que liga entre sí los distintos factores que intervienen en estudio y determinando las condiciones de respuesta máxima.

Como ya hemos indicado incidentalmente el estudio ha sido llevado únicamente sobre la resistencia a las extensiones repetidas.

### III. — APARATO UTILIZADO Y TECNICA OPERATORIA

El aparato «Comptiss» utilizado (1) y (2) somete los hilos sujetos a ensayo a una serie de extensiones repetidas con una frecuencia de 200 ciclos por minuto, bajo una carga mecánica estática. Son regulables la

cuantía de dicha carga entre 5 y 50 gramos; la amplitud del ciclo de extensión sufrido por el hilo entre 3 y 10 mm. y la longitud de la probeta, entre 250 y 500 mm.

Los resultados se obtienen en forma de una curva registrada automáticamente por el aparato, en la cual las ordenadas representan el alargamiento o elongación a la rotura y las abscisas el número de extensiones experimentadas por el hilo, a razón de 20 ciclos por mm. de diámetro. Cuando el hilo se rompe, el aparato se detiene automáticamente. Contrariamente a otros tipos de extensómetros, el aparato utilizado trabaja siempre hasta la rotura de la probeta.

Al propio tiempo que se producen los ciclos de fatiga, el hilo puede estar sometido a unas frotaciones y plegados mediante un guía-hilos C (fig. 1) que se intercala entre la pinza A, sujeta a los ciclos de extensión y la pinza B inferior, que soporta la carga estática F. Este guía-hilos está formado por tres varillas de cristal sobre las que frota el hilo cargado en B y sometido a las extensiones repetidas en A. La distancia  $l_1$  entre el guía-hilos C y la pinza B es regulable y en consecuencia, lo es también la longitud  $l_2$  entre el guía-hilos C y la pinza A, ya que  $L = l_1 + l_2$ .

En las experiencias que se describirán se han utilizado dos técnicas diferentes: la primera consiste en someter el hilo a las extensiones repetidas de manera pura y simple, o sea sin interposición del guía-hilos G; la segunda consiste en interponer este elemento, con lo que se obtiene una simultaneidad de esfuerzos fatiga y frotamiento sobre la probeta. En este caso el efecto producido sobre el hilo tiene, hasta cierto punto, una similitud con lo que ocurre en el telar al considerar el conjunto plegador-encañado o cruces-lizos.

En el primero, el hilo está sometido a una cierta carga estática impuesta por el freno del plegador; en las cruces el hilo sufre un frotamiento, simulado, en nuestro caso, por el guía-hilos C y, finalmente, la abertura y cierre de la calada produce el ciclo de fatiga o extensiones repetidas. Por lo tanto, parece verosímil poder aplicar al telar los resultados de la investigación realizada en estas condiciones, salvando, naturalmente, distancias.

Para computar los parámetros analizados se han obtenido 10 ó 15 diagramas para cada una de las condiciones ensayadas, según se trate de hilos de carda o de lana peinada.

#### IV. — PRIMERAS EXPERIENCIAS FACTORIALES. TRES FACTORES VARIANDO SIMULTANEAMENTE

##### a) *Modelo matemático y plan escogido.*

Hemos dicho en la introducción, que los distintos factores a estudiar, considerados individualmente, influyen sobre la resistencia a las extensiones repetidas a través de expresiones de tipo exponencial. De aquí que «a priori» queden descartadas las experiencias a sólo dos niveles, que sólo se justificarían si las variables fueran de tipo lineal lo que, como

sabemos, no ocurre. Ahora bien, si lo que tratamos de estudiar es el posible comportamiento de un hilo durante su tisaje utilizando un extensómetro de laboratorio, deberemos hacer variar el campo experimental entre unos límites no mayores de los que, en la práctica, presentan los reglajes posibles de un telar. En un telar la longitud de «estesa» entre el plegador y la calada puede modificarse pero entre límites no muy amplios y lo mismo podríamos decir de los demás factores que intervienen: amplitud de la calada, freno del plegador y posición del encañado o cruces. Nos hallamos pues frente a un campo experimental mucho más limitado que el estudiado en las fases previas reseñadas en las referencias (1) y (2). Por lo tanto las curvas exponenciales halladas en aquellas ocasiones no deberán ser consideradas en toda su extensión sino tan sólo en una zona limitada. En estas condiciones y desechada la posibilidad de un ajuste lineal, en estas zonas, será siempre posible un ajuste de segundo grado que describa con suficiente aproximación la naturaleza de la curva en la zona considerada.

Este criterio nos lleva hacia la experiencia factorial a través niveles por factores. Si consideramos simultáneamente tres factores variando a la vez, el problema podrá ser resuelto con relativa facilidad a base de un plan  $3^3$  con un total de 27 experiencias. La técnica de cálculo de Yates (8) y (5) es lo suficientemente rápida y simple para determinar la partición de la suma de cuadrados y establecer el cuadro de análisis de la variación desglosando, para los factores estudiados los efectos lineal y cuadrático y poniendo en evidencia las distintas interacciones existentes entre los factores, en sus componentes lineales y cuadráticos.

Para las experiencias que vamos a describir se pusieron en práctica planes de este tipo. Haremos aquí la aclaración de que no se pretendió, en esta fase experimental, establecer todavía las ecuaciones de la superficie de respuesta, sino estudiar únicamente la importancia relativa de cada uno de los factores o interacciones y su manera de influir sobre el efecto total.

b) *Variación de la resistencia a las extensiones repetidas en función de la longitud, la amplitud del ciclo de fatiga y la carga aplicada al hilo.*

Este caso es el más general que se presenta cuando se utiliza el extensómetro y no se intercala el guía-hilos. El estudio se ha efectuado sobre dos hilos uno de lana peinada a dos cabos y otro a base de lana de carda; la naturaleza de dichos hilos era la siguiente:

*Hilo de carda*

Título = 72 Tex.  
 Composición:  
 Lana merina: 10 %  
 » tenería: 10 %  
 Dayán 2.75 den. 10 %  
 Estambre nuevo: 70 %

*Hilo de lana peinada*

Título 40/2 métrico =  $25 \times 2$  Tex.  
 45 % Lana Australia 22,5 u y 43.16 mm.  
 50 % » tenería 21.4 u y 40.79 »  
 5 % Dayán 2.75 denier.

La presencia de una pequeña proporción de fibra sintética no creemos que influya sensiblemente en la índole de los resultados.

(I) *Hilo de carda*

Factores: L = longitud de la probeta (mm.)  
 C = Amplitud o cursa (mm.)  
 F = Carga estática aplicada al hilo (g)  
 Respuestas: R = Resistencia a las extensiones repetidas (ciclos).

Elección de los niveles y codificación:

Las condiciones de funcionamiento del aparato utilizado no permiten reproducir más que, aproximadamente las condiciones en que realmente se encuentra el hilo durante el tisaje si se quieren obtener los resultados en un tiempo razonable. Es por ello que en la presente experiencia, como en las restantes, esta condición previa ha impuesto unas condiciones de trabajo acaso objetables desde el punto de vista de la práctica del tisaje (ver Apéndice). Sin embargo no creemos que ello afecte seriamente la naturaleza e índole de los resultados obtenidos ni les quite significado.

Los niveles elegidos han sido los siguientes:

Factores	-1	Niveles 0	+1
L (mm.)	250	300	350
C (mm.)	8	9	10
F (g)	40	45	50

ello equivale a considerar, para la cursa, un tope mínimo de un 2,3% de la longitud y máximo de un 4% y, para la carga, valores expresados en g/tex de 0.55 a 0.69 como topes menor y mayor, respectivamente.

La longitud varía, relativamente, de 1 a 1,4.

Las variables codificadas serán; para obtener los niveles - 1, 0, + 1:

$$l = \frac{L - 300}{50}$$

$$c = C - 9$$

$$f = \frac{F - 45}{5}$$

En la tabla I figuran los resultados obtenidos y en la tabla II el desarrollo de los cálculos según el método de Yates, como ejemplo. La tabla III muestra el análisis de la variación. Para la discriminación de la significación de los distintos efectos se ha tomado como variación residual el conjunto de las interacciones de orden superior al segundo, entrando con ocho grados de libertad (5).

Se observa inmediatamente que la mayor contribución a la suma de cuadrados corresponde a la longitud de la probeta, seguida de cerca por la amplitud del ciclo de fatiga. Ambos factores son significativos en sus efectos lineal y cuadrático, siendo asimismo significativas *todas* sus interacciones incluso las cuadráticas.

En cambio la influencia de la carga aplicada sobre el hilo es mucho menor, siendo significativos sólo el efecto lineal y las interacciones lineales con la longitud y la cursa. Aunque esta última sólo es significativa a un nivel del 5%.

En la zona experimental limitada sobre la que se ha trabajado, la longitud y la cursa varían pues cuadráticamente mientras que la carga aplicada al hilo lo hace linealmente.

## II. — Hilo de lana peinada a dos cabos

La elección de los niveles y codificación son parecidos a los del hilo anterior:

Factores	- 1	Niveles 0	+ 1
L (mm.)	250	275	300
C (mm.)	8	9	10
F (g)	40	45	50

La cursa oscila entre los topes mínimos de 2,3 % de la longitud al 3,3 % de la misma como máximo; la carga oscila entre 0.80 y 1. g/tex y la longitud va de 1 a 1.20. Las variables codificadas son

$$l = \frac{L - 275}{50}$$

$$c = C - 9$$

$$f = \frac{F - 45}{5}$$

En la tabla I figuran los resultados experimentales (conjuntamente con los del hilo de carda) y en la tabla IV el análisis de la variación.

Se observa que el comportamiento del hilo es bastante similar al del hilo anterior. Los efectos principales más importantes son la longitud y la cursa, significativos en sus componentes lineal y cuadrático, mientras que la carga aplicada al hilo sólo muestra significativa su componente lineal.

Todas las interacciones lineales son significativas al 1% y ligeramente significativa la interacción lineal de la cursa con la cuadrática de la longitud.

En comparación con el comportamiento del hilo de carda hay que hacer notar la existencia de pequeñas diferencias, de las que la más notable es la mayor influencia, en este último, del factor longitud, reflejada en la mayor contribución a la suma de cuadrados y en el mayor número de interacciones significativas en los que interviene este parámetro, mientras que la cursa en cambio aparece como ligeramente más importante que la longitud en los hilos peinados. El efecto de la carga aplicada al hilo es del mismo orden en los dos casos pese al distinto valor relativo del parámetro (el hilo de estambre estuvo más cargado, relativamente a su título que el de carda).

c) *Variación de la resistencia a las extensiones repetidas en función de la longitud, la amplitud del ciclo de fatiga y la posición del guía-hilos.*

Dado que de los tres parámetros ensayados, la carga estática aplicada al hilo ha resultado ser el menos importante, se ha mantenido constante en la experiencia encaminada a poner de manifiesto la importancia de la posición del guía-hilos en el caso de interposición de tal elemento, efectuada sobre el mismo hilo de carda de la experiencia anterior. El plan ha sido igualmente un  $3^3$  de las características siguientes:

- Factores: L = Longitud de la probeta (mm.)  
 C = Amplitud del ciclo (mm.)  
 G = Posición del guía-hilos a partir del extremo cargado del hilo (mm.).

Respuesta: R = resistencia las extensiones repetidas.

La carga estática ha sido fijada a 50 gramos y los niveles escogidos fueron:

Factores	Niveles		
	-1	0	+1
L (mm.)	300	350	400
C (mm.)	8	9	10
G (mm.)	100	125	150

Las longitudes se mantienen en proporciones de 1 a 1,5, las cursas de 2% a 3,3% de la longitud y la posición del guía-hilos de un 25 a un 50% de la longitud total a partir del extremo cargado.

La tensión fija corresponde a 0.69 g/tex. Las variables codificadas son

$$l = \frac{L - 350}{50}$$

$$c = C - 9$$

$$g = \frac{G - 125}{25}$$

En la tabla V figuran los resultados y en la VI el análisis de la variación correspondiente.

Se observa que continúan siendo determinantes los factores longitud y cursas, aquélla más que ésta, en sus componentes lineales y cuadráticos, en sus interacciones lineales y en la cuadrática de la longitud y lineal de la cursa, siendo menos significativa la interacción lineal de la longitud con la cuadrática de la cursa.

La posición del guía-hilos sólo muestra significativo, su efecto lineal, siendo su contribución a la suma de cuadrados bastante más pequeña que para cualquiera de los dos parámetros antes citados. Es significativa su interacción lineal con la longitud y sólo al nivel del 5% su interacción lineal con la cursa.

#### d) *Primeras conclusiones.*

Los tres planes factoriales estudiados permiten puntualizar:

1.º — La longitud de la probeta y la cursa o amplitud del ciclo de fatiga, influyen considerablemente sobre la resistencia a las extensiones repetidas. En todos los casos se han mostrado significativos sus componentes lineal y cuadrático y, por lo menos, sus interacciones lineales y lineal de la cursa y cuadrática de la longitud.

2.º — En los hilos de carda otras interacciones entre la longitud y la cursa aparecen como significativas señalando una mayor importancia del factor longitud en relación con el factor cursa mientras que en los hilos de estambre ambos factores aparecen más equilibrados con ligera predominancia de la cursa.

3.º — La carga aplicada y la posición del guía-hilos (cuando se interpone tal elemento) ejercen efectos significativos algo más débiles y limitados a la componente lineal y a las interacciones lineales con los dos otros factores variables.

La índole del aparato utilizado, como ya ha quedado dicho, ha limitado el campo experimental. En estas experiencias no se ha tenido en cuenta el posible efecto térmico del frotamiento del hilo con el guía-hilos insinuado por Kassenbeck (9).

## V. — SEGUNDAS EXPERIENCIAS FACTORIALES: CUATRO FACTORES VARIANDO SIMULTANEAMENTE.

### a) *Modelo matemático y plan escogido.*

El caso general, si nos atenemos a la práctica del tisaje, comporta cuatro factores: longitud, amplitud, carga y posición del guía-hilos. La variación simultánea de estos cuatro factores a 3 niveles requeriría 81 experimentos y el análisis sería bastante largo.



Es por ello que, al considerar el caso más general de cuatro factores, se ha estimado conveniente planificar la experiencia de un modo algo distinto que las precedentes, sobre todo con vistas a la determinación de la superficie de respuesta.

Si adoptamos el modelo matemático completo de segundo grado, cosa que parece factible después de los análisis precedentes:

$$Y = B_0 + B_1 x_1 + B_2 x_2 + B_3 x_3 + B_4 x_4 + B_{11} x_1^2 + B_{22} x_2^2 + B_{33} x_3^2 + B_{44} x_4^2 + B_{12} x_1 x_2 + B_{13} x_1 x_3 + B_{14} x_1 x_4 + B_{23} x_2 x_3 + B_{24} x_2 x_4 + B_{34} x_3 x_4$$

puede hacerse uso de la técnica de Box y Hunter (6) (11) de los llamados «Central composite rotatable designs». Ya Box y Wilson (10) habían prevenido sobre los errores que se pueden cometer al ajustar una superficie de segundo orden a los resultados de un factorial  $3_k$  ya que la precisión con que se obtienen los coeficientes de los términos de segundo grado es relativamente baja.

No vamos aquí a describir los «Central composite designs» que el lector hallará en las referencias (6) y (11). Sólo señalaremos que se ha adoptado un plan que comporta:

- I) Un  $2^4$  factorial completo.
- II) Un «star design».
- III) Siete puntos (replicatas) en el centro.

La introducción del llamado «star design» o diseño en estrella consiste en la adición de unos experimentos en los que uno de los factores se halla a los niveles + 2 y - 2 mientras que los demás se hallan a nivel 0. De esta manera se trabaja, de hecho, con cinco niveles lo que permite determinar mucho mejor la superficie de respuesta.

En la tabla VII figura el plan escogido y las respuestas halladas. En conjunto consta de 31 combinaciones experimentales. La investigación se ha llevado a cabo con el hilo de estambre a 2/c. Los niveles escogidos para cada una de las variables L, C, F y G, así como la codificación utilizada han sido los siguientes:

Factores	Niveles				
	- 2	- 1	0	+ 1	+ 2
L (mm.)	280	290	300	310	320
C (mm.)	8	8,5	9	9,5	10
F (g)	30	35	40	45	50
G (mm.)	100	110	120	130	140

En esta experiencia, pues, las longitudes varían de 1 a 1,14 las curvas del 2,5 % al 3,6 % de la longitud, las cargas de 0.6 a 1 g/tex y la posición del guía-hilos del 31,2 % al 50 % de la longitud a partir del

extremo sometido a la carga estática. El campo experimental es en su conjunto ligeramente más reducido que en las experiencias anteriores para la longitud, la cursa y la posición del guía-hilos, pero más amplio para la carga estática, teniendo en cuenta que ahora contamos con cinco niveles en vez de los tres de antes.

Las variables codificadas son:

$$l = \frac{L - 300}{10}$$

$$c = \frac{C - 9}{0.5}$$

$$f = \frac{F - 40}{5}$$

$$g = \frac{G - 120}{10}$$

b) *Cálculo de la superficie de respuesta.*

La ecuación de la superficie de respuesta, calculada por el método de Box y Hunter, cuyo detalle puede consultarse en la referencia (11) o en la (6) por ser una obra más divulgada, ha resultado ser la siguiente:

$$R = 750.58 + 195 l - 296.92 c - 152.67 f - 166.25 g - 18.45 l^2 + 48.67 c^2 + 22.80 f^2 + 2.92 g^2 - 75 l \cdot c + 28.25 l f - 44.25 l g + 31.25 c f + 29.12 c g + 37 f g.$$

Los resultados ajustados correspondientes a esta ecuación han sido recopilados en la última columna de la tabla VII. La ecuación corresponde a las variables codificadas. La descodificación consistiría en reemplazar l, c, f y g, por los valores antes indicados en función de L C F y G. La omitimos.

La tabla VIII contiene el análisis de la variación, en el que podemos observar que tanto los términos de 1.<sup>er</sup> orden como los de 2.<sup>o</sup> orden son altamente significativos mientras que las desviaciones desde la superficie ajustada no exceden de manera significativa el error experimental. De ello se deduce que la fórmula antes hallada es válida para representar los hechos experimentales.

La ecuación de la superficie confirma, en líneas generales la mayor importancia de los efectos lineales sobre los cuadráticos y el signo predominante para cada uno de los factores en juego. O sea que la resis-

tencia a las extensiones aumenta con la longitud y disminuye con los demás factores (cursa, carga aplicada y aumento de la distancia del guía-hilos al punto de aplicación de la carga estática).

Sin embargo existe, en este caso, una modificación de la importancia relativa de cada factor en comparación con las experiencias anteriores de tipo 3<sup>a</sup>. Observamos que el factor más importante es la cursa, por delante de la longitud de manera más acusada que en el experimento precedente con el mismo hilo. La carga estática y la posición del guía-hilos aparecen como más importantes en esta nueva experiencia que en la anterior y se comprueba un valor ligeramente superior de la componente cuadrática de la carga estática cuyo campo experimental es, aquí, mayor, mientras que la componente cuadrática de la posición del guía-hilos es prácticamente despreciable como en las experiencias anteriores. De las interacciones lineales aparece como más importante, como antes, la existente entre la cursa y la longitud.

Los valores de l, c, f y g para la máxima respuesta se deducen derivando la ecuación de la superficie sucesivamente respecto de cada una de las variables e igualando a cero. Se obtienen las cuatro ecuaciones siguientes:

$$\begin{aligned} 195 - 36.90 l - 75 c + 28.25 f - 44.25 g &= 0 \\ - 296.92 - 75 l + 97.34 c + 31.25 f + 29.12 g &= 0 \\ - 152.67 + 28.25 l + 31.25 c + 45.6 f + 37 g &= 0 \\ - 166.25 - 44.25 l + 29.12 c + 37 f + 5.84 g &= 0 \end{aligned}$$

Sistema de ecuaciones que resuelto por determinantes nos dá los valores:

$$\begin{aligned} l &= 11.82 \\ c &= 18.79 \\ f &= 8.39 \\ g &= 31.67 \end{aligned}$$

Estas raíces corresponde a un máximo hipotético de la ecuación de la respuesta, que se halla fuera del campo experimental y para unas condiciones irrealizables en la práctica (valores descodificados: L = 418 mm., C = 18,4 mm., F = 41.95 g; G = -196.7 mm.).

La mejor respuesta factible en el terreno práctico correspondería a G = 0, como se ha demostrado ya en un trabajo anterior (2); pero si nos atenemos a que en el telar no puede prescindirse del encañado, se deduce que durante el tisaje, el valor de G será siempre positivo, debiendo ser lo más reducido posible si se quieren evitar roturas, como ya se indicó en la referencia (2), cuyas conclusiones quedan confirmadas.

Un análisis más profundo parece innecesario en este caso en que ya, por experimentación anterior, se ha puesto de manifiesto cómo cada uno de los factores afecta a la respuesta y en que la práctica ha señalado ya

cuáles son las condiciones óptimas de trabajo, antes de emprender el estudio en forma sistemática. Por otra parte la conversión de la ecuación de la respuesta en su forma económica poco nos ayudaría a aclarar las cosas teniendo en cuenta que se trata de un problema en el que intervienen cuatro factores o dimensiones, y que por ello no puede ser interpretado en forma sencilla y tangible.

## VI. — CONCLUSIONES.

Del presente trabajo se deducen las conclusiones siguientes:

- 1.<sup>a</sup> — Cuando un hilo se somete a extensiones repetidas los factores que influyen principalmente sobre la resistencia a la rotura son la longitud y la amplitud de las extensiones. En los hilos de carda la longitud de la probeta es el factor más importante, mientras que en los hilos peinados a dos cabos, es la cursa el factor preponderante.
- 2.<sup>a</sup> — La carga estática aplicada al hilo y la posición del guía-hilos con relación al punto de aplicación de la carga, ejercen una influencia menos importante que las anteriores, pero significativa.
3. — La longitud de la probeta influye positivamente en la resistencia mientras que los demás factores lo hacen negativamente.
- 4.<sup>a</sup> — La longitud y la cursa y la carga aplicada en ciertos casos cuando el campo experimental es más amplio, ejercen una influencia sobre la resistencia, a través de sus componentes lineal y cuadrática, mientras que la posición del guía-hilos lo hace únicamente a través de su componente lineal.
- 5.<sup>a</sup> — Los resultados de las presentes experiencias no deben ser tomados con carácter general, si bien pueden orientar acerca del comportamiento del hilo en el telar. De hecho, concuerdan con lo que se observa en la práctica del tisaje.
- 6.<sup>a</sup> — Se demuestra la utilidad de la planificación de experiencias mediante las técnicas factoriales adoptando los esquemas más convenientes, para determinar la influencia de cada factor y la importancia de las interacciones así como para el cálculo de la ecuación de respuesta permiten llegar a conclusiones válidas con un mínimo de experimentación.
- 7.<sup>a</sup> — La utilización de este tipo de experiencias sobre un telar experimental o sobre un extensómetro adecuado que permite reproducir con la mayor aproximación las condiciones del tisaje, puede conducir a establecer «a priori» algunos de los reglajes óptimos del telar para un determinado tipo de hilo con vistas a evitar roturas.

## VII. — AGRADECIMIENTO.

Los autores agradecen a la Srta. Manolita Díaz su colaboración en la fase experimental de la presente investigación. Los hilos han sido suministrados por «ARTEXTIL, S. A.» y las medidas sobre telar que figuran en el Apéndice han sido facilitadas por D. P. Escudé, ingeniero de la mencionada firma. A todos nuestra gratitud.

### Apéndice

Se han comparado las condiciones de trabajo utilizadas en la fase experimental, sobre extensómetro con las condiciones normales de tisaje en fábrica. La tabla siguiente muestra esta comparación.

Parametros	Experiencias				Telar
	1.º	2.º	3.º	4.º	
Cursa del ciclo (en % de la longitud)	2,3-4 %	2,3-3,3 %	2-3,3 %	2,5-3,6 %	2,4-2,8 %
Posición del guía-hilos (% de la longitud)	—	—	25-50 %	31,2-50 %	35 %
Carga estática (g/tex)	0,55-0,69 (g/tex)	0,80-1 (g/tex)	0,69 (g/tex)	0,60-1 (g/tex)	0,32-0,60 (g/tex)

Se puede comprobar que las condiciones prácticas de tisaje se hallan comprendidas en el interior del campo experimental, para la cursa y la posición del guía-hilos. Por lo que se refiere a la carga estática aplicada, se ha trabajado con valores netamente más elevados que los que se han verificado sobre telar en fábrica.

En suma, puede considerarse que el campo experimental ensayado casi cubre las condiciones normales de tisaje en fábrica, por lo que los resultados obtenidos pueden considerarse válidos con vistas a la aplicación práctica de los mismos.

### Referencias.

- (1) Barella, A. — «Invest. e Inform. Textil». Vol. IV, n.º 1 (1961), 1.
- (2) Barella, A. y Sust., A. — IWTO Tech. Com. Oslo (1962).
- (3) Barella, A., Miró, P. y Marí, MC. — «Invest. e Inform. Textil». Vol. III, n.º 4 (1960), 285.
- (4) Barella, A., Miró, P. y Camprubí, M. C. — «Bull. Inst. Text. France», n.º 99 (1962).
- (5) Davies, O. L. — «Design and Analysis of Industrial Experiments (1956) Olver and Boyd - Londres.
- (6) Cochran, W. G. y Cox, G. M. — «Experimental designs», J. Wiley and Sons (1957) New York.
- (7) Barella, A — «Introducción a la planificación de experiencias en la industria textil» - Tarrasa (1961).
- (8) Yates, F. — «Jour. Roy. Strat. Sec. Suppl. 2» (1935), 181; «Imp. Bur. Soil. Sci. Tech. Comm. (1937), 35.
- (9) IWTO. — Tech. Com. - Oslo (1962) - Compte rendu.
- (10) Box, GEP y Wilson, K. B. — «Journ. Roy. Stat. Soc». B, 13 (1951), 1.
- (11) Box, GEP y Hunter, V. S. — «Anuales Mathem. Statist» (1957), 28.

TABLA I

Combi- naciones	Niveles de las variables			Respuestas (R)	
	b	c	f	Hilo carda 1 c	Hilo estam- bre 2 c
1	- 1	- 1	- 1	674	896
2	- 1	- 1	0	370	542
3	- 1	- 1	+ 1	292	465
4	- 1	0	- 1	338	347
5	- 1	0	0	266	313
6	- 1	0	+ 1	210	224
7	- 1	+ 1	- 1	170	197
8	- 1	+ 1	0	118	171
9	- 1	+ 1	+ 1	90	147
10	0	- 1	- 1	1414	1735
11	0	- 1	0	1198	1431
12	0	- 1	+ 1	634	711
13	0	0	- 1	1022	705
14	0	0	0	620	533
15	0	0	+ 1	438	430
16	0	+ 1	- 1	442	413
17	0	+ 1	0	332	223
18	0	+ 1	+ 1	220	212
19	+ 1	- 1	- 1	3636	3375
20	+ 1	- 1	0	3184	2596
21	+ 1	- 1	+ 1	2000	2052
22	+ 1	0	- 1	1568	2002
23	+ 1	0	0	1070	1240
24	+ 1	0	+ 1	566	917
25	+ 1	+ 1	- 1	1140	854
26	+ 1	+ 1	0	884	558
27	+ 1	+ 1	+ 1	360	290

TABLA II

Combi- naciones	Respuestas	[3]	[4]	[5]	Efecto	[6]	[7] (Sumas de cuadrados)
1	674	1182	10384	23236	Total		5.190.644
4	338	2858	8042	9666	C <sub>1</sub>	18	450.283
7	170	6344	4810	4942	C <sub>2</sub>	54	
10	1414	754	3992	11880	L <sub>1</sub>	18	7.840.770
13	1022	2150	3418	5478	C <sub>1</sub> L <sub>1</sub>	12	2.500.708
16	422	5138	2256	4710	C <sub>2</sub> L <sub>1</sub>	36	616.225
19	3636	592	1600	4336	L <sub>2</sub>	54	348.312
22	1568	1292	2174	2850	C <sub>1</sub> L <sub>2</sub>	36	225.625
25	1140	2926	11680	4762	C <sub>2</sub> L <sub>2</sub>	108	206.182
2	370	504	5162	5574	F <sub>1</sub>	18	1.726.083
5	266	992	4384	1736	C <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	12	108.447
8	118	2496	2334	432	C <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	36	5.184
11	1198	252	1992	2828	L <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	12	666.465
14	620	866	2048	554	C <sub>1</sub> L <sub>1</sub> F <sub>1</sub>	8	38.364
17	332	2300	1438	206	C <sub>2</sub> L <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	24	1.768
20	3184	202	1472	876	L <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	36	21.316
23	1070	414	1972	2	C <sub>1</sub> L <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	24	
26	884	1640	1266	990	C <sub>2</sub> L <sub>2</sub> F <sub>1</sub>	72	13.612
3	292	168	1810	890	F <sub>2</sub>	54	14.668
6	210	208	1592	588	C <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	36	9.604
9	90	1640	934	1580	C <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	108	23.114
12	634	44	1016	1272	L <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	36	44.943
15	438	290	820	666	C <sub>1</sub> L <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	24	18.481
18	220	1928	1014	1206	C <sub>2</sub> L <sub>1</sub> F <sub>2</sub>	72	20.200
21	2000	38	2224	440	L <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	108	1.792
24	566	22	1304	390	C <sub>1</sub> L <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	72	2.112
27	360	1288	1234	850	C <sub>2</sub> L <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	216	3.344
51	13402	1656	15652	27572			
52	6098	4088	13182	14838			
53	3736	12768	7038	10850			
X	23236	18512	35872	23584			
Y	18512	35872	23584				

TABLA III

*Análisis de la variación*

	Sumas de cuadrados	gdl	Cuadrado medio	F	Sign.
<i>Efectos principales</i>					
C (cursa)					
Lineal	5.190.644	1	5.190.644	420	1 %
Cuadrático	450.283	1	450.283	36,4	1 %
L (Longitud)					
Lineal	7.840.770	1	7.840.770	635	1 %
Cuadrático	348.312	1	348.312	28,2	1 %
F (carga)					
Lineal	1.726.083	1	1.726.083	140	1 %
Cuadrático	14.668	1	14.668	—	—
<i>Interacciones</i>					
Lineal C Lineal L	2.500.708	1	2.500.708	203	1 %
» C » F	108.447	1	108.447	8,8	5 %
» L » F	666.465	1	666.465	54	1 %
» C Cuadr <sup>2</sup> L	225.625	1	225.625	18,3	1 %
» C » F	9.604	1	9.604	—	—
» L » C	616.225	1	616.225	50	1 %
» L » F	44.943	1	44.943	—	—
» F » L	21.316	1	21.316	—	—
» F » C	5.184	1	5.184	—	—
Cuadr <sup>2</sup> C » L	206.182	1	206.182	16,7	1 %
» C » F	23.114	1	23.114	—	—
» L » F	1.792	1	1.792	—	—
Interacciones de orden superior	97.881	8	12.335		
(Residual)		26			



TABLA IV

*Análisis de la variación*

	Sumas de cuadrados	gdl	Cuadr° medio	F	Sign. %
<i>Efectos principales</i>					
C (curva)					
Lineal	6.895.666	1	6.895.666	332	1 %
Cuadrático	273.492	1	273.492	13,2	1 %
L (Longitud)					
Lineal	6.696.555	1	6.696.555	325	1 %
Cuadrático	426.133	1	426.133	20,7	1 %
F (carga)					
Lineal	1.664.094	1	1.664.094	80,7	1 %
Cuadrático	24.704	1	24.704	—	—
<i>Interacciones</i>					
Lineal C Lineal L	2.553.941	1	2.533.941	123,5	1 %
» C » F	466.496	1	466.496	22,6	1 %
» L » F	637.101	1	637.101	30,9	1 %
» C Cuadr° L	117.192	1	117.192	5,5	5 %
» C » F	2.336	1	2.336	—	—
» L » C	36.992	1	36.992	—	—
» L » F	21.267	1	21.267	—	—
» F » L	26.298	1	26.298	—	—
» F » C	29.126	1	29.126	—	—
Cuadr° C » L	972	1	972	—	—
» C » F	385	1	385	—	—
» L » F	25.484	1	25.484	—	—
Interacciones superiores	164.733	8	20.591		
(Residual)		26			

TABLA V

Combinaciones	Niveles de la variable			Respuesta (R)
	l	c	g	
1	- 1	- 1	- 1	630
2	- 1	- 1	0	442
3	- 1	- 1	+ 1	238
4	- 1	0	- 1	304
5	- 1	0	0	218
6	- 1	0	+ 1	174
7	- 1	+ 1	- 1	170
8	- 1	+ 1	0	152
9	- 1	+ 1	+ 1	126
10	0	- 1	- 1	1464
11	0	- 1	0	1232
12	0	- 1	+ 1	932
13	0	0	- 1	856
14	0	0	0	720
15	0	0	+ 1	638
16	0	+ 1	- 1	596
17	0	+ 1	0	540
18	0	+ 1	+ 1	236
19	+ 1	- 1	- 1	5860
20	+ 1	- 1	0	4158
21	+ 1	- 1	+ 1	3260
22	+ 1	0	- 1	2500
23	+ 1	0	0	1804
24	+ 1	0	+ 1	1324
25	+ 1	+ 1	- 1	1126
26	+ 1	+ 1	0	894
27	+ 1	+ 1	+ 1	562

TABLA VI

*Análisis de la variación*

Origen variación	Suma de cuadrados	g. d. l.	Cuadro medio	F	Sien.
<i>Efectos principales</i>					
C (cursa)					
Lineal	10.619.888	1	10.619.888	168,5	1 %
Cuadrática	571.238	1	571.238	9,06	5 %
L (Longitud)					
Lineal	20.106.277	1	20.106.277	319,—	1 %
Cuadrática	1.678.340	1	1.678.340	26,6	1 %
G (Guía-hilos)					
Lineal	2.009.344	1	2.009.344	31,7	1 %
Cuadrática	8.004	1	8.004	—	—
<i>Interacciones</i>					
Lineal C Lineal L	8.042.583	1	8.042.583	127,6	1 %
» C » G	543.576	1	543.576	8,62	5 %
» L » G	1.186.925	1	1.186.925	18,8	1 %
» C Cuadr <sup>a</sup> L	1.381.408	1	1.381.408	21,9	1 %
» C » G	31.093	1	31.093	—	—
» L » C	499.333	1	499.333	7,92	5 %
» L » G	23.613	1	23.613	—	—
» G » L	201.002	1	201.002	—	—
» G » C	57.760	1	57.760	—	—
Cuadr <sup>a</sup> C » L	135.964	1	135.964	—	—
» C » G	715	1	715	—	—
» L » G	-19.146	1	19.146	—	—
Interacciones de orden superior (Residual)					
	504.431	8	63.054		

TABLA VII

Combinación	Niveles de las variables				Respuesta (R)	
	l	c	f	g	Experimental	Ajustada
1	-1	-1	-1	-1	1320	1234
2	+1	-1	-1	-1	1604	1762
3	-1	+1	-1	-1	610	669
4	+1	+1	-1	-1	1092	931
5	-1	-1	+1	-1	532	736
6	+1	-1	+1	-1	1660	1420
7	-1	+1	+1	-1	272	296
8	+1	+1	+1	-1	614	680
9	-1	-1	-1	+1	730	858
10	+1	-1	-1	+1	1362	1253
11	-1	+1	-1	+1	256	410
12	+1	+1	-1	+1	514	526
13	-1	-1	+1	+1	442	504
14	+1	-1	+1	+1	880	928
15	-1	+1	+1	+1	192	184
16	+1	+1	+1	+1	392	392
17	-2	0	0	0	502	432
18	+2	0	0	0	960	1068
19	0	-2	0	0	1634	1536
20	0	+2	0	0	365	348
21	0	0	-2	0	1186	1153
22	0	0	+2	0	606	541
23	0	0	0	-2	1080	1085
24	0	0	0	+2	553	421
25	0	0	0	0	1090	750
26	0	0	0	0	822	750
27	0	0	0	0	588	750
28	0	0	0	0	866	750
29	0	0	0	0	782	750
30	0	0	0	0	445	750
31	0	0	0	0	660	750

TABLA VIII

*Análisis de la variación*

Causas de la variación	Suma de cuadrados	g d l	Cuadrado medio	F	Signif.
Términos de 1. <sup>er</sup> orden	4.251.172	4	1.062.792	223	1 %
» » 2. <sup>o</sup> »	17.865.897	10	1.786.589	370	1 %
Desviación desde el ajuste	586.609	10	58.609	1.2	no
Error	292.022	6	48.670		
Total	22.995.700	30			