

S.O.D.



JORGE RIBA ARDERIU

Ingeniero de Industrias Textiles

M E T O D O S D E E N S A Y O

D E L A S

F I B R A S A R T I F I C I A L E S

Junio 1949

PROLOGO

En este trabajo se investigan las peculiaridades del comportamiento elástico de los filamentos de rayón, que difiere grandemente del de las fibras naturales.

Es un resumen de una extensa labor de recopilación bibliográfica, de investigación y de ensayo realizada en 1949 por el autor en una fábrica de tejidos de seda y de rayón de Palma de Mallorca de la cual era Director Técnico.

Basándose en el material reunido, el autor pronunció una conferencia sobre este tema en una Velada Técnica organizada por la Asociación Nacional de Ingenieros de Industrias Textiles, el 30 de Mayo de 1949.

Un resumen de lo expuesto en ella fue publicado más tarde, en forma de artículo en la revista Ingeniería Textil (nº 80, Noviembre - Diciembre 1949). Se adjunta un ejemplar de la misma.

En la época en que se realizó este estudio, aunque ya era corriente en la industria el uso de los distintos tipos de rayón, aún no habían sido bien estudiadas muchas de las propiedades mecánicas de éstos. En particular, la noción de "tiempo"

contenida en los conceptos de "alargamiento diferido" y "recuperación diferida" (elasticidad diferida) así como su gran influencia sobre los resultados de las mediciones dinamométricas, constituían una novedad en aquellas fechas.

La posterior aparición de las fibras sintéticas y de ciertas materias plásticas, ha situado en primer plano todos estos conceptos que ya habían alcanzado importancia con las fibras artificiales. Los conceptos expresados por el que suscribe en la conferencia y el artículo mencionados, han sido más tarde confirmados y utilizados por otros autores siendo actualmente de uso común.

Los métodos estadístico-matemáticos, que habrían resultado muy apropiados para determinar el grado de significación de los ensayos efectuados, no fueron utilizados en este estudio ya que no eran todavía usuales en nuestro país en la época en que fué realizado.

FINALIDAD DEL ESTUDIO

La iniciación de este estudio fué motivada por la gran cantidad de problemas y dificultades especiales que presenta la manipulación de las fibras artificiales, principalmente el rayón.

Muchos fenómenos, que son causa de importantes defectos, parece que no tengan, las más de las veces, una explicación lógica, y se llega con frecuencia a creer que a una misma causa no corresponden siempre los mismos efectos.

Ello, sin embargo no es cierto. Lo que ocurre es que las fibras artificiales son una adquisición reciente de la industria, y sus propiedades se apartan de los conceptos y normas que hasta ahora se han considerado como básicas y definitivas.

En particular, el concepto clásico de "elasticidad" es demasiado sencillo y primitivo para dar cabida a los variados fenómenos que ocurren en las fibras artificiales sometidas a esfuerzos de diferente índole. En estas líneas nos proponemos principalmente ampliar dicho concepto, haciendo especial hincapié en las relaciones que existen entre la elasticidad y los factores tiempo y estado higrométrico.

Antes de entrar en materia haremos una exposición de los defectos característicos de los tejidos de rayón y de otras peculiaridades de los mismos, así como de las principales dificultades halladas en el estudio dinamométrico de dicha fibra.

Defectos de los tejidos de rayón

De entre los defectos que más frecuentemente aparecen en los tejidos de rayón, enumeramos a continuación los que son atribuibles a las especiales características elásticas de esta fibra.

Hilos tensos o brillantes

Destacan extraordinariamente en el tejido por su mayor brillo y, a veces, se notan más tensos. Pueden presentarse en grupos o aislados; en pequeñas longitudes, o a lo largo de toda una pieza de tejido; en sentido de la urdimbre o de la trama.

Barras o franjas

Son de aspecto distinto al del fondo, en sentido de urdimbre o de trama.

Reducción de anchura

En zonas más o menos extensas el tejido es más estrecho que en el resto de la pieza. Generalmente estas zonas corresponden al trozo tejido con una canilla determinada.

Barrado por trama

Se produce al efectuarse el cambio de una canilla vacía por otra llena.

Claro por trama

Es producido al poner en marcha un telar después de un paro prolongado del mismo.

Espeso por trama

Es formado por un exceso de pasadas de trama en ciertas zonas.

Espejuelos

Son debidos a un encolado defectuoso.

Existen otros muchos defectos que no enumeramos porque no

tienen relación directa con el comportamiento elástico del rayón, ni pueden explicarse mediante el análisis de los gráficos tensión-alargamiento de que hablaremos más adelante.

Efectos especiales de los tejidos de rayón

Muchos de los defectos enumerados, no aparecen en el tejido, en toda su intensidad por lo menos, hasta después del descrudado del mismo. A veces basta un sencillo mojado del tejido en agua fría, seguido de un secado, para ponerlos en evidencia. Este proceso actúa como un verdadero revelado de los defectos y es causa constante de roces entre tejedores y acabadores. Los primeros creen haber entregado un tejido perfecto, y los segundos se lo devuelven con numerosos defectos. Sin embargo un somero examen de éstos demuestra que la mayor parte de las veces tienen su origen en el telar, o en los procesos anteriores al tisaje.

CONVENIENCIA DEL ESTUDIO MEDIANTE GRAFICOS

TENSION-ALARGAMIENTO

No es necesario profundizar mucho para comprobar que prácticamente todos los defectos mencionados tienen como causa inmediata una variación más o menos pronunciada de la longitud de los hilos. Un hilo que una vez tejido encoge algo más que los contiguos, ondulará menos que éstos y su aspecto será más brillante y, si tan exagerado es el encogimiento, quedará recto y tirante dentro del tejido. Si en vez de un solo hilo es un grupo de hilos paralelos el que encoge, se producirá una franja de aspecto distinto, que si es por trama puede ser causa de que cierta longitud de tejido sea más estrecha que el resto de la pieza. En forma similar se explican los demás defectos.

No siempre resulta fácil deducir cual es el origen de estos encogimientos. Lo que resulta evidente, ya que la práctica industrial lo confirma diariamente, es que un hilo que ha sufrido una tensión exagerada, encoge más que los demás y origina los hilos brillantes, etc.

Pero ¿ Cuáles son las tensiones que pueden soportar los hilos de rayón sin provocar defectos en el tejido ? ¿ Cúales son

las tensiones de trabajo prácticas en las distintas operaciones ? ¿ Cuáles son los encogimientos que debemos esperar ?
¿ Por qué un tratamiento en mojado revela defectos que antes no eran visibles ?

Para contestar estas y muchas otras preguntas que pueden plantearse, iniciamos unos estudios encaminados a investigar las relaciones existentes entre las tensiones, los alargamientos y los encogimientos, etc. de los hilos de rayón. Utilizamos un antiguo dinamómetro de péndulo Berthaud, para seda, siguiendo los métodos de ensayo clásicos.

Al principio, los resultados obtenidos fueron desconcertantes, debido a la enorme discrepancia entre los mismos. Además, los métodos de ensayo se revelaron inadecuados para el rayón, apareciendo un gran número de dificultades durante los ensayos.

Por estas razones, antes de emprender el estudio tensión-alargamiento del rayón, efectuamos un estudio de los métodos de ensayo a fin de establecer un método apropiado para el tipo de trabajo que nos interesaba. Este estudio comprendió la recopilación de una extensa bibliografía, que se cita al final, y un largo trabajo de puesta a punto del método.

DIFICULTADES EN LA DETERMINACION DEL GRAFICO TENSION-ALARGAMIENTO

Supongamos que para trazar este diagrama seguimos uno de los métodos clásicos, como el propuesto por el profesor Blaxart (2).

La primera dificultad estriba en escoger la velocidad de la pinza móvil del dinamómetro. Entre los distintos autores existe una completa disparidad de ideas a este respecto. Los valores propuestos oscilan entre 60 mm/min (6) y 600 mm/min (7), existiendo además las reglas del BISFA que prescriben 800 mm/min. Si prescindiendo de los criterios particulares de los distintos autores, nos atenemos a lo reglamentado e intentamos efectuar los ensayos a 800 mm/min, nos encontramos que muchos dinamómetros no admiten tal velocidad, ya sea debido a su mecanismo de accionamiento, ya sea a causa de la inercia de su parte móvil, siendo esto último lo más difícil de solventar. Debemos hacer notar que existen diferencias muy notables entre los diversos ensayos según sea la velocidad adoptada.

Si la aguja del dinamómetro no está provista de gatillos de retención, sino que indica la posición máxima alcanzada mediante un índice móvil arrastrado por ella (dinamómetro Bertaud), al detener el movimiento de la pinza inferior en un pun-

to cualquiera, para medir el alargamiento permanente, observaremos que la aguja retrocede rápidamente hasta alcanzar una posición de equilibrio con una tensión menor y un alargamiento mayor que el que había alcanzado durante su movimiento ascendente.

Si efectuamos ensayos del mismo hilo en dinamómetros de distinta construcción, o incluso en un mismo dinamómetro pero utilizando dos escalas distintas del mismo, los resultados no coinciden. Damos por entendido que dichos aparatos están perfectamente graduados y verificados según las normas del BISFA.

Si en el mismo dinamómetro y en las mismas condiciones, ensayamos dos hilos de la misma materia pero de distinto título, hallaremos para el más fino una resistencia unitaria y un alargamiento a la rotura superiores. Puede aducirse que en general se emplean mejores materias primas para fabricar títulos finos que para títulos más gruesos. Para descartar esta posibilidad hemos realizado una serie de ensayos primero con un hilo 100 deniers y después con el mismo hilo doblado pasando alrededor de una poleíta en la pinza inferior a fin de igualar exactamente las tensiones en las dos ramas del hilo. De esta forma se materializa un hilo de la misma materia exactamente, pero de título doble. Los resultados de una serie de 5 ensayos confirmaron la anomalía. Los indicamos a continuación:

Ensayos	100 deniers		2 x 100 deniers	
	Carga de rotura en gr	Alargamiento a la rotura en %	Carga de rotura en gr	Alargamiento a la rotura en %
I	183	14,30	376	13,6
II	180	14,60	345	11,6
III	171	13,60	330	11,8
IV	195	15,30	363	12,5
V	186	14,80	354	13,2
Sumas	915	72,60	1768	62,7
Promedios	1,83 gr/den.	14,52 %	1,77 gr/den.	12,54 %

Solamente se tuvieron en cuenta los ensayos en que la rotura se produjo a más de un cm de distancia de las pinzas o de la poleíta.

Existen diferencias muy notables en la carga de rotura según se efectúe el ensayo sin detenerse, o bien deteniéndose varias veces a efectuar lecturas intermedias para la confección del gráfico tensión-alargamiento. Incluso influye en este caso el que el ensayo sea realizado por uno o dos operadores (uno

efectuando las lecturas y el otro anotando los resultados).

Existen diferencias notables según la longitud de prueba, o sea la distancia entre las dos pinzas del dinamómetro.

Finalmente, una serie de ensayos empezada un día y continuada el siguiente, arroja valores muy distintos entre uno y otro día.

INFLUENCIA DEL FACTOR TIEMPO

Hemos podido comprobar que todas las irregularidades mencionadas, excepto la última que es debida a diferencias de humedad del ambiente o del hilo, son consecuencia de no tener en cuenta la extraordinaria influencia del factor tiempo que queda disimulada en cuestiones tales como la diferencia de títulos o de longitud de prueba, según demostramos más adelante.

Materiales que siguen la ley de Hooke

Ciertos materiales de construcción, como por ejemplo el acero, pueden considerarse perfectamente elásticos entre determinados límites, entendiéndose por cuerpo elástico aquel que es

susceptible de deformarse bajo la acción de una fuerza, y de recuperar completamente su forma y dimensiones primitivas al cesar la misma. Las magnitudes de la deformación y del esfuerzo que la produce, vienen relacionadas por la Ley de Hooke, que se expresa por la fórmula siguiente:

$$\sigma = E\varepsilon$$

siendo σ el esfuerzo por unidad de sección, E el módulo de elasticidad, que es una constante de cada material, y ε el alargamiento unitario o sea $\Delta l/l$, siendo l la longitud de la probeta. Es decir, que las deformaciones unitarias son directamente proporcionales a los esfuerzos unitarios que las producen. En el caso de una tracción, los alargamientos son proporcionales a las tensiones.

Esta ley no hace referencia alguna al factor tiempo. Por tanto es independiente del mismo, y presupone que las deformaciones o alargamientos se producen instantáneamente en el momento que empiezan a actuar las fuerzas. Si en realidad no siempre ocurre así, es debido a la inercia propia del cuerpo deformado o del elemento mecánico transmisor del esfuerzo. En todo caso no existen demoras originadas por resistencias internas del material.

Debemos hacer constar que la Ley de Hooke es sólo un ideal

al que ciertos materiales se aproximan mucho. Sin embargo, pasados ciertos límites el módulo de elasticidad no se mantiene constante, y además aparecen deformaciones permanentes

Nota.- Consideramos muy lógica y acertada la propuesta del profesor Federico López-Amo (9) de utilizar el valor $\sigma_{b \text{ tex}}$ en substitución del valor $\sigma_{b \text{ cm}^2}$ usual en los tratados de Resistencia de Materiales. Sin embargo, no utilizamos este valor en el presente estudio porque no poseemos hilos de rayón de 100 tex, sino de 100 deniers, equivalente a 11,11 tex, fracción algo engorrosa de manejar.

Por tanto en todo este trabajo utilizamos $\sigma_{b \text{ den.}}$, que de aquí en adelante llamaremos simplemente σ_b .

Cuando en vez de tratarse de la tracción unitaria a la rotura $\sigma_{b \text{ den.}}$ se trate simplemente de la tracción unitaria, utilizaremos $\sigma_{\text{den.}}$ que para simplificar denominaremos σ .

Por analogía emplearemos el módulo de elasticidad $E_{\text{den.}}$, derivado de la anterior unidad.

$$E = \frac{\sigma_b}{\varepsilon} ; \quad E_{\text{tex}} = \frac{\sigma_{b \text{ tex}}}{\varepsilon} ; \quad E_{\text{den.}} = \frac{\sigma_{b \text{ den.}}}{\varepsilon}$$

que de aquí en adelante llamaremos simplemente E.

Materiales que no siguen, ni aproximadamente la Ley de Hooke

En las materias textiles en general, pero especialmente en las artificiales y sintéticas, las relaciones existentes entre las tensiones aplicadas y las deformaciones experimentadas, no siguen ni aproximadamente la Ley de Hooke. Mediante sencillos ensayos podemos poner en evidencia una serie de fenómenos que hasta hace poco no se habían tenido en cuenta.

Tomemos un hilo de rayón desprovisto de torsión. En este estado podemos asimilarlo a un conjunto de probetas cilíndricas constituidas por cada uno de los filamentos.

Si sometemos dicho hilo a la acción de un peso (tensión constante), podemos observar lo siguiente:

1º) El hilo sufre instantáneamente un alargamiento que denominaremos "alargamiento elástico inmediato" (a.e.i.).

2º) Si la acción del peso persiste, notaremos que el hilo continúa alargándose durante cierto tiempo, cada vez con mayor lentitud, hasta alcanzar un estado de equilibrio. Denominaremos este nuevo incremento de alargamiento "alargamiento diferido" (a.d.).

3º) Al suprimir la tensión observaremos un encogimiento instantáneo, que será la "recuperación elástica inmediata" (r.

e.i.).

4º) Durante cierto tiempo continúa, cada vez con mayor lentitud, la recuperación del alargamiento sufrido, hasta alcanzar una longitud que puede ser mayor que la inicial. Es decir: no siempre se recuperan por completo las dimensiones primitivas. Denominaremos a esta contracción "recuperación elástica diferida" (r.e.d.), y al alargamiento remanente "alargamiento permanente" (a.p.).

Por analogía con la recuperación, el alargamiento diferido lo podemos subdividir en "elástico diferido" y "permanente".

Cuando no existe alargamiento permanente, pero si alargamiento diferido, diremos que la substancia tiene elasticidad completa, aunque no perfecta.

La extraordinaria importancia práctica que atribuimos a estos fenómenos, así como el hecho de no estar bien esclarecidas sus leyes en ninguna de las obras consultadas, nos ha inducido a efectuar una serie de ensayos sistemáticos a fin de concretar las relaciones que existen entre el factor tiempo y los factores tensión, alargamiento, carga de rotura, etc.

Gráfico tiempo-alargamiento a tensión constante.- Distintas tensiones

Método operatorio

El método operatorio y el aparato empleados, son muy sencillos. Consta este último (fig. 1) de un armazón vertical con una pinza sujeta-hilos fija en la parte superior. En la parte inferior hay una segunda pinza fijada a una palanca horizontal cuya misión es evitar oscilaciones pendulares del hilo con su peso. Debajo mismo de la pinza móvil hay el platillo destinado a contener las pesas. La palanca horizontal tiene una longitud suficiente para que los arcos descritos por sus extremos sean asimilables a rectas sin error sensible. En el lado opuesto a la pinza hay unos contrapesos graduables para equilibrar el peso de aquella y el del platillo, y además, un índice que recorre una escala graduada directamente en tantos por ciento de la longitud de prueba. El aparato debe ser empleado en conjunción con un buen cronómetro, y el ensayo ha de ser llevado a cabo por dos operadores, uno que efectúa las lecturas, y otro que las anota. También podría emplearse un mecanismo registrador.

El resultado fué el gráfico que damos a continuación. (fig. 2). Cada punto de las curvas es la media de los resultados de cinco ensayos en las mismas condiciones. No es necesario efec-

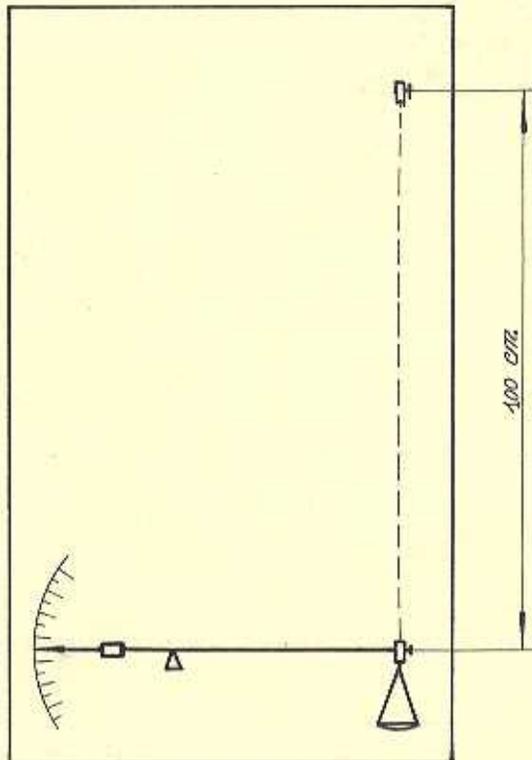


Figura: 1

Gráfico tiempo-alargamientos a peso constante

Distintas cargas

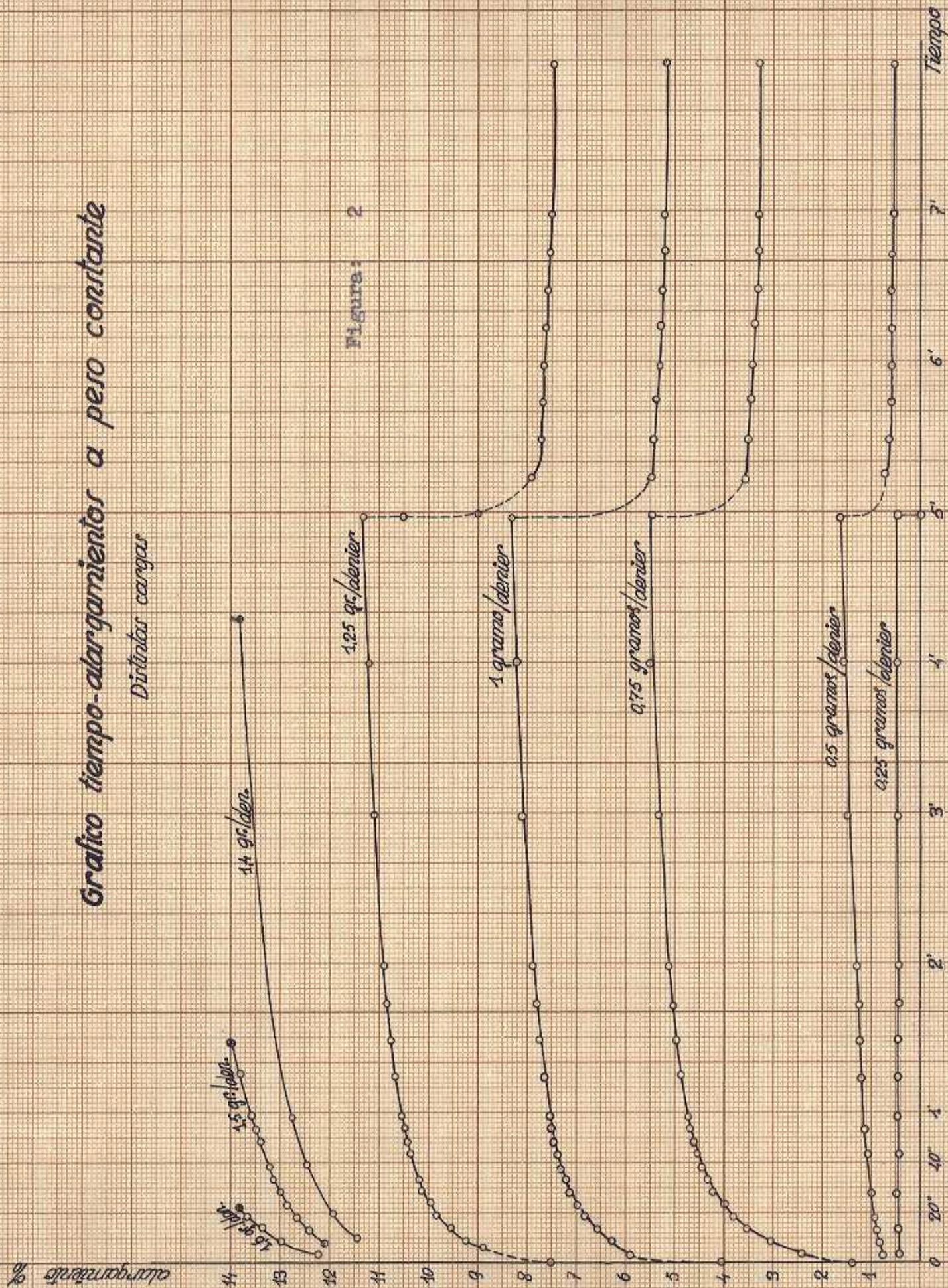


Figure: 2

tuar un número de ensayos mayor a fin de obtener un promedio más exacto, ya que la regularidad de los resultados es verdaderamente notable. Las máximas desviaciones halladas sobre el promedio son:

Para el valor correspondiente a 5" :	0,13 % de l
" " " " " 10" :	0,10 % " "
" " " " " 15" :	0,09 % " "

siendo l la longitud de prueba.

Para tiempos superiores, los resultados son exactamente iguales para las cinco mediciones. Si hubiéramos empleado mecanismo registrador, las cinco líneas se hubieran confundido en una sola en casi toda su extensión.

Los alargamientos correspondientes a tiempos T inferiores a 5" no se pueden medir prácticamente con este aparato debido al tirón que produciría el peso al descender bruscamente una longitud igual al alargamiento elástico inmediato. Para poderlos medir se necesitaría un sistema tensor desprovisto de inercia.

La descarga se ha efectuado en todos los casos a los 5'. Todos los ensayos se han efectuado a 20° C y 65 % de HR. La longitud de prueba en todos los casos ha sido de 100 cm.

Observación de los resultados y consecuencias

Para tensiones $\sigma < 0,25$ gr/den. no existe alargamiento

diferido ni permanente, y es digna de ser estudiada la posibilidad de establecer un módulo de elasticidad constante para esta zona, así como la determinación exacta del límite de proporcionalidad, si es que éste existe. (Ley de Hooke)

Para las cargas comprendidas entre 0,30 y 1,25 gr/den. observamos una deformación elástica inmediata difícil de precisar y un alargamiento diferido. Al parecer, el alargamiento total, se acerca asintóticamente a un valor determinado para cada carga. Para comprobar este extremo sería necesario efectuar una serie sistemática de ensayos de larga duración. En todo caso, es evidente que para medir la deformación total, toda lectura efectuada en un lapso de tiempo inferior a un minuto acarrea errores considerables. Es mejor emplear tiempos superiores.

Es verdaderamente notable la equidistancia de las curvas correspondientes a 0,75, 1 y 1,25 gr/den. Las ordenadas de la curva de 1 gr/den. son exactamente las mismas que las de la curva de 0,75 gr/den. aumentadas en un 2,8 % de 1, y las correspondientes a 1,25 gr/den., aumentadas en 5,8 % de 1 para la zona de alargamientos, y de 1,9 % y 4,2 % respectivamente para la zona de recuperación. Es este otro tema susceptible de estudio.

Las tensiones superiores a 1,25 gr/den. ocasionan en un tiempo más o menos largo, la rotura. Hay que hacer resaltar el carácter diferido de la misma y las distintas cargas que pueden

ocasionarla. Una tensión de 1,6 gr/den. no la produce inmediatamente, sino al cabo de 24", siendo el alargamiento en aquel momento de 13,8 %. Parece que cargas inferiores no deberían provocarla, pero no es así. Una carga de 1,4 gr/den. es sostenida de momento por el hilo, el cual va extendiéndose lentamente, hasta que al cabo de 4'20" alcanza un alargamiento de 13,8 % y sobreviene igualmente la rotura. Por tanto, si bien la carga de rotura no tiene un valor determinado, en cambio, el alargamiento a la rotura a tensión constante parece constante.

Carácter de las curvas

A la vista del gráfico fig. 1, cabe preguntarse si las curvas tiempo-alargamiento a tensión constante son asintóticas, es decir, si el alargamiento tiende hacia un valor límite máximo, o bien si continúa aumentando indefinidamente con el tiempo. Para comprobarlo, hemos efectuado dos ensayos de larga duración, cuyos resultados indicamos en la siguiente tabla:

Alargamiento en %		
Tiempo	Tensiones	
	0,5 gr/den.	1,10 gr/den.
10 segundos	0,95	7,80
60 "	1,15	9,25
2 minutos	1,35	9,60
5 "	1,60	10,00
10 "	1,70	10,30
30 "	1,75	10,75
60 "	1,80	10,95
24 horas	1,85	12,30
2 días	1,90	12,40
3 "	1,90	12,50
4 "	1,90	13,10
5 "	1,90	13,50
6 "	1,90	Rotura

Comentarios

Para tensiones medianas las curvas tienden a un valor lími-

te que se alcanza en un tiempo más o menos largo. En el caso de 0,5 gr/denier no se ha alcanzado hasta los dos días. En cambio, para cargas más elevadas, no parece posible alcanzar una deformación total absoluta, pues antes sobreviene la rotura. En el ejemplo reseñado, bajo una tensión de 1,10 gr/den., hacia el tercer día parecía que la curva se acercaba a un valor límite, pero después el alargamiento volvió a incrementarse hasta la rotura que ocurrió entre el 5º y el 6º día.

Por tanto, para cargas pequeñas y medianas puede aceptarse que existe un valor límite para la deformación. Para cargas mayores de 1 gr/denier, la rotura sobreviene antes de alcanzar ningún valor límite.

Es digno de notarse que en este ensayo de larga duración, el alargamiento en la última medición antes de la rotura tiene el valor de 13,5 %, casi igual al hallado para la rotura en ensayos de corta duración. Al parecer existe una constancia en el alargamiento a la rotura bajo carga constante, tal como ya hemos indicado.

Medición y valor del alargamiento permanente

Para obtener el valor absoluto del alargamiento permanente se procede como sigue: primero, se somete el hilo, que se ensa-

ya a la acción de la carga durante el tiempo necesario para que en el intervalo de 1' no se note ningún alargamiento. Después se descarga, dejando solamente una ligerísima tracción del orden de 0,03 a 0,05 gramos por denier cuyo objeto es mantener el hilo extendido, y se mantiene así el tiempo necesario para obtener que en un intervalo de un minuto no se note ulterior contracción. En este momento puede efectuarse la lectura.

Según lo indicado en el párrafo anterior, esto no es totalmente exacto, ya que hemos visto que los hilos de rayón sometidos a tensión se van alargando durante dilatados períodos de tiempo. Sin embargo, con el método indicado se obtiene una aproximación suficiente para el tipo de investigación que nos interesa.

De la observación del gráfico fig. 2 surge la duda de si el alargamiento permanente es inmediato o diferido. Para indagarlo hemos efectuado otra serie de ensayos tiempo-alargamiento a la tensión constante de 1 gr/den., cuyos resultados resumimos en el gráfico fig. 3. Se ha seguido un procedimiento operatorio análogo al del gráfico fig. 2.

Gráfico tiempo-alargamiento a tensión constante.- Distintas duraciones de carga

A la vista de este gráfico resulta evidente que los alar-

Gráfico tiempo-alargamiento a peso constante

Diferentes tiempos

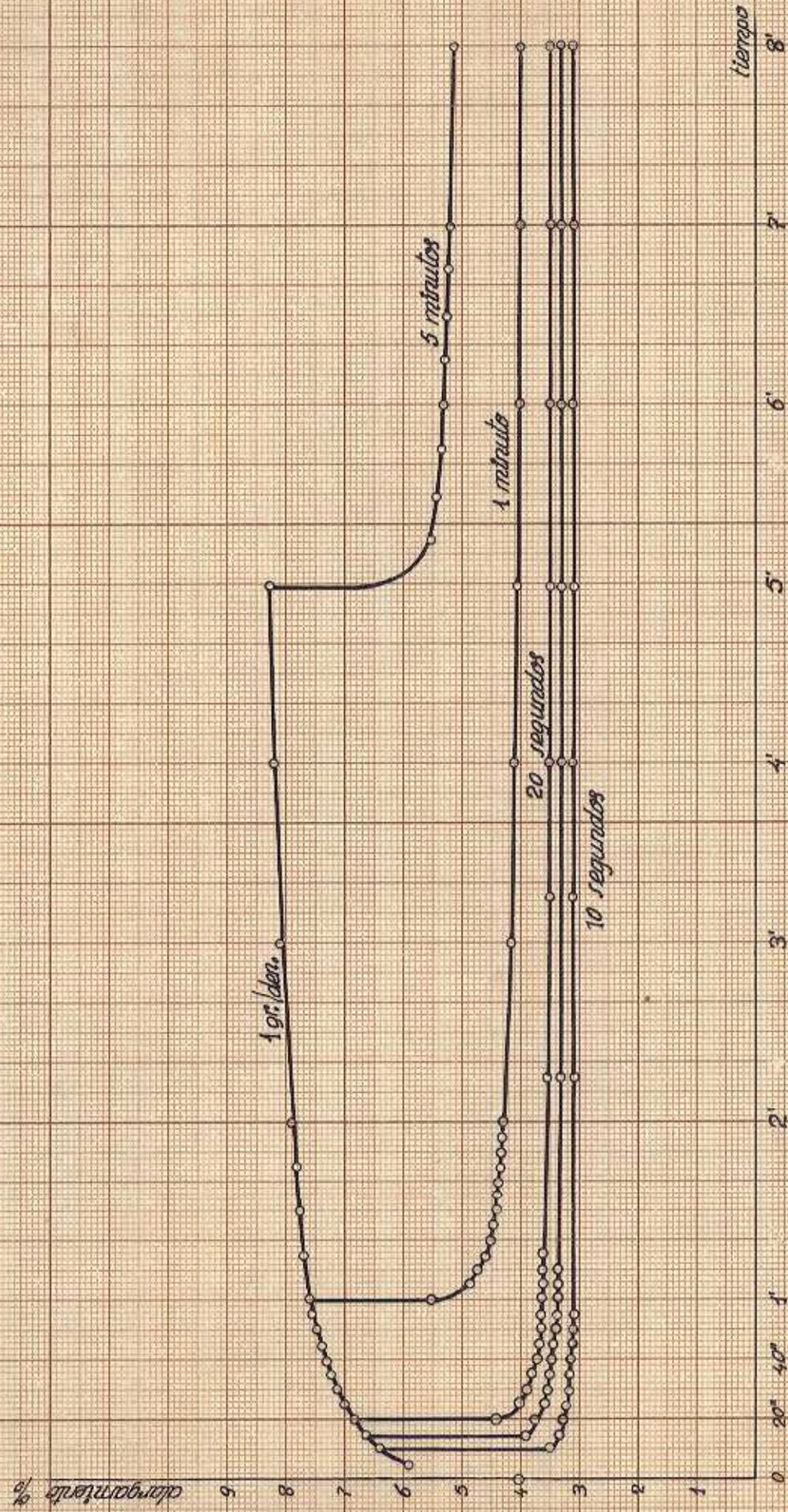


Figura: 3

gamientos permanentes aumentan con la duración de la carga. Por tanto podemos afirmar que, por lo menos en parte, son diferidos. Sin embargo notamos que para una duración de carga de sólo 10" ya hemos obtenido un alargamiento de 3,1 %, bastante notable, lo cual nos obliga a preguntarnos si parte de este alargamiento se produce instantáneamente.

Ni los dinamómetros corrientes ni la técnica operatoria seguida permiten ensayos de muy corta duración (inferiores a 1'), por lo cual no podemos efectuar dicha comprobación. Para ello se debería emplear otras técnicas de las cuales hablaremos más adelante.