

JORGE RIBA ARDERIU
Ingeniero de Industrias Textiles
MÉTODOS DE ENSAYO DE LAS FIBRAS ARTIFICIALES
Junio 1949

PRÓLOGO

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 so-

medidas 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.

Barrido 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 GRÁFICOS **TENSIÓN-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 estos 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? ¿Cuáles 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 Blanxart (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 Berthaud), al detener el movimiento de la pinza inferior en un punto 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 primeras 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, entendiendo 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:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

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 $\sigma_{b \text{ den.}}$ 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 pro betas 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 exista 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.

Gráficos 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 efectuar 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

Para el valor correspondiente a 10": 0,10 % de l

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

siendo l la longitud de prueba.

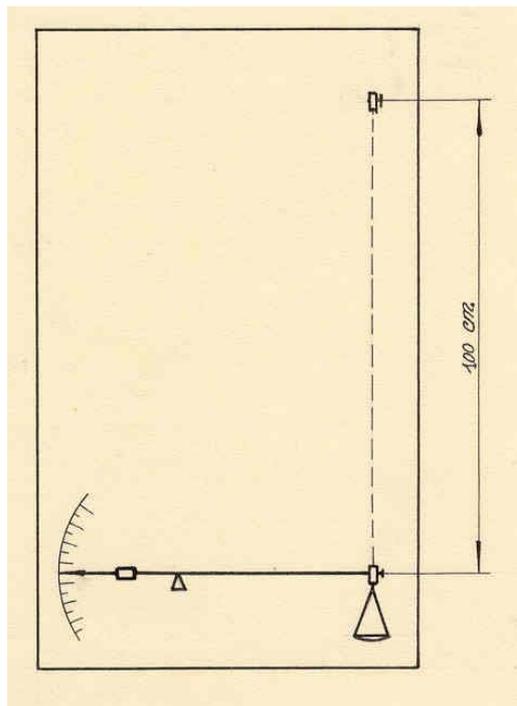


Figura 1

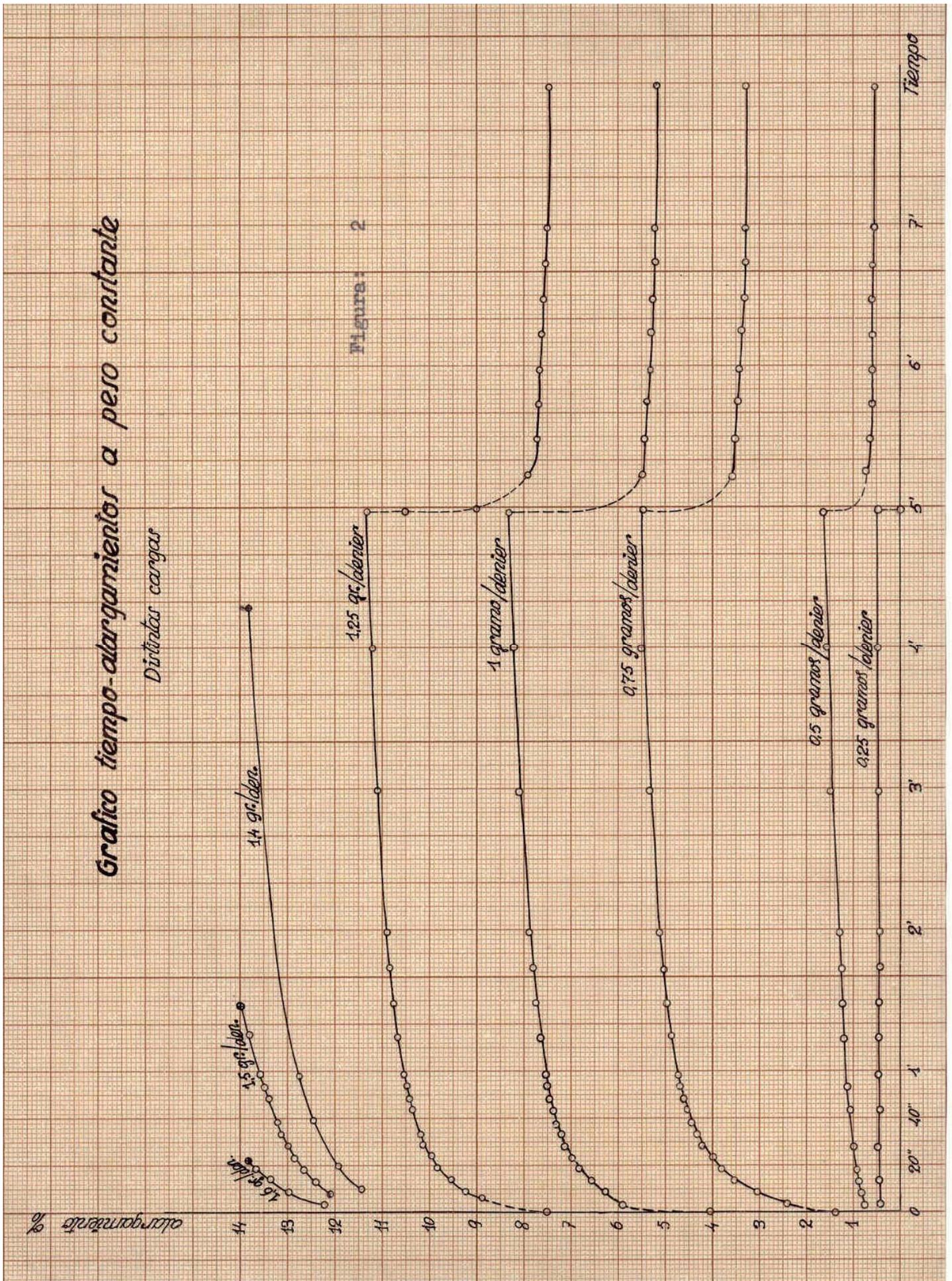
Para tiempos superiores, los resultados son exactamente iguales para las cinco mediciones. Si hubiéramos empleado mecanismo registrador, las cinco líneas se hubieran confundido en una sola en casi toda su extensión.

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 la misma 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:

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

Comentarios

Para tensiones medianas las curvas tienden a un valor límite 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 ensaya 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 periodos 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 alargamientos 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 deberían emplear otras técnicas de las cuales hablaremos más adelante.

DIFERENTES CRITERIOS DE ENSAYO DE LAS CARACTERISTICAS TENSION-ALARGAMIENTO DE LOS HILOS

Si queremos obtener los valores absolutos de los alargamientos y tensiones, por ser funciones asintóticas del tiempo, tenemos que dejar transcurrir un tiempo teóricamente infinito, y en la práctica bastante considerable, con velocidades de descenso de la pinza próximas a cero. La medición sería entonces estática, como la que se efectúa en una balanza de platillos en el momento de alcanzar el fiel su posición de equilibrio.

Sin embargo, en la práctica industrial e incluso en los laboratorios, esto resulta imposible debido a que los ensayos se harían interminables. Usualmente se opera a velocidades bastante altas, con lo que, principalmente en los dinamómetros registradores, los valores y curvas obtenidos representan unos valores instantáneos cualesquiera de la tensión y del alargamiento. Basta dar una ojeada a la figura 2 para percatarse de que a cada valor de la tensión pueden corresponder una infinidad de valores del alargamiento y viceversa, pues la relación entre ambas magnitudes depende del tiempo T transcurrido durante el ensayo según una función compleja y desconocida en los métodos usuales de ensayo dinamométrico.

De las tres magnitudes que intervienen en el ensayo (la tensión unitaria σ , el alargamiento unitario ε y el tiempo T) la relación entre las dos primeras, depende de las características tensión-alargamiento del hilo que se ensaya y por tanto no dependen del dinamómetro. Estas características son precisamente las que se pretende investigar.

Por tanto, para que los ensayos dinamométricos sean reproducibles sólo existen dos procedimientos de ensayo susceptibles de ser empleados con éxito:

$$\sigma = f(T) \quad \text{o bien} \quad \varepsilon = f'(T)$$

De todas las funciones posibles, las más fáciles de conseguir y reproducir en los dinamómetros y al propio tiempo las más sencillas, son:

$$d\sigma = k \cdot dT \quad \text{o bien} \quad d\varepsilon = k' \cdot dT$$

que pueden expresarse respectivamente en la siguiente forma:

$$\frac{d\sigma}{dT} = k \quad (\text{gradiente de tensión constante})$$

$$\frac{d\varepsilon}{dT} = k' \quad (\text{gradiente de alargamiento constante})$$

El primero es un método muy racional y aplicable a toda clase de fibras. Es insustituible para las de módulo de elasticidad elevado. Se utiliza mucho en Norteamérica para ensayos industriales.

El segundo puede efectuarse en aparatos más simples, siendo adoptado en muchos laboratorios de investigación (8). Siguiendo este método, sin embargo, no entra en consideración el concepto de "alargamiento diferido", y en cambio aparece el de "pérdida diferida de tensión" a longitud constante, del cual hablaremos en el momento oportuno.

DINAMOMETROS DE PÉNDULO

No vamos a describir aquí los órganos ni el mecanismo de los dinamómetros de péndulo, que son sobradamente conocidos, sino a discutir su funcionamiento. Como hemos podido comprobar por el estudio anterior, el tiempo empleado en efectuar un ensayo influye considerablemente en el resultado del mismo.

LEY DE CARGA DE LOS DINAMÓMETROS DE PÉNDULO

Veamos en un dinamómetro de péndulo usual, cual es su ley de carga y si ésta se acerca a uno de los dos criterios de ensayo indicados más arriba. Supondremos que la pinza superior va sujeta a una cadena que a su vez se enrolla en la periferia de un tambor cilíndrico de radio r . (ver figuras 4 y 5). Esta es la disposición más corriente (dinamómetros Manich, Schopper, etc.).

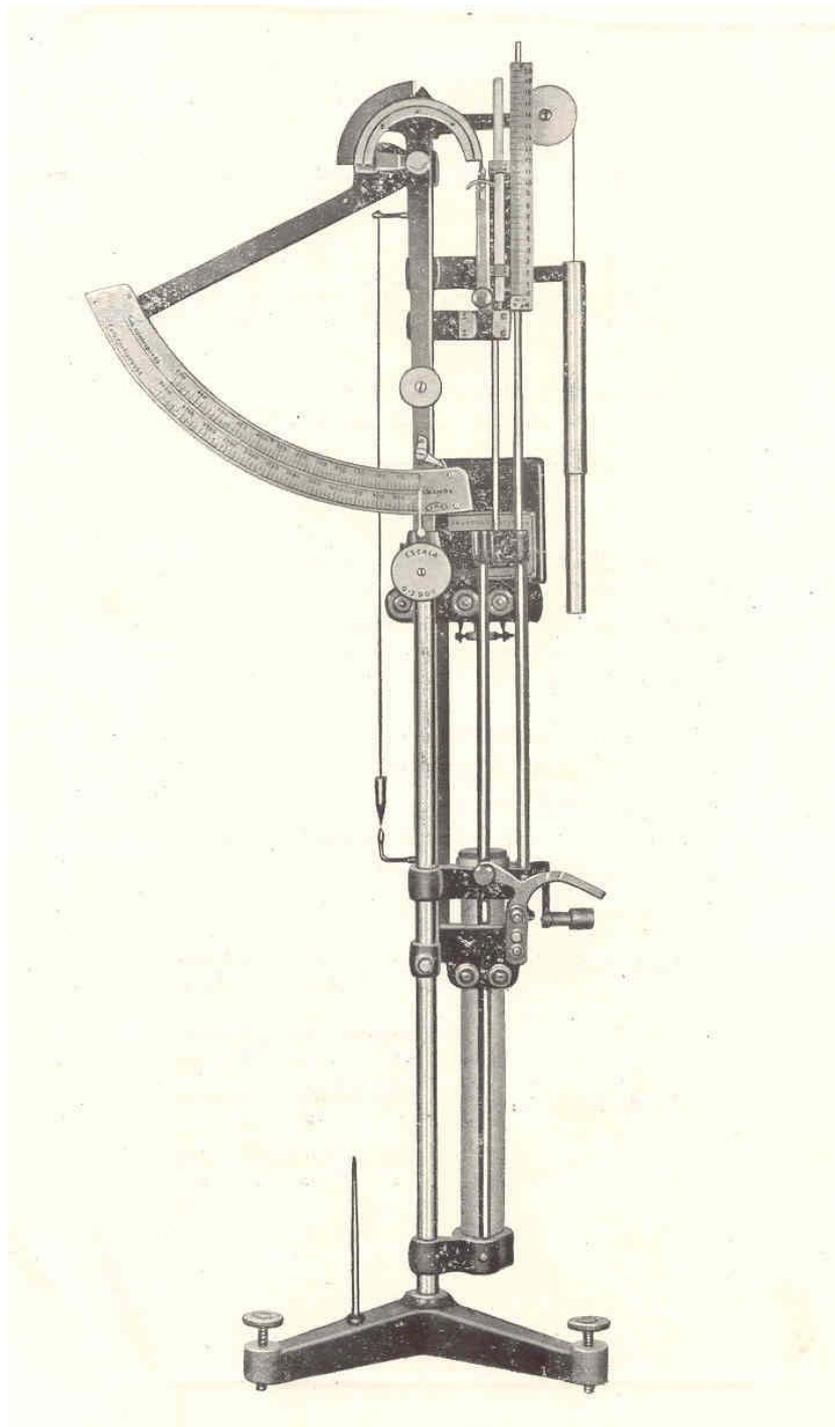


Figura: 4

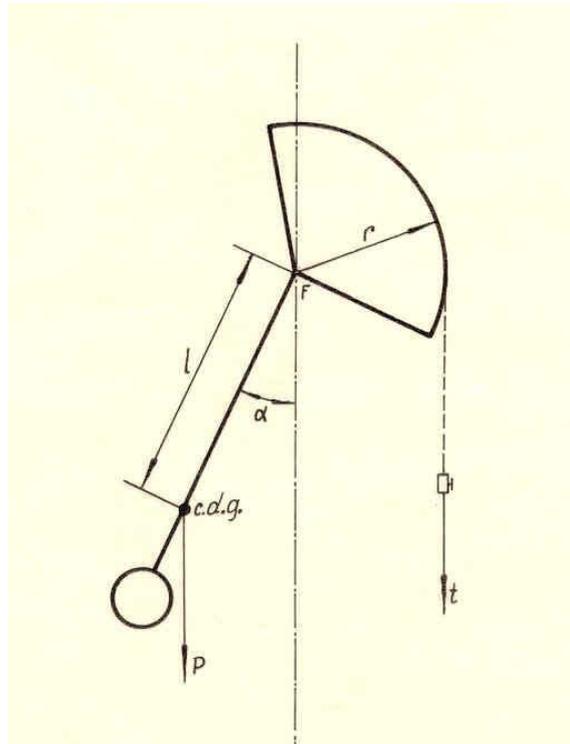


Figura: 5

Si establecemos la ecuación de equilibrio para una tensión t cualquiera, tenemos:

$$P \cdot l \cdot \sin \alpha = t \cdot r$$

(siendo P = peso del péndulo; l = distancia de su c.d.g. al eje de giro; α = ángulo descrito; r = radio del tambor donde se enrolla la cadena; d = camino recorrido por la pinza superior a partir de la carga $\sigma = Ogr$)

de donde:
$$t = \frac{P \cdot l}{r} \cdot \sin \alpha$$

pero como:
$$d = \alpha \cdot r; \quad \alpha = \frac{d}{r}$$

resulta:
$$t = \frac{P \cdot l}{r} \cdot \sin \frac{d}{r}$$

o sea que la tensión adquirida por el hilo es proporcional al seno de d/r . Sólo para valores muy pequeños de d/r podremos considerar t una función lineal de d . Generalmente los constructores para disminuir dicho defecto utilizan cuadrantes que abarcan arcos no muy extensos (unos 45° como máximo). Sin embargo puede corregirse por completo enrollando la cadena en un tambor no cilíndrico, de modo que resulte:

$$t = K \cdot d$$

como en el dinamómetro Guggenheim (7). En este caso, si la pinza superior desciende a velocidad constante v , obtendremos un gradiente de tensión constante, por ser: $d = v \cdot t$

Desgraciadamente la pinza animada de una velocidad constante V es la inferior, mientras que la superior se desplaza a una velocidad $v < V$:

$$v = V - \frac{d \cdot l}{d \cdot T}$$

Como el valor d es precisamente el que estamos buscando, resulta imposible conocer a priori la velocidad v de la pinza superior y por ende la ley de carga a que sometemos el hilo.

Veamos un ejemplo aproximado de lo que ocurre en un dinamómetro de péndulo corriente.

Ensayamos un hilo de rayón 100/40 den., que acusa una carga de rotura de 170 gr y un alargamiento a la rotura de 14 %. Utilizaremos la escala O - 600 gr, y la velocidad de la pinza inferior constante de 500 mm/min = 8,33 mm/seg recomendada por el constructor. La longitud de prueba es de 500 mm.

Para que el dinamómetro llegue a marcar 170 gr, la pinza superior debe descender 12 mm, que hacen necesario un descenso equivalente de la pinza inferior. Además, el hilo se alarga un 14 %, lo cual requiere 70 mm más de descenso de la pinza inferior para la longitud de prueba empleada. Los tiempos empleados por la pinza inferior para descender las alturas indicadas, son:

Tiempo empleado para poner el dinamómetro en tensión:	1,40 seg.
Tiempo empleado para compensar el alargamiento:	<u>8,40 seg.</u>
Tiempo total	9,80 seg.

Consecuencias

a).- Es mucho mayor el tiempo empleado para compensar el alargamiento del hilo, que para ponerlo en tensión, por lo cual no nos acercamos, ni siquiera de un modo aproximado a la ley de carga del dinamómetro.

b).- Las condiciones de ensayo se aproximan mucho más a las de gradiente de alargamiento constante, que a las de gradiente de tensión constante, sin ser exactamente ni las unas ni las otras.

Influencia de la longitud de prueba

Es sabido que al efectuar un ensayo dinamométrico, a mayor longitud de prueba, menor resistencia. El profesor Blanxart (2) lo atribuye a que a mayor longitud de prueba, mayor probabilidad de que existan puntos flacos, opinión que es compartida por la mayor parte de autores.

Sin embargo queremos hacer notar que existe otra causa bien patente a la luz de los hechos que hemos expuesto. Supongamos que ensayamos un hilo de rayón 100/40 den. con una longitud de prueba 10 veces menor que la normal, o sea 50 mm, en el mismo dinamómetro, con la misma velocidad de pinza y en la misma escala que en el ejemplo anterior. Suponiendo que el alargamiento a la rotura sea igualmente de un 14 %, el alargamiento absoluto será únicamente de 7 mm. Los tiempos necesarios serán:

Tiempo empleado para poner el dinamómetro en tensión:	1,40 seg.
Tiempo empleado para compensar el alargamiento:	<u>0,84 seg.</u>
Tiempo total	2,24 seg.

O sea que el tiempo total no llega a ser la cuarta parte del anterior. Como hemos visto anteriormente (fig.2), los ensayos más rápidos acusan resistencias superiores.

Puede decirse, en líneas generales, que cuando se utiliza una gran longitud de prueba, las condiciones se aproximan mucho a las de gradiente de alargamiento constante, mientras que utilizando una longitud muy reducida, las condiciones de ensayo se

acercan a las de gradiente de tensión constante (suponiendo que el dinamómetro tiene una ley de carga rectilínea).

Ambos procedimientos tienen sus inconvenientes. El primero, exige grandes dimensiones del aparato y elevadas velocidades de pinza para conseguir valores de $d\epsilon/dT$ aceptables.

El segundo ofrece dificultades para la medición del alargamiento, ya que el valor absoluto de éste es pequeñísimo. La velocidad de la pinza debería estar de acuerdo con el título.

Influencia del título

Si en el mismo dinamómetro y en las mismas condiciones del primer ejemplo ensayamos un hilo 300 den., los tiempos empleados serán:

Tiempo empleado para poner el dinamómetro en tensión:	4,20 seg.
Tiempo empleado para compensar el alargamiento:	<u>8,40 seg.</u>
Tiempo total	12,60 seg.

O sea un tiempo mayor. Por tanto la resistencia hallada será menor, tal como confirma la práctica.

Influencia del tipo de dinamómetro

Si en vez de utilizar la escala O - 600 gr, utilizamos la escala O - 3000 gr, lo cual se obtiene aumentando P, ó l, ó ambas a la vez, el tiempo empleado para poner el dinamómetro en tensión será aproximadamente cinco veces menor. Por tanto la resistencia acusada será mayor que en el caso anterior.

El mismo fenómeno ocurre al efectuar ensayos en dinamómetros de distinta construcción, ya que en general P, l y r no son iguales en los distintos aparatos. Es nuestra opinión que estas tres dimensiones deberían ser normalizadas en los dinamómetros de péndulo usuales.

UTILIZACION DE LOS DINAMÓMETROS DE PENDULO PARA LA OBTENCIÓN DEL DIAGRAMA TENSIÓN-ALARGAMIENTO

Debemos hacer notar que los tiempos totales empleados en los ensayos anteriores (12,6 seg. como máximo), entran de lleno en la zona de variaciones rápidas del alargamiento (ver fig. 2). Sería mucho más racional disminuir la velocidad de la pinza de modo que la duración total del ensayo fuera de 1 a 2 minutos, zona en que tanto los alargamientos como las cargas rotura varían poco con el tiempo.

Además, empleando grandes longitudes de prueba, el tiempo necesario para poner el hilo en tensión sería muy pequeño comparado con el empleado para compensar su alargamiento, con lo cual las condiciones de ensayo se aproximarían casi sin error las de gradiente de alargamiento constante, y las condiciones de ensayo en dinamómetros de distinta construcción sólo dependerían de la velocidad de la pinza inferior. De este modo en ensayos industriales podría compensarse la pérdida de tiempo ocasionada por la mayor duración de cada ensayo, con el menor número de los que serían necesarios para obtener promedios aceptables.

Quizás sorprenderá que expresemos este criterio tan opuesto al del BISFA. Intentaremos justificarlo.

Del examen del gráfico fig. 2 se desprende que la carga de rotura depende de la duración del ensayo. Para ensayos de corta duración, la resistencia a la rotura es mucho mayor. Sin embargo dicho valor no aumenta indefinidamente con la velocidad del ensayo, sino que tiende asintóticamente a un valor fijo y determinado que podríamos denominar "carga de rotura superior" σ_s .

Del mismo modo la carga de rotura no disminuye indefinidamente al aumentar la duración del ensayo, sino que tiende a otro límite que por analogía podríamos llamar "carga de rotura inferior" σ_i .

Para ilustrar lo expuesto reproducimos dos gráficos debidos a Leblanc y Laborde (6), en los cuales podemos ver (fig. 6) que para obtener σ_s son perfectamente aprovechables los valores obtenidos con velocidades de la pinza superiores a 4,5 mm/seg = 270 mm/min, y para obtener σ_i con una duración mínima del ensayo de 200 segundos.

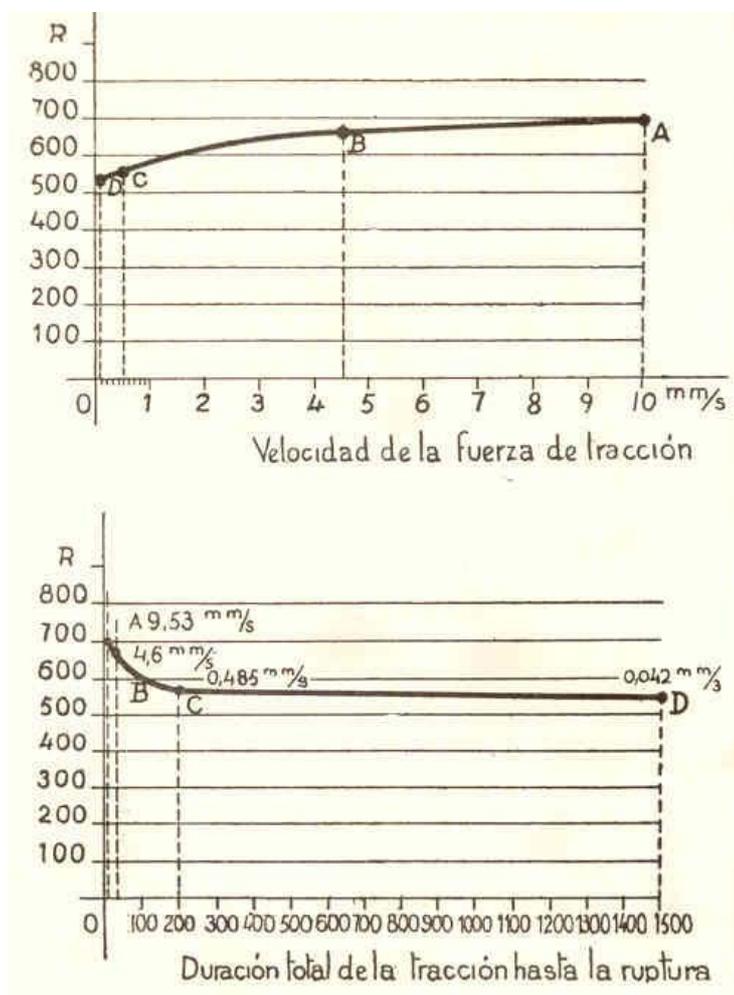


Figura: 6

Por tanto las reglas del BISFA visan a obtener σ_s . Es evidente que la aplicación de dicho valor tiene mayores ventajas que el σ_i en el campo comercial, y que incluso este sistema de ensayo puede dar valores de la resistencia a la rotura bastante concordantes entre sí. Pero detengámonos un momento a reflexionar sobre los diagramas tensión-alargamiento que se obtendrían por ejemplo en un dinamómetro registrador siguiendo las reglas del BISFA.

Suponiendo que existiese un tipo ideal de dinamómetro registrador que permitiese alcanzar instantáneamente la carga de rotura, obtendríamos un gráfico tensión-alargamiento en que el alargamiento total a.t. sólo estaría constituido por el alargamiento elástico inmediato:

$$a. t. = a. e. i.$$

Por el contrario, en un dinamómetro registrador de tipo corriente, con una velocidad de descenso de la pinza infinitamente pequeña, obtendríamos una curva representativa del alargamiento total, compuesto del alargamiento elástico inmediato a.e.i., más el alargamiento elástico diferido a.e.d., más el alargamiento permanente a.p.:

$$a.t. = a.e.i. + a.e.d. + a.p.$$

Ensayando según las reglas del BISFA obtendríamos una curva situada en forma imprecisa entre las representativas del alargamiento elástico inmediato y del alargamiento total:

$$\text{curva BISFA} = a.e.i. + \text{parte del a.e.d.} + \text{parte del a.p.}$$

que no representa nada en concreto y que, además, por estar situada en la zona de la máxima variación de los alargamientos diferidos, acusaría diferencias notables entre los distintos ensayos debidas a ínfimas variaciones del tiempo empleado en los mismos.

Otro factor desfavorable que hay que tener en cuenta al utilizar estas elevadas velocidades de pinza es la considerable inercia de la parte móvil en el momento en que la pinza inferior inicia su descenso. Se puede comprobar en este tipo de ensayos a elevada velocidad, que al iniciar su descenso la pinza inferior el hilo recibe una sobretensión inicial debida a la inercia del péndulo. Este inicia su carrera ascendente acelerando rápidamente a causa de la sobretensión del hilo y sobrepasando la posición de equilibrio. Pero el hilo entonces se ha aflojado siendo su tensión insuficiente para continuar arrastrando el péndulo. Este retrocedería a no ser por los gatillos de retención que se lo impiden, quedando parado unos instantes. La pinza inferior continua entretanto descendiendo, lo que va aumentando nuevamente la tensión del hilo hasta que vuelve a ponerse en marcha el péndulo dando un segundo tirón más débil que el primero sin llegar a detenerse prosigue ascendiendo el péndulo dando sacudidas cada vez menos intensas hasta llegar a la rotura del hilo.

Estas condiciones de ensayo desde luego, distan mucho de ser las ideales, desde el punto de vista de su reproducibilidad.

Método operatorio

Para obtener los gráficos tensión-alargamiento hemos seguido el método recomendado por el profesor Blanxart (2), y que consiste en detener el dinamómetro en un punto determinado, anotar el alargamiento total obtenido (a.t.), descargar el dinamómetro hasta una carga próxima a cero gr anotando el alargamiento permanente (a.p.). Tendremos entonces:

$$a.t. - a.p. = a.e.i. + a.e.d. = a.e.$$

La separación de los alargamientos elástico inmediato y elástico diferido no puede efectuarse en los dinamómetros corrientes, debiéndose trabajar con su suma, o sea el alargamiento elástico a.e.

Observaciones

Para obtener el alargamiento total debemos operar tomando ciertas precauciones. Supongamos que detenemos el dinamómetro en la posición correspondiente a 1 gr/den. Si el péndulo queda retenido por gatillos, por más tiempo que transcurra no ocurrirá nada "visible". Sin embargo ocurre una pérdida de tensión en el hilo que puede ponerse de manifiesto de tres formas distintas. Una de ellas pulsando el hilo como si fuese una cuerda de guitarra. El sonido será cada vez más grave a medida que transcurra el tiempo. Otra consiste en poner en marcha, transcurrido algún tiempo, la pinza inferior. Notaremos que ésta descenderá un buen trecho antes de que la tensión del hilo vuelva a alcanzar el valor de 1 gr/den. y arrastre la pinza superior. Finalmente, si trabajamos sin los gatillos de retención, comprobaremos que el péndulo no queda inmóvil al parar el dinamómetro, sino que desciende, primero con rapidez y después con mayor lentitud cada vez, hasta inmovilizarse en una nueva posición de equilibrio correspondiente a una tensión menor que la alcanzada durante el ascenso.

La explicación es la siguiente: en general al alcanzar una tensión determinada t_1 el alargamiento elástico diferido no ha tenido tiempo de alcanzar el valor máximo correspondiente a dicha tensión t_1 . Al detener el dinamómetro, como el hilo está en tensión, continua aumentando el alargamiento diferido a.d. disminuyendo en igual valor el alargamiento elástico inmediato a.e.i. y por ende la tensión, hasta alcanzar un estado de equilibrio para una tensión inferior $t_2 < t_1$

$$(a.e.i.)_{t_1} + \text{parte } (a.d.)_{t_1} = (a.e.i.)_{t_2} + (a.d.)_{t_2}$$

Este fenómeno es lo que anteriormente hemos llamado "pérdida diferida de tensión" a longitud constante.

Por consiguiente, para obtener el alargamiento total lo mejor es levantar los gatillos de retención y evitar que el péndulo descienda, haciendo bajar cuidadosamente la pinza inferior, de modo que la aguja permanezca en la división indicadora de la tensión deseada a pesar del alargamiento del hilo. Finalmente conseguiremos que el dinamómetro se mantenga cierto tiempo (1 minuto por lo menos), en dicho punto sin alargamiento ulterior del hilo. En este momento podemos efectuar la lectura del alargamiento total.

Debemos hacer constar que en nuestros ensayos este alargamiento total ha coincidido con el obtenido en el gráfico fig. 2.

Para medir el alargamiento permanente debemos volver a $\sigma = 0$ gr, y esperar cierto tiempo, efectuando la lectura bajo una ligerísima tensión que tiene por objeto mantener el hilo sin ninguna ondulación. (Generalmente basta 0,03 a 0,05 gr/den.)

Hay que tomar precauciones similares a las indicadas anteriormente para asegurarse de que el alargamiento elástico diferido se ha recuperado por completo. Cuando la aguja del dinamómetro se mantenga inmóvil durante un minuto a 0,05 gr/den., podemos efectuar la lectura del alargamiento permanente.

Nota: todos los ensayos, excepto aquellos en que se indica lo contrario, han sido efectuados en una atmósfera normal a $20^\circ \text{C} \pm 2^\circ \text{C}$ y a una humedad relativa de $65\% \pm 2\%$.

Critica del método

Dado que no poseemos dinamómetros capaces de efectuar ensayos a gradiente de tensión constante o a gradiente de alargamiento constante, hemos tenido que emplear

un dinamómetro de péndulo corriente. A fin de obtener valores reproducibles, el método que hemos seguido se basa en dejar transcurrir el tiempo suficiente para que los alargamientos y contracciones de carácter diferido lleguen a alcanzar casi su valor máximo. Como que estos valores son asintóticos, cuando el tiempo transcurrido es suficientemente largo su variación con el tiempo es ínfima, por lo cual los valores obtenidos en diferentes ensayos son prácticamente iguales entre si. Puede afirmarse que nuestro método se basa en trabajar con los valores absolutos de todas las alteraciones de longitud de carácter diferido, mientras que los métodos a gradientes constantes de tensión o de alargamiento, trabajan con valores instantáneos de todas las magnitudes de carácter diferido, obtenidas, sin embargo en condiciones de ensayo perfectamente determinadas respecto al tiempo, y reproducibles.

Más adelante describiremos varios aparatos modernos que permiten efectuar las mediciones según los criterios de gradiente constante de tensión o de gradiente constante de alargamiento.

Gráfico tensión-alargamiento en seco

Damos a continuación un gráfico tensión-alargamiento obtenido por este método, cuyos valores coinciden con los que se pueden obtener del gráfico 2.

Lo más importante que se desprende de este gráfico es que hasta 0,4 gr/den. no se inician las deformaciones permanentes, lo cual justifica la regla de no sobrepasar nunca en la práctica industrial una tensión igual a 1/3 del título expresado en gramos, o sea 0,33 gr/den., suponiendo que se trabaja en una atmósfera normal de 20° C Y 65 % de H.R.

Más adelante veremos la utilidad de semejantes gráficos en el estudio de la influencia del estado higrométrico, para comparar distintas clases de hilo entre si, y para comprobar la mayor o menor rigidez comunicada a los hilos por los aprestos.

Nota; El concepto de "pérdida diferida de tensión" a longitud constante, que hemos definido, explica perfectamente la producción de barrados por trama en los telares después de un paro prolongado. En efecto, durante éste la urdimbre pierde tensión y al reanudarse el trabajo las primeras pasadas se insertan en una urdimbre poco tensa, y comunican un aspecto diferente a la superficie del tejido. A los pocos momentos, el enrollador de tejido llega a ponerlo en tensión, y seguidamente empiezan a trabajar los frenos del plegador de urdimbre con lo que el tejido recupera en lo sucesivo su aspecto normal.

Gráfico tensión-alargamiento en mojado

En el mismo (fig. 7) podemos observar varios hechos muy interesantes:

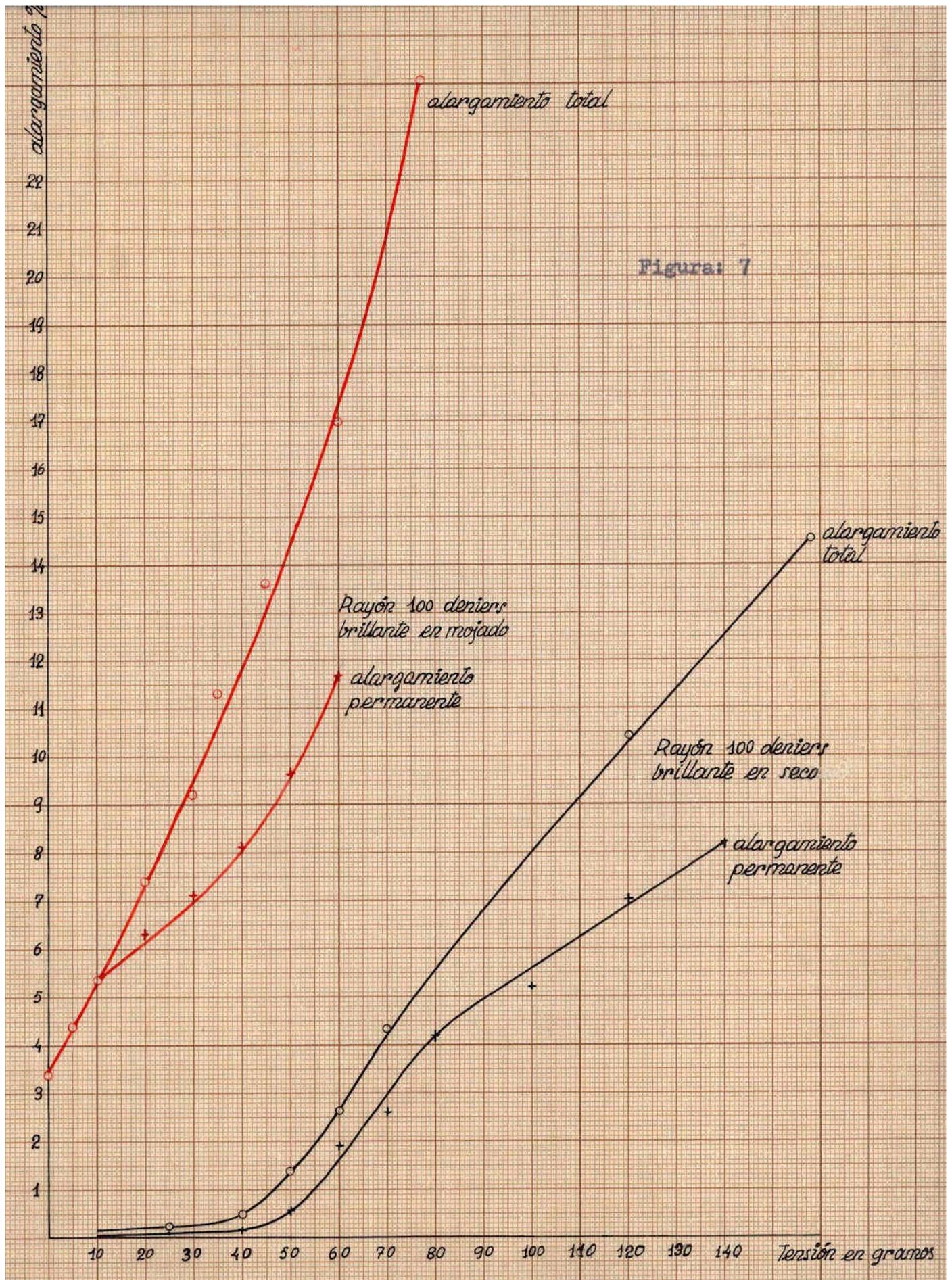
1°).- El hilo de rayón experimenta por simple mojado sin ninguna tensión, un alargamiento espontáneo del 3,5 %, que es originado por el hinchamiento del hilo.

Debemos hacer constar que los hilos torcidos experimentan, al contrario, una contracción cuya longitud depende del coeficiente de torsión.

2°).- Las menores tensiones producen ya alargamientos permanentes.

3°).- El valor absoluto de la elasticidad verdadera es mayor en mojado que en seco.

4°).- La carga de rotura disminuye en un 52 % de la correspondiente en seco, y el alargamiento aumenta en un 65 %.



DINAMÓMETROS ESPECIALES

Como hemos dicho, el tipo de dinamómetro de péndulo clásico, no cumple con exactitud ninguno de los criterios de ensayo que hemos considerado fundamentales, o sean el de gradiente de tensión constante, y el de gradiente de alargamiento constante.

Sin embargo modernamente se han construido dos tipos de dinamómetro que cumplen exactamente estas condiciones.

DINAMÓMETRO EXTENSÓMETRO

Ha sido construido por los laboratorios de investigación de la American Viscose Corporation (8).

Consta esencialmente de las siguientes partes (ver fig. 8).

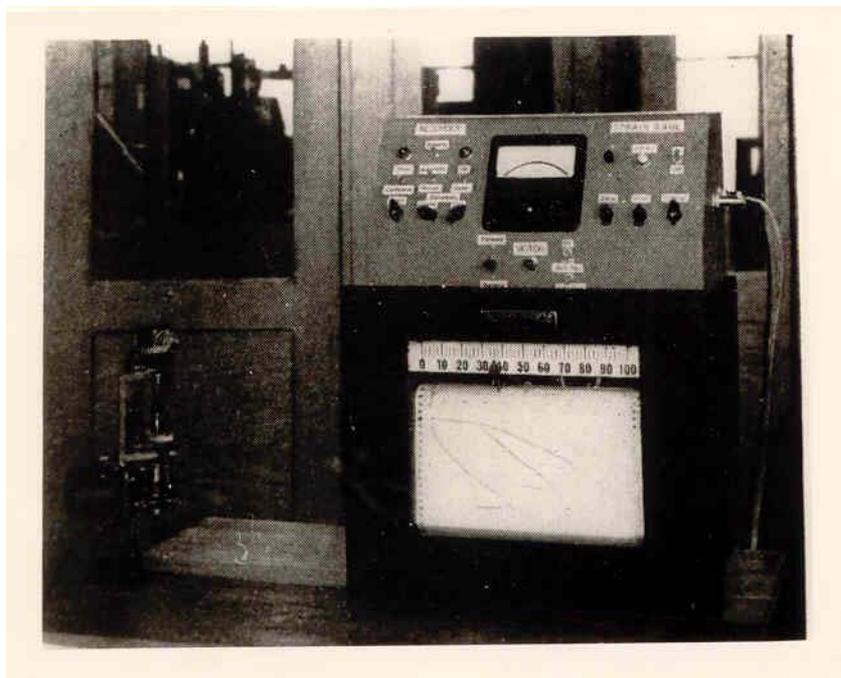


Figura: 8

1).- Un sistema extensor constituido por un motor eléctrico a velocidad constante, reductor con caja de cambio de velocidades, y tornillo que arrastra la pinza inferior. Para modificar el gradiente de alargamiento se pueden cambiar los piñones de la caja de cambio o bien variar la longitud de prueba 1.

2).- Un sistema medidor formado esencialmente por un indicador de tensión Statham. Este indicador es un aparato eléctrico que combina un desplazamiento mecánico extraordinariamente pequeño (inferior a 0,04 mm), con la producción de una diferencia de potencial elevada. Esta última es estrictamente proporcional a los esfuerzos recibidos, y puede ser medida directamente en el aparato registrador sin necesidad de amplificarla previamente.

El desplazamiento de la pinza superior, que es el mismo del indicador Statham tiene un valor que en el peor de los casos no alcanza una milésima de la longitud de prueba, o sea aproximadamente una centésima parte del recorrido de la pinza inferior (suponiendo un alargamiento a la rotura del 10 %).

Por tanto puede considerarse que las condiciones de ensayo en este tipo de dinamómetro cumplen casi a la perfección el criterio de ensayo a gradiente de alargamiento constante.

3).- Potenciómetro registrador electrónico con una capacidad de 0 - 10 mV. El circuito del mismo está establecido de forma que sea posible efectuar mediciones en escalas distintas actuando sobre los mandos correspondientes. El cero puede ser ajustado en cualquier punto de la escala.

El aparato permite realizar gráficos tensión-alargamiento sobre papel rayado normal.

4).- Sistemas automáticos para realizar ensayos en varias condiciones de carga y descarga consecutivas. Incluimos una fotografía de dicho aparato (fig. 8), en la cual aparece a la izquierda el sistema extensor con el medidor Statham, y a la derecha, en un mueble apropiado, toda la parte indicadora y registradora y el tablero de mandos.

La sensibilidad del aparato es muy notable y permite obtener gráficos tan interesantes como el de la fig. 9 en el que se puede apreciar con toda claridad, el punto en que se ha roto cada uno de los veinte filamentos que constituían el hilo (8). El gradiente de alargamiento en este ensayo fué de 8 %/minuto, que es el más usualmente empleado en ensayos de este tipo.

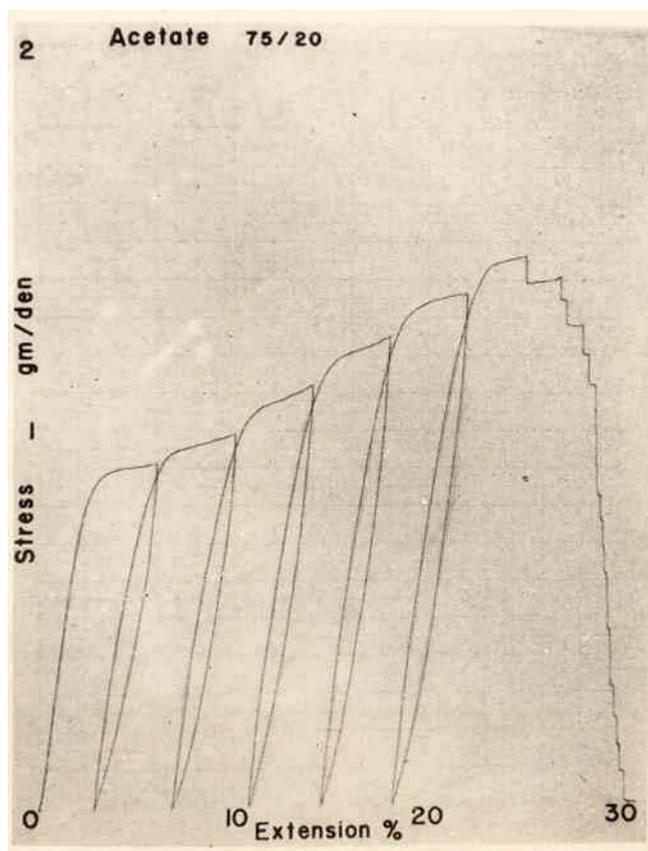


Figura: 9

La realización y el manejo son sencillos, y la aparente complicación de la parte registradora e indicadora es susceptible de extraordinaria simplificación en los aparatos destinados a ensayos industriales, reduciéndose a un simple milivoltímetro y a los mandos del motor.

DINAMÓMETROS DE PLANO INCLINADO

Este tipo de aparato permite realizar ensayos a gradiente de tensión constante. Consta esencialmente (fig. 10) de una columna en cuya parte superior se articulan uno o varios carriles rectos que pueden adoptar distintas inclinaciones respecto a la horizontal, materializando de esta forma el plano inclinado.

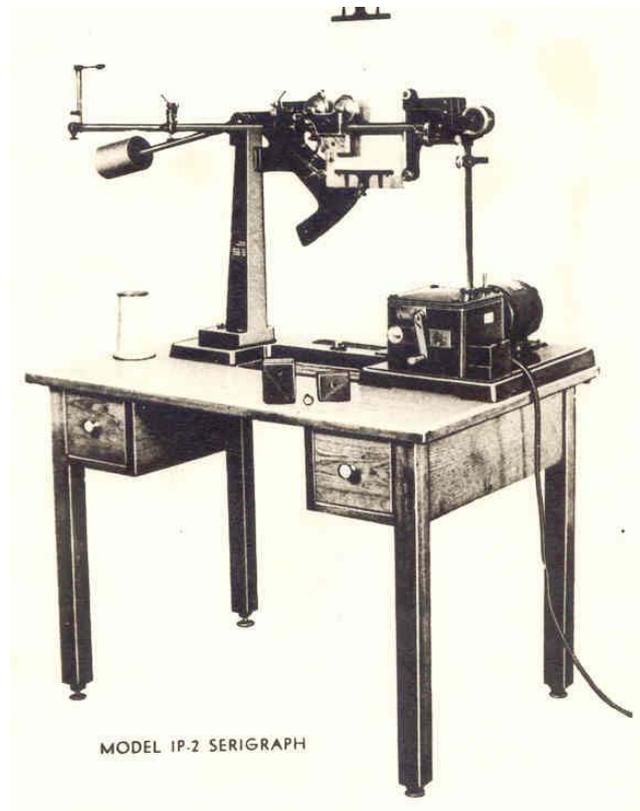


Figura: 10

Sobre estos carriles se desplaza en virtud de su propio peso un carro al que va unida la pinza móvil. Sobre este carro pueden cargarse diferentes pesos a fin de poder abarcar distintas gamas de tensiones. La segunda pinza es fija y está situada en el extremo superior del carril.

En el esquema adjunto tenemos (fig. 11):

$$t = P \cdot \text{sen } \alpha$$

$$d = L \cdot \text{sen } \alpha$$

Dividiendo ordenadamente tenemos, por tanto:

$$\frac{t}{d} = \frac{P}{L}; \quad t = \frac{P}{L} \cdot d$$

O sea que la tensión t es proporcional al desplazamiento vertical d del extremo del carril, por ser P (peso del carro) y L (distancia entre el eje de giro de los carriles y el extremo de los mismos donde actúa el mecanismo motor) constantes en cada ensayo. Como es muy fácil de realizar:

$$d = KT$$

mediante un motor eléctrico de velocidad constante y los mecanismos reductores apropiados, se obtiene:

$$t = K \cdot \frac{P}{L} \cdot T$$

pero dado que la tensión T vale

$$t = \sigma \cdot N$$

(siendo N el título en deniers) para un título de hilo determinado podemos escribir

$$\sigma \cdot N = K \cdot \frac{P}{L} \cdot T$$

$$\sigma = K \cdot \frac{P}{N \cdot L} \cdot T$$

$$d\sigma = K \cdot \frac{P}{N \cdot L} \cdot dT$$

$$\frac{d\sigma}{dT} = \frac{K \cdot P}{N \cdot L} = \text{constante}$$

(por ser K , P , N Y L constantes en cada ensayo).

Por tanto este dinamómetro ensaya según el criterio de gradiente de tensión constante.

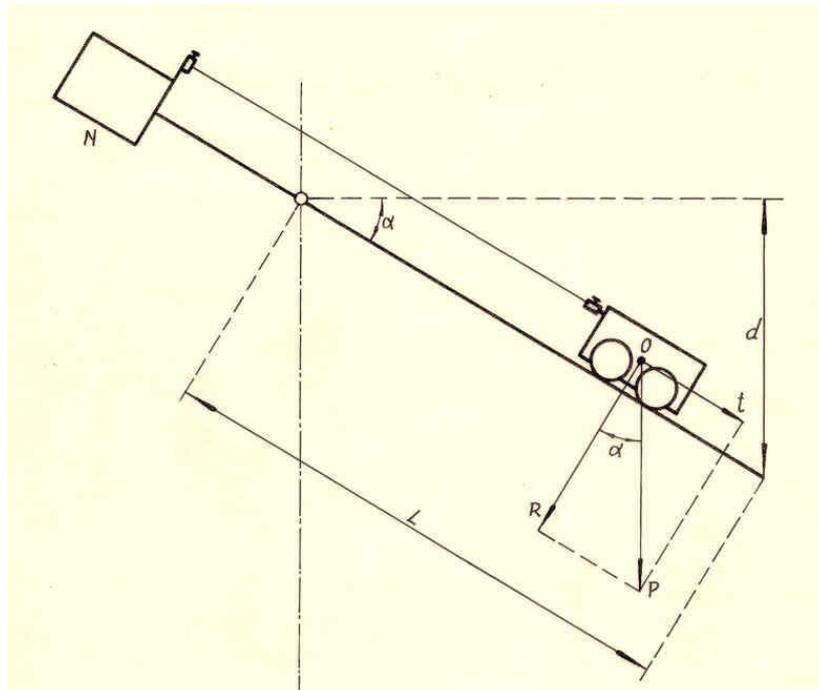


Figura: 11

Este aparato presenta las siguientes particularidades de funcionamiento:

- 1).- La tensión no se modifica en absoluto al producirse el alargamiento. El hilo puede alargarse libremente.
- 2).- Ofrece la posibilidad de efectuar ensayos a carga constante.
- 3).- Ofrece la posibilidad de reproducir exactamente las condiciones de carga para hilos de distinto título, para distinta longitud de prueba, y en distintos aparatos.

4).- Hace posible la medición de los alargamientos y las recuperaciones diferidas.

5).- Permite utilizar un mecanismo registrador sencillo.

Los inconvenientes de este aparato son que las resistencias pasivas del carro, proporcionales a la componente R, son máximas para las tensiones mínimas, y que el carro presenta una inercia bastante considerable que obliga a efectuar los ensayos con lentitud, no siendo siempre posible evitar que dicha inercia repercuta en los resultados obtenidos.

MEDICIÓN DEL ALARGAMIENTO ELÁSTICO INMEDIATO

El alargamiento elástico inmediato es la deformación producida en un cuerpo imperfectamente elástico, por una tensión que actúa durante un tiempo que tiende a cero, medida durante un lapso de tiempo que tiende también a cero. Estas condiciones son indispensables ya que de actuar la fuerza, o prolongarse la medición durante un tiempo apreciable, se iniciaría la enseguida el alargamiento elástico diferido que se superpondría al inmediato. El valor obtenido sería la suma de ambos.

Es evidente que ninguno de los tipos de dinamómetro indicados permite ni siquiera acercarse a estas condiciones. El dinamómetro de péndulo tiene un sistema medidor que opone gran inercia. El de plano inclinado adolece igualmente de la inercia del carro y los tres tipos están impulsados por mecanismos que además de oponer su propia inercia, necesitan cierto tiempo para actuar.

Para poder efectuar dicha medición se emplean medios acústicos.

Fórmulas y relaciones básicas.- Según la definición del módulo de elasticidad:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

Por tanto el alargamiento elástico inmediato sufrido bajo esfuerzo σ , en el supuesto que E sea constante será:

$$\text{a.e.i.} = \varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

Pero si E es variable, tendremos

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$$

$$d\varepsilon = \frac{1}{E} d\sigma$$

$$\text{a.e.i.} = \varepsilon = \int d\varepsilon = \int \frac{1}{E} d\sigma$$

Si podemos dibujar experimentalmente la curva $1/E = f(\sigma)$, podemos conocer el alargamiento ε , que será igual al área delimitada por el eje de abscisas, el eje de ordenadas, la curva representativa de la función y la ordenada en el punto correspondiente al valor de la tensión σ que interese.

Medición de E mediante fenómenos acústicos.- La Física nos enseña que la velocidad de propagación de una vibración longitudinal en un cuerpo prismático o cilíndrico, es:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\delta}}; \quad \text{de donde} \quad E = v^2 \cdot \delta$$

siendo δ la densidad del cuerpo. En esta fórmula desde luego, el módulo de elasticidad se expresa en gr/cm^2 . Pero como:

$$E = E_{\text{tex}} \delta, \quad \text{tendremos} \quad E = E_{\text{tex}} \cdot \delta = v^2 \cdot \delta$$

dividiendo ordenadamente por δ resulta:

$$E_{\text{tex}} = v^2$$

Técnica de la medición de v^2 . Aparato Ballou-Silverman.- Consta este aparato de las siguientes partes (4):

1º).- Un dinamómetro de tensión constante (plano inclinado o peso libre), que somete la muestra a la tensión de prueba.

2º).- Un oscilador de alta frecuencia (del orden de 10.000 ciclos/seg.) de frecuencia f variable.

3º).- Un cristal que transmite por contacto las vibraciones recibidas del oscilador, al hilo que se ensaya.

4º).- Un segundo cristal situado a la distancia d del primero que recibe las vibraciones emitidas por el primer cristal, transmitidas a lo largo de la longitud de hilo d a la velocidad v . La vibración recogida será de la misma frecuencia y longitud de onda λ que la emitida, pero estará desfasada en retraso debido al tiempo empleado para recorrer la distancia d .

5º).- Un amplificador.

6º).- Un oscilógrafo catódico que recibe superpuestas las vibraciones de ambos cristales y que según la figura proyectada en la pantalla del mismo, nos indicará si las vibraciones están en concordancia de fase, en oposición, o desfasadas de un valor cualquiera.

Variando la frecuencia f conseguiremos que las dos vibraciones estén en oposición de fase, en cuyo momento $\lambda = 2 \cdot d$.

Como la frecuencia es indicada por el propio aparato, tendremos,

$$v = f \cdot \lambda = 2 \cdot d \cdot f$$

$$E_{\text{tex}} = v^2 = 4 \cdot d^2 \cdot f^2$$

Este aparato ha experimentado diversos perfeccionamientos entre los cuales podemos citar la emisión de cortos trenes de ondas en vez de una vibración continua a fin de evitar la producción de ondas estacionarias y resonancias. Finalmente la adición de un mecanismo registrador que permite registrar de forma continua los valores de E durante un ciclo completo de carga hasta la rotura, o de cargas y descargas sucesivas, etc.

ESTUDIOS MEDIANTE GRAFICOS TENSION-ALARGAMIENTO

Después de haber expuesto los fundamentos del método que utilizamos para la confección de los gráficos tensión-alargamiento y de haber descrito los principios de los nuevos tipos modernos de dinamómetro y sus técnicas de medición, daremos a continuación los resultados de una serie de ensayos tensión-alargamiento de los hilos de fibras artificiales, bajo condiciones muy diversas pero similares a las que se hallan en la práctica industrial.

Este ha sido, en definitiva, el motivo por el cual se realizó el presente trabajo.

Influencia del estado higrométrico

Para poner de manifiesto la influencia del estado higrométrico sobre la tenacidad y las propiedades elásticas del rayón, hemos efectuado una serie de ensayos en un dinamómetro de péndulo a distintos grados de humedad que resumimos parcialmente en el gráfico fig. 12.

El método de ensayo seguido ha sido el descrito anteriormente para la obtención del gráfico tensión-alargamiento en seco. Hemos omitido representar en el gráfico las curvas correspondientes a los alargamientos permanentes para evitar confusiones en la figura. En él podemos comprobar los siguientes hechos:

1°).- Cuando el rayón está más seco, tiene mayor tenacidad, pero menor extensibilidad.

2°).- Para $\sigma = 0,4$ gr/den. el alargamiento total a 98 % de HR, es 13 veces mayor que a 40 % de HR.

3°).- Al pasar de 40 % a 98 % de HR el rayón pierde el 43 % de su resistencia a la rotura, aumentando en cambio su alargamiento a la rotura en un 45 %.

Para deducir el grado de humedad que más conviene utilizar durante las operaciones de preparación y tisaje, recordaremos que en ellas raramente se sobrepasa una tensión igual al 25 % de la carga de rotura, o sea aproximadamente $\sigma = 0,4$ gr/den. De los ensayos efectuados tomamos los siguientes datos, que corresponden a dicha tensión de 0,4 gr/den.:

Humedad Relativa	Alargamiento Total	Alargamiento Permanente
40 %	0,4 %	0 %
55 %	1,1 %	0 %
10 %	2,0 %	0 %
80 %	2,9 %	1,3 %
90 %	3,9 %	1,9 %
90 %	5,1 %	3,1 %

Hasta 10 % de HR no se origina deformación permanente sensible con $\sigma = 0,4$ gr/den. Por tanto el grado óptimo de humedad será éste, por ofrecer el máximo de elasticidad sin que en él se produzca alargamiento permanente alguno. Sin embargo es recomendable operar por precaución a un grado más bajo, o sea 65 % de HR, que coincide con el recomendado por el BISFA y la mayor parte de autores.

Gráfico tensión-alargamiento del rayón mate en seco

Hemos efectuado un ensayo para trazar la curva tensión-alargamiento en seco del rayón 100 den. mate. Hemos seguido el mismo método operatorio empleado para trazar la curva del rayón 100 brillante, y hemos reproducido al mismo tiempo dicha curva con el objeto de efectuar comparaciones.

Consecuencias

1°) Para tensiones hasta 0,40 gr/den., el rayón mate es más extensible que el brillante, y alcanza ya deformaciones permanentes.

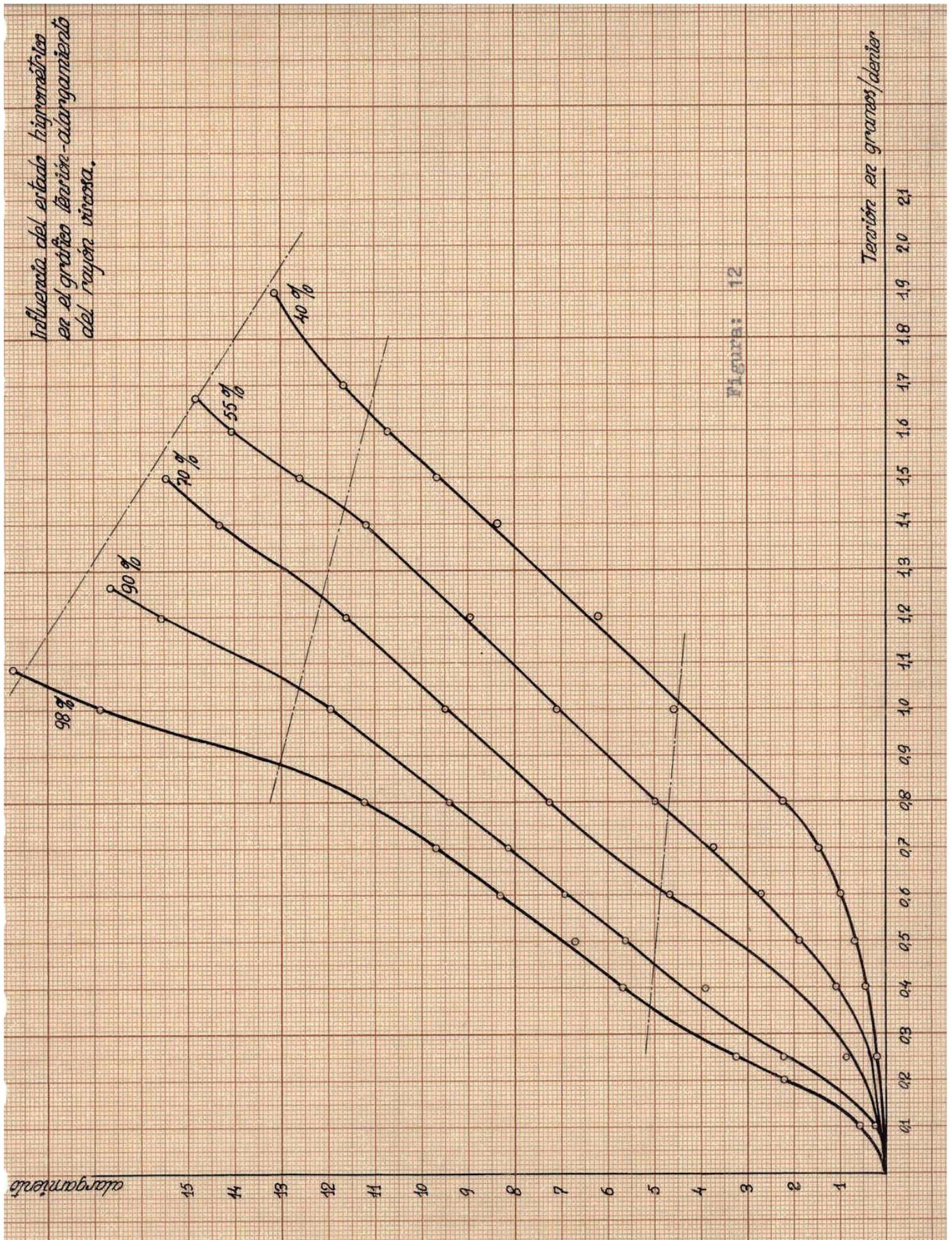


Figura: 12

2º) Para tensiones entre 0,40 y 0,80 gr/den., la situación se invierte, es decir, que el rayón brillante es más extensible que el mate, y al propio tiempo sus deformaciones permanentes son mayores.

3º) Por encima de 0,80 gr/den., vuelve a ser más extensible el rayón mate que el brillante.

4º) En el momento de la rotura, la tensión del rayón mate es menor, y sus alargamientos total y permanente mayores que para el rayón brillante.

Recuperación de dimensiones por mojado y secado

Con el fin de investigar la influencia que tienen sobre el alargamiento de los hilos y tejidos de rayón las diferentes combinaciones de tensiones, mojados y secados sucesivos como las que se encuentran en diferentes fases del proceso de fabricación de tejidos, hemos efectuado una serie de ensayos, reproduciendo esquemáticamente lo que ocurre durante dicha fabricación.

Método operatorio

Se ha utilizado un dinamómetro de péndulo usual y se ha seguido el método de ensayo descrito anteriormente. En conjunto el ensayo comprende las siguientes fases:

a).- Carga del hilo en seco hasta una tensión σ gr/den. Se mide en este momento el alargamiento total alcanzado.

b).- Descarga del hilo en seco hasta dejar sólo un remanente de tensión de 0,05 gr/den. a fin de que el hilo permanezca recto. Se mide en este momento el alargamiento permanente sufrido por el hilo.

Hasta este punto el gráfico obtenido coincide con el gráfico tensión-alargamiento en seco de la fig. 5.

c).- Conservando la misma tensión mínima de 0,05 gr/den., que casi puede considerarse nula, se moja abundantemente el hilo, dejando transcurrir unos minutos a fin de que la humedad penetre bien en el hilo antes de medir el alargamiento que se anota en el gráfico.

d).- Se deja secar bajo la misma tensión de 0,05 gr/den., anotando finalmente el alargamiento remanente.

Observaciones

1º).- Al mojarse, el rayón modifica su longitud, alargándose o encogiéndose, hasta alcanzar una longitud igual a $l + 4,5\%$ de l , que hasta una carga $\sigma = 0,8$ gr/den., es constante e independiente de la tensión sufrida anteriormente.

2º).- Hasta este límite se recuperan completamente las dimensiones iniciales por secado. (El alargamiento remanente del $1/2\%$ es debido a la tensión de 0,05 gr/den. bajo la cual se ha secado. Desaparece por completo si el secado se efectúa libre de tensión).

3º).- Pasado el límite de 0,8 gr/den., aparecen deformaciones irreversibles.

Consecuencias

Lo que hasta aquí hemos llamado alargamiento permanente, en realidad no lo es más que en parte, siendo el resto un alargamiento recuperable fijado por el roce interno entre las moléculas (5). El agua interpuesta entre las mismas actúa, podemos decir, de "lubricante", permitiendo la recuperación de las dimensiones.

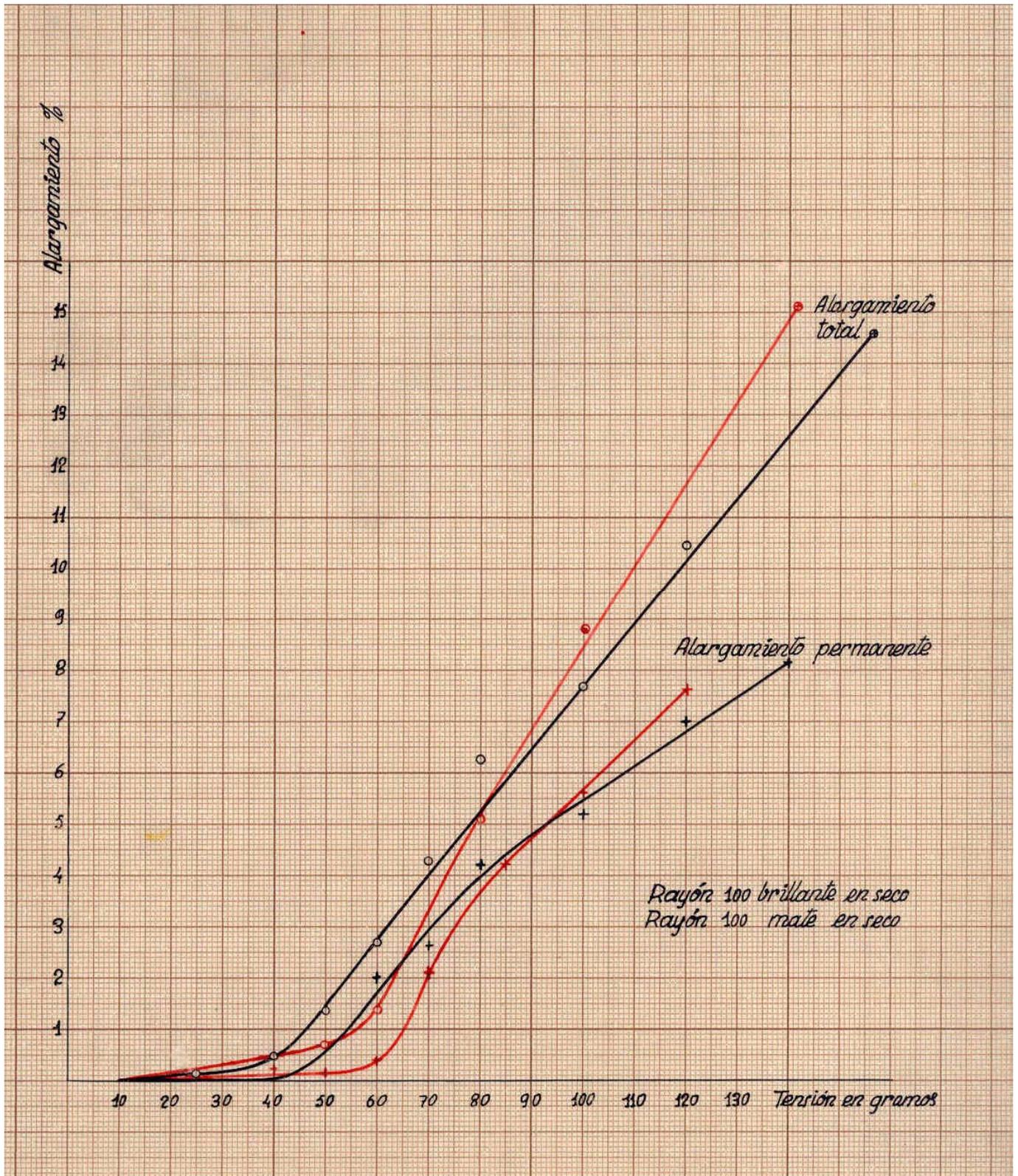


Figura: 13

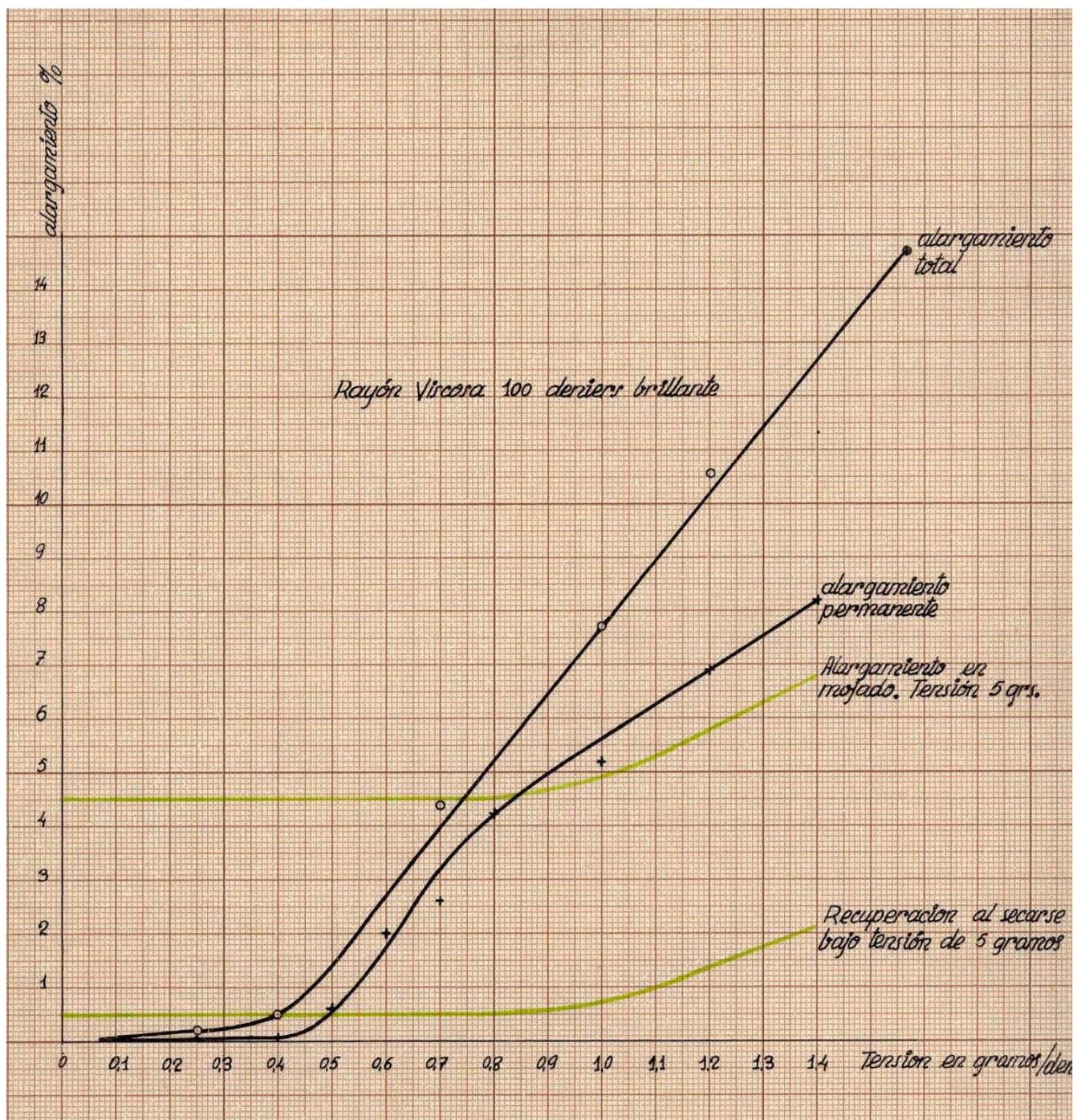


Figura: 14

Este gráfico explica perfectamente el fenómeno de "revelado" que producen las operaciones en mojado mencionado anteriormente.

Supongamos un hilo que durante el bobinado ha sufrido una sobretensión de 0,7 gr/den., por ejemplo. Consultando el gráfico vemos que conservará un alargamiento permanente del 3 %. En esta forma será tejido, y en el telar no se notará nada. Pero al mojarlo y secarlo este hilo se encogerá de dicho 3 %, apareciendo como un hilo tirante que ondulará menos que los contiguos y tendrá un aspecto más brillante.

Igual explicación tienen las zonas de menor ancho y defectos similares indicados al principio de este trabajo.

Curvas tensión-alargamiento de hilos de rayón aprestados

Una de las principales preocupaciones del tejedor es la perfección del aprestado de las urdimbres. Lógico es por tanto efectuar una serie de ensayos tensión-alargamiento trazando las curvas correspondientes a distintas clases de apresto y a distintas máquinas. (fig. 15).

La curva del rayón 100 deniers en seco es la misma trazada en el gráfico (fig. 7) y se ha reproducido aquí únicamente como término de comparación.

Consecuencias

1º) Apresto al aceite de linaza.- Este apresto se efectúa en coronas, sin recibir el hilo tensión alguna durante el aprestado. Goza de buena reputación entre los tejedores por dar urdimbres que se tejen perfectamente. Sus inconvenientes son la dificultad de su eliminación, que requiere un tratamiento fuertemente alcalino a la ebullición, y el peligro de enranciamiento, que puede atacar la celulosa del rayón disminuyendo su resistencia.

Sin embargo los hilos aprestados con aceite de linaza poseen gran elasticidad, por lo que dan buenos resultados en el telar.

En el gráfico podemos comprobar que es el que mayor alargamiento elástico tiene dentro de la zona de tensiones de las urdimbres en el telar. Se puede observar igualmente que dicho apresto es el que presenta menor resistencia a la rotura, probablemente porque la celulosa del rayón había sido ya atacada.

2º) Apresto en máquina antigua.- Se trata de una antigua máquina inglesa de aprestar individualmente los hilos de rayón, antes de la operación de urdido. Comprendía una fileta donde se ensartaban los carretes de rayón, una cubeta donde se aprestaban por contacto con un cilindro, unas placas secadoras calentadas por vapor, y una encarretadora que enrollaba los hilos en carretes independientes. Dicho sistema, denominado de carrete a carrete fué abandonado porque la considerable tensión necesaria para hacer girar el carrete de alimentación era ejercida por los carretes de la encarretadora y se transmitía al carrete de alimentación a lo largo de una extensión de hilo de unos 10 metros de longitud, que en buena parte estaba mojado. Como hemos ya indicado, las menores tensiones producen alargamientos permanentes en los hilos mojados que después son causa de defectos de tisaje.

El gráfico adjunto permite comprobar que efectivamente, para las tensiones usuales en el telar tenemos ya alargamientos permanentes.

La tensión de rotura es normal, pero su elasticidad es pequeña, como era previsible.

3º) Aprestos Massó y Llach en máquina Diederichs.- La máquina de aprestar utilizada era una encoladora Diederichs del tipo adecuado para urdimbres de rayón.

Podemos comprobar que ambos aprestos ensayados tienen resistencias a la rotura normales, pero los hilos aprestados con apresto Massó tienen una extensibilidad mucho mayor que los aprestados con el apresto Llach, por lo se utilizó el primero con buenos resultados en el telar.

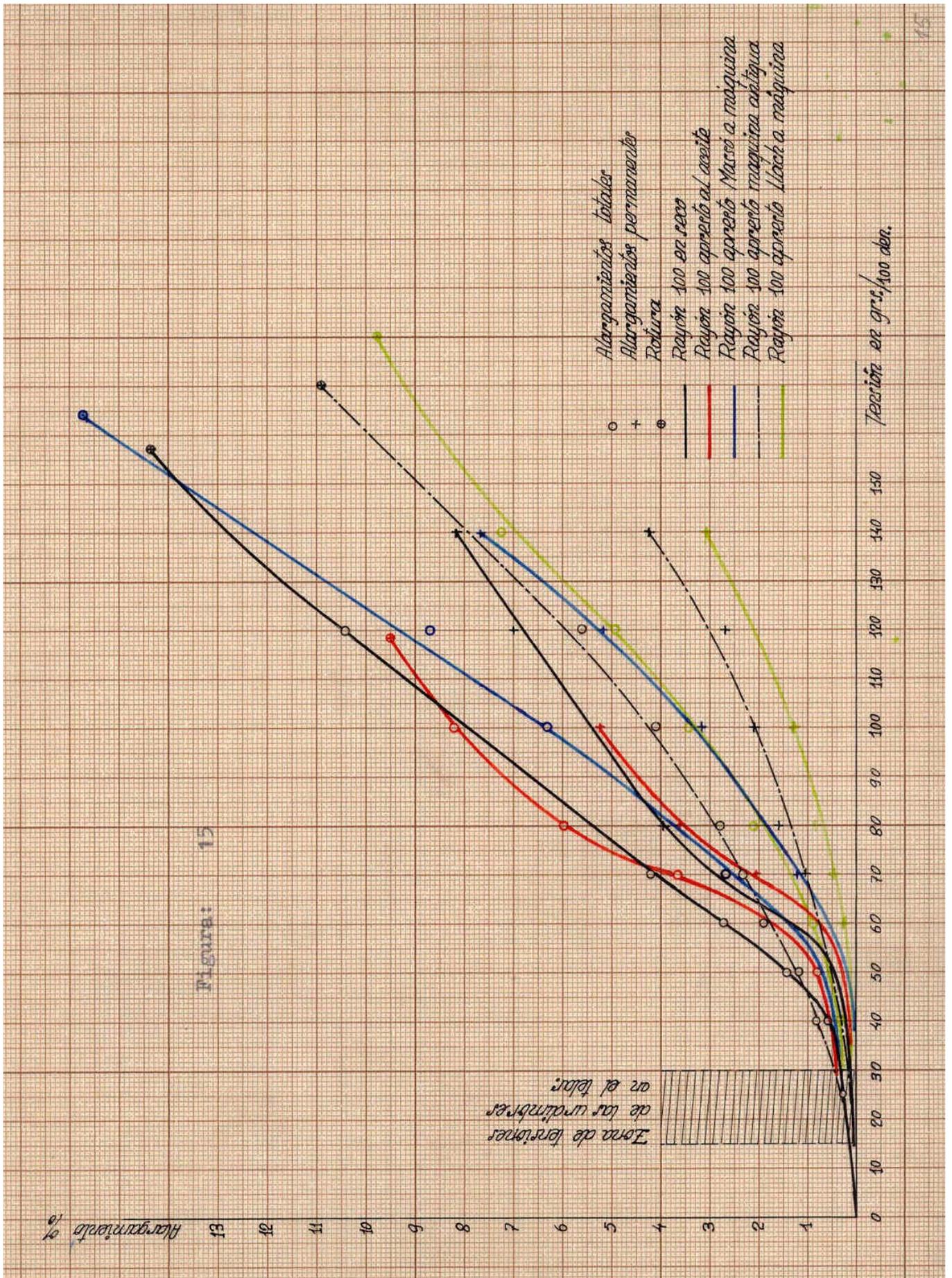


Gráfico de Cargas y Descargas repetidas

Hemos realizado un ensayo de cargas y descargas repetidas con el fin de investigar los efectos de la fatiga sobre los hilos de rayón. (ver fig. 16).

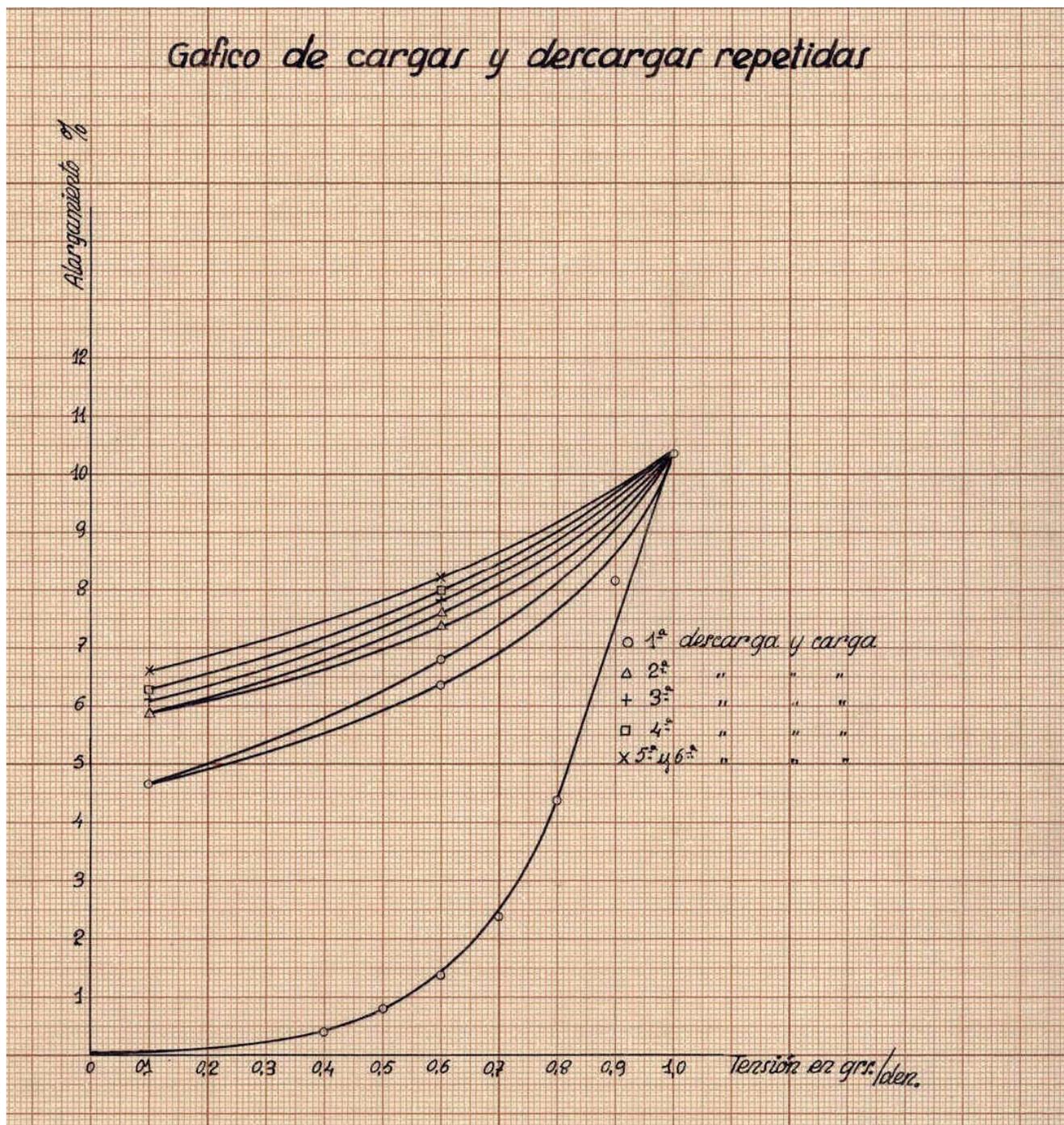


Figura: 16

El método operatorio ha sido el siguiente: se ha puesto en marcha el dinamómetro con una velocidad de la pinza inferior de 80 mm por minuto, hasta alcanzar la tensión de 1 gr/den. Inmediatamente se ha invertido la marcha, disminuyendo la tensión hasta 0,10 gr/den. Llegado a este punto, se ha invertido otra vez la marcha, aumentando la

tensión hasta alcanzar nuevamente 1 gr/den. y así sucesivamente. Se han ido anotando los alargamientos correspondientes.

La humedad relativa de la atmósfera fué, durante el ensayo, de 75 % HR., superior a la humedad normal.

Observaciones

1º) Para la tensión 1 gr/den. siempre se ha obtenido el mismo alargamiento total.

2º) Para la tensión de 0,10 gr/den. el alargamiento remanente ha sido mayor en cada nuevo ensayo.

3º) En el primer y en el segundo ciclos de descarga y carga, se han formado verdaderos ciclos de histéresis. No así en las sucesivas cargas y descargas.

Consecuencias

El alargamiento total obtenido no depende del número de repeticiones de los esfuerzos. Podemos comprobar que en todos los casos tiene el mismo valor de 10,4 % o sea que dichas repeticiones no fatigan el hilo en forma sensible.

El alargamiento remanente, en cambio, aumenta en cada repetición. Más que a la fatiga, este aumento debe achacarse al aumento del alargamiento permanente debido al tiempo, cada vez mayor, que el hilo ha estado sometido a tensión. Probablemente este alargamiento remanente tiene un límite superior igual al alargamiento permanente correspondiente a la tensión de 1 gr/den.

Este gráfico no parece tener un significado especial, ya que su forma puede variar extraordinariamente con la velocidad de pinza escogida y la longitud de la probeta.

Tampoco tiene significado alguno aplicado al telar, máquina en la que los hilos sufren esfuerzos repetidos, ya que en ella los esfuerzos máximos soportados por los hilos no alcanzan valores que puedan producir alargamientos permanentes.

Gráfico tensión-alargamiento de Nylón

Aunque esta fibra no entre dentro del grupo de las llamadas fibras artificiales, sino dentro del de las sintéticas, hemos efectuado un ensayo tensión-alargamiento, trazando el gráfico correspondiente, según el método utilizado anteriormente para el rayón.

Observaciones

A la vista del gráfico obtenido (fig. 17), podemos comprobar los siguientes hechos:

1º) La resistencia a la rotura del Nylón es mucho más elevada que la del rayón. La tensión de 321 gr para un hilo de 70 den. representa una carga de rotura $\sigma_b = 4,6$ gr/den.

2º) El alargamiento a la rotura es algo superior al del rayón: 19,3 % contra 14,5 % de aquel.

3º) El alargamiento elástico, o sea en definitiva la elasticidad de la materia, es muy superior al del rayón. Si tomamos un punto hacia la mitad del diagrama, o sea 200 gr de tensión, comprobamos que el alargamiento permanente es el 18,5 % del total, mientras que el alargamiento elástico es el 81,5 % del total. Para el rayón, en cambio (fig. 7), para la tensión de 100 gr., tenemos que el alargamiento permanente corresponde a un 70 % del total mientras que el alargamiento elástico sólo representa el 30 % del total.

4º) El módulo de elasticidad de Nylón es casi constante hasta tensiones de 3,5 gr/den. aproximadamente.

5º) Sin embargo, a pesar de la elevada elasticidad del Nylón, observamos que se producen alargamientos permanentes desde las menores tensiones. El Nylón no posee

por tanto ninguna zona de elasticidad perfecta y completa como la que tiene el rayón para tensiones por debajo de 0,4 gr/den.

Consecuencias

Como consecuencia de este fenómeno es necesario trabajar el Nylon con tensiones lo más reducidas y regulares posibles, pues el peligro de producir hilos tirantes es mayor todavía que con el rayón.

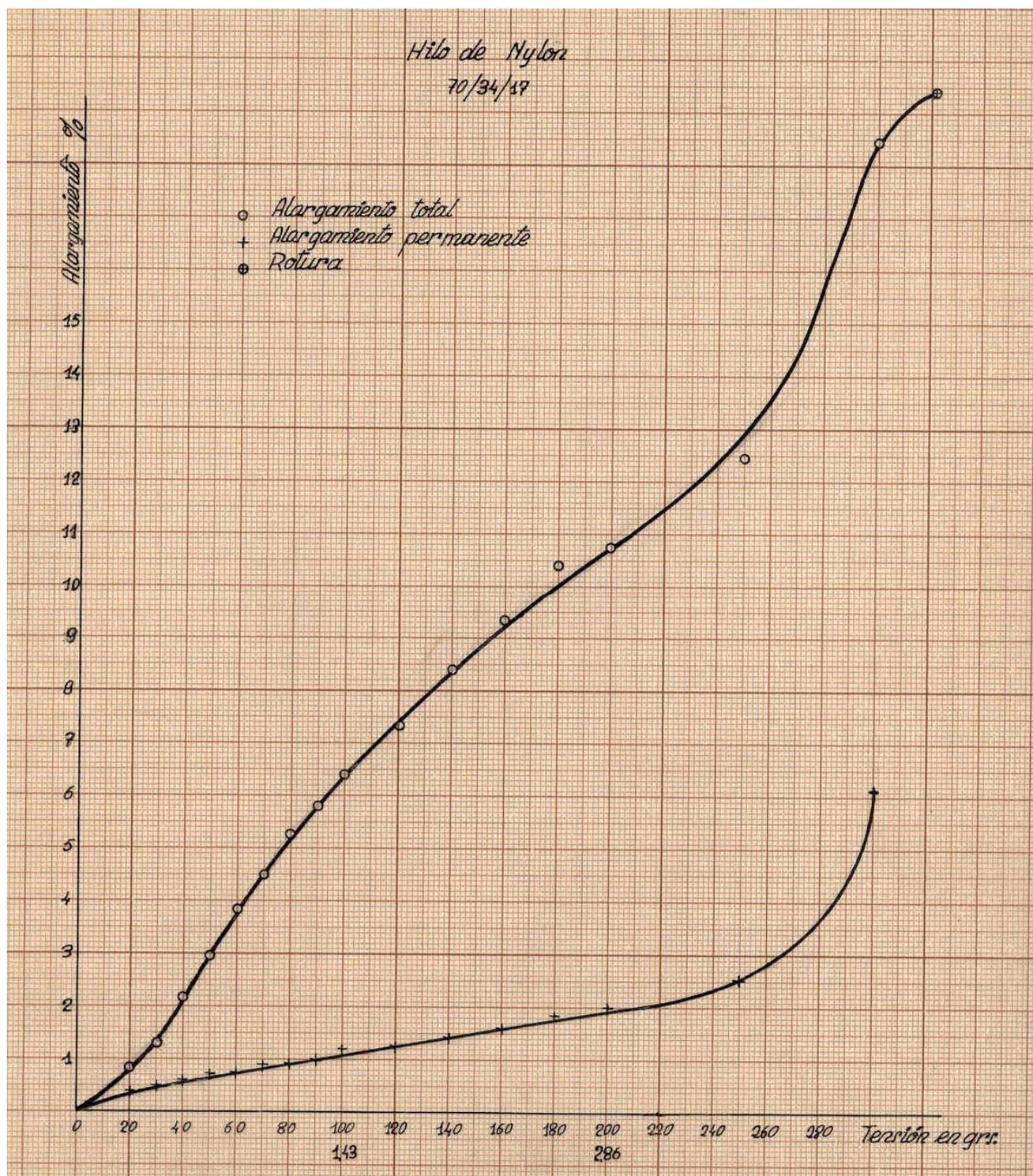


Figura: 17

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

- (1) **Barella A.** Comportamiento elástico de las fibras textiles. Ing. Textil nº 68, pág. 293 y nº 69, pág. 6.

Es un estudio y una revisión muy completa y documentada sobre las relaciones existentes entre la estructura molecular de las fibras y sus características físico-mecánicas.

- (2) **Blanxart D.** Materias Textiles.

En dicho libro el profesor Blanxart hace las siguientes observaciones:

pág. 319: Las diferencias de humedad pueden provocar diferencias de resistencia de 5 % a 20 %. Al variar la velocidad de la pinza del dinamómetro de 200 a 800 mm/min., se observan diferencias de la resistencia media del 10 %.

pág. 320: (nota de pie de página): "Nuestra opinión, ... es que la velocidad de desplazamiento o caída de la pinza ha de ser pequeña. la velocidad de 100 mm/min la creemos más acertada por ajustarse más a la realidad".

Tisaje Mecánico

pág. 34: Hablando de la influencia de la longitud de prueba en hilos irregulares, recomienda utilizar 1 m como mínimo.

pág. 35: En cuanto a la velocidad de la pinza indica que la regularidad de los resultados es mayor cuando la velocidad es reducida. Recomienda 100 mm/min. Como condiciones atmosféricas normales indica 20° C y 65 % de HR.

pág. 44: Elasticidad.- Indica que se compone de tres componentes: de la elasticidad verdadera, de la deformación permanente y de la elasticidad debida a la torsión. No hace ninguna referencia a los alargamientos diferidos.

pág. 46: Describe el método de medición de la elasticidad verdadera y de la deformación o alargamiento permanente en el dinamómetro por retorno a una tensión inicial reducida.

- (3) **Girard F.** Gonflement et retrait des Textiles celulosiques artificiels. Bulletin de l'Institut Textile de France, Febrero 1949.

Estudio muy completo y documentado del comportamiento en mojado de los hilos y tejidos, en especial del hinchamiento, alargamiento en contacto con el agua, y del encogimiento por secado.

- (4) **Hamburger W.J.** Mechanics of Elastic Performance of Textile Materials. Textile Research Journal, Febrero 1945, Diciembre 1948.

Estudio muy nuevo, completo y profundo de la mecánica del comportamiento elástico de las fibras textiles. Expone los fenómenos de los materiales visco-elásticos y define los conceptos de elasticidad retardada primaria y secundaria.

Describe los procedimientos de medición por técnicas acústicas en conjunción con las técnicas corrientes para trazar gráficos tensión-alargamiento.

No estudia los efectos de las variaciones de la humedad relativa y de la temperatura.

- (5) **Hermanne L.** Interpretation of the Mechanical Behavior of Rayon. Textile Research Journal, Febrero 1945.
Se trata de un estudio para interpretar el comportamiento elástico del rayón en relación con la distribución de las macromoléculas de celulosa en la fibra. El autor atribuye la mayor parte de particularidades mecánicas del rayón a la existencia de zonas amorfas en la fibra, en las cuales las cadenas de celulosa presentan una distribución irregular.
- (6) **Leblanch L. y Laborde A.** Des appareils utilisés pour l'étude des propriétés mécaniques des fils. L'Industrie Textile, Diciembre 1948 y Enero, Febrero y Marzo 1949.
Estudio de los distintos tipos de dinamómetros de péndulo, hidráulicos, etc. de sus ventajas e inconvenientes. Describe un dinamómetro múltiple de repetición.
- (7) **Le Luc.** Le tissage de la soie artificielle, 2ª Edición 1929.
Es una obra muy extensa especializada en la seda artificial. En los ensayos dinamométricos menciona:
Influencia de la temperatura y de la humedad. Recomienda como atmósfera normal 18 ° C y 65 % HR.
Influencia de la duración del ensayo. Dice que los ensayos rápidos acusan mayor resistencia. Recomienda una velocidad de pinza de 600 mm/min.
Influencia de la longitud de prueba. A mayor Longitud, menor resistencia. Lo atribuye a que hay mayor número de puntos flacos.
Para ensayos comparativos recomienda emplear el mismo dinamómetro, la misma duración del ensayo, la misma escala y la misma serie y título de hilado.
- (8) **Leonart Dart S. y Peterson L.E.** (American Viscose Corporation). A Strain-Gage System for Fiber Testing. Textile Research Journal, Febrero 1949.
Describe un dinamómetro electrónico que permite efectuar las mediciones a gradiente de alargamiento constante. Está provisto de un medidor eléctrico de tensión Statham sin desplazamiento mecánico y de un aparato registrador electrónico.
- (9) **López-Amo F.** Coeficientes de resistencia de los hilos. Ingeniería Textil, nº 71, 1948.
Condiciones de ensayo de los textiles desde el punto de vista de la Resistencia de Materiales. Ingeniería Textil, nº 72 y 73, 1948.
Hace resaltar las ventajas resultantes de la implantación del sistema métrico directo para la medición del título de los hilos desde el punto de vista del estudio de la resistencia de los hilos según las normas generales en Resistencia de Materiales. Justifica el empleo de $\sigma_{b \text{ tex}}$ en vez de $\sigma_{b \text{ cm}^2}$.
- (10) **Massó y Llorens.** Resistencia dels Fils.
Es una obra ya clásica dedicada a los ensayos de materias textiles. Resulta algo anticuada y no menciona para nada las fibras artificiales. Da una descripción muy completa de los aparatos de ensayo. Para la velocidad de descenso de la pinza inferior de los dinamómetros recomienda 300 mm/min.

(11) **Perso J.** Essai des matières textiles.

Hace resaltar la diferencia entre la elasticidad verdadera y la deformación permanente.

(12) **Provasi A.** Filatura e torcitura della seta e dei suoi cascami. U. Hoepli, Milán.

En un capítulo dedicado a la elasticidad distingue:
elasticidad: deformación completamente recuperable.
ductilidad: deformación no recuperable.

APÉNDICE I

Dinamómetro electrónico Scout para efectuar ensayos a gradientes de alargamiento constante

Recientemente la casa Scott Testers ha lanzado al mercado un dinamómetro electrónico tipo CRE para efectuar ensayos a gradiente de alargamiento constante, basado en principios análogos al dinamómetro extensor de la American Viscose Corporation descrito anteriormente.

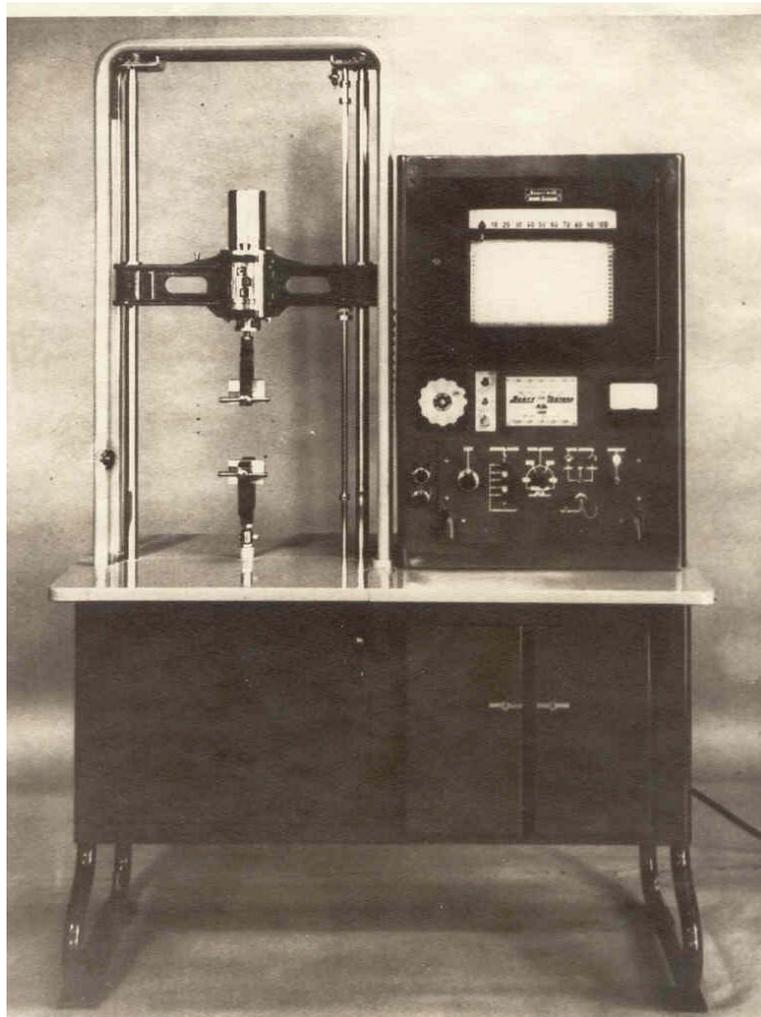


Figura: 18

En este aparato, la pinza inferior es fija, mientras que la superior asciende a velocidad constante. Esta última está unida a un medidor eléctrico de tensión del tipo no adherido, provisto de un divisor de esfuerzos. Este último no es más que un resorte calibrado muy duro fácilmente cambiable por otros de distintas durezas. De esta forma se puede variar con facilidad el campo de medición del dinamómetro. Los medidores eléctricos de tipo no adherido, están basados en la alteración de la resistencia o capacidad de un circuito eléctrico a consecuencia de un desplazamiento pequeñísimo (en este caso el resorte sólo se comprime 0,0015 pulgadas). Variando la dureza del resorte se puede modificar el desplazamiento producido por una carga dada, y por tanto, la escala del dinamómetro.

La pinza superior, el divisor de esfuerzos y el medidor eléctrico de tensión, están montados en un robusto puente que asciende a velocidad constante. Sin embargo, esta velocidad puede ser variada antes de empezar el ensayo.

El cuadro comprende todos los mandos necesarios para efectuar ensayos dinamométricos en las más variadas condiciones, y un registrador de grandes dimensiones con escalas ajustables.

Es digno de mencionar que la casa Scott Testers Inc., constructora de todos los tipos de dinamómetros, entre ellos el de plano inclinado, considera que este procedimiento de ensayo es el más exacto, ya que está exento de errores debidos a inercias y fricciones. Además el medidor eléctrico es de una sensibilidad y exactitud extremas.

APÉNDICE II

En el capítulo dedicado al dinamómetro extensómetro hemos mencionado el medidor de tensiones Statham, sin describirlo.

Con posteridad, y en ocasión de la Conferencia Internacional de la Técnica Textil celebrada en 1954 en Barcelona, fué presentado por Ir. J.K. Van Wijngaarden un trabajo titulado "The Electronic Dynamometer and one of its specific Applications". En este trabajo se describen con mayor detalle los fundamentos y las peculiaridades constructivas de dichos dinamómetros electrónicos, y de los medidores de tensión, en particular el medidor Statham.

Principio de los medidores eléctricos de tensión

El principio de los medidores de tensión consiste en provocar una alteración de una magnitud eléctrica (resistencia, autoinducción o capacidad) por medio de un desplazamiento mecánico. Por tanto la fuerza que se debe medir debe ser convertida primero en un desplazamiento mecánico, lo cual se puede obtener fácilmente mediante la deformación de un resorte más o menos duro.

El siguiente paso consiste en transformar la variación de la magnitud eléctrica en una diferencia de potencial que puede ser medida con un milivoltímetro o registrada en un aparato registrador apropiado.

El circuito eléctrico más adecuado para el aparato, es el clásico puente de Wheatstone. Es ya sabido que cuando las cuatro magnitudes eléctricas (resistencias, autoinducciones o capacidades) intercaladas en los cuatro lados de dicho puente están convenientemente dimensionadas, no se obtiene ninguna diferencia de potencial entre dos vértices opuestos C y D del puente cuando se aplica una diferencia de potencial entre los otros dos vértices A y B. Ahora bien, en cuanto se modifica una o algunas de

dichas magnitudes, el puente se desequilibra y se produce una diferencia de potencial entre los mencionados vértices C y D del puente de Wheatstone. El proceso puede resumirse como sigue:

Fuerza → desplazamiento mecánico → variación de una magnitud eléctrica
→ variación de voltaje → registrador

Las ventajas de este tipo de dinamómetro son:

- 1) Las fuerzas de fricción e inercia son negligibles.
- 2) El desplazamiento mecánico de la pinza medidora de la fuerza es muy pequeño.
- 3) Lo mismo se puede medir y registrar un aumento que una disminución de la fuerza.
- 4) Se puede cambiar con facilidad la escala de sensibilidad del aparato.

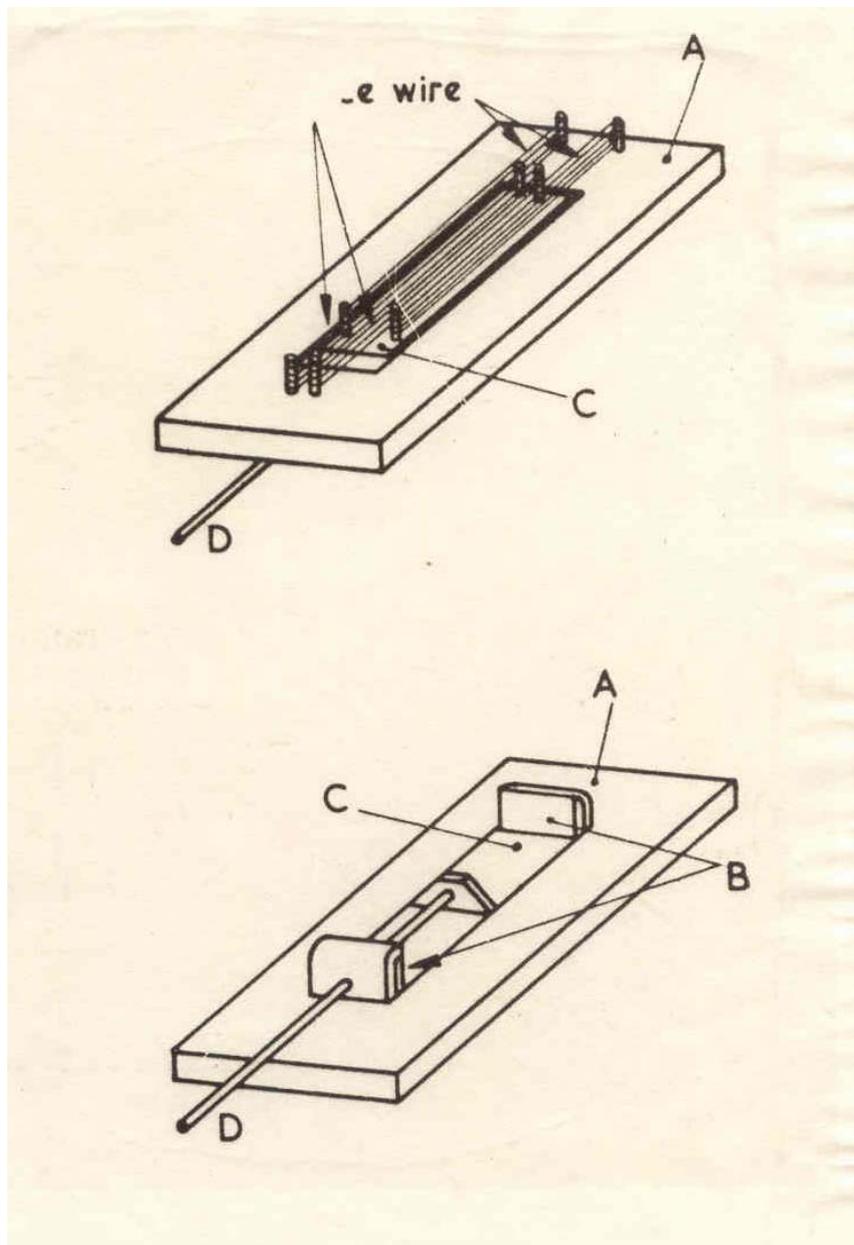


Figura: 19

Elementos de medición de tensiones eléctricos

Existen varios tipos de elementos que transforman un desplazamiento mecánico en una variación de una magnitud eléctrica.

a) Medidores de tensión de capacidad

Supongamos un condensador de placas. Si el esfuerzo que se debe medir hace variar la distancia entre las placas, obtendremos una variación de la capacidad del condensador. Si tenemos montados cuatro condensadores en un puente de Wheatstone deformables tal como se ha indicado podemos obtener una diferencia de voltaje entre sus vértices.

b) Medidores de tensiones magnéticas

En este caso tenemos intercaladas en el puente de Wheatstone varias bobinas, cuya autoinducción se puede hacer variar modificando su campo magnético. Esto último se consigue alterando el valor de un entrehierro existente en el circuito magnético. Para ello basta que el esfuerzo que se desea medir deforme mecánicamente la armadura de la bobina.

Dentro de este mismo grupo tenemos que incluir los transformadores diferenciales. El devanado secundario de estos está constituido por dos bobinas contiguas enrolladas en sentidos opuestos y conectadas en serie los voltajes generados en estas últimas son iguales y de sentido contrario, por lo que su suma es igual a cero.

Sin embargo, el núcleo de hierro del transformador puede sufrir, bajo la acción de un esfuerzo mecánico, un pequeño desplazamiento, por lo que penetra más dentro de una de las bobinas y menos en la otra, provocando un desequilibrio que se traduce inmediatamente en una diferencia de potencial indicadora del desplazamiento del núcleo.

c) Medidores de tensión de resistencia.- Medidor Statham

Estos medidores están fundados en el hecho de que la resistencia eléctrica de un alambre metálico aumenta cuando se somete dicho alambre a una tracción.

Estos medidores se dividen a su vez en dos tipos: el tipo adherido y el tipo no adherido. En el primero el alambre está insertado en una base aislante que está pegada al objeto cuyo alargamiento o acortamiento se debe medir.

En el segundo tipo es el propio alambre el que soporta directamente la tensión. En la figura adjunta se ilustra el principio del medidor Statham, que es de este tipo. Consiste en una placa de base A provista de dos escuadras B que guían una pieza deslizante C provista de clavijas. Entre éstas y otras fijadas en la base van montados cuatro series de alambres de resistencia pretensados.

Cuando una tracción T actúa sobre la varilla D, dos de las series de alambres se alargan y las otras dos se acortan, variando por tanto sus resistencias eléctricas en sentidos opuestos.

Conectando las cuatro series de alambres en forma de puente de Wheatstone obtendremos entre las bornas de éste la diferencia de potencial deseada, que nos permitirá medir la tensión aplicada.

ÍNDICE DE FIGURAS

<u>Figura</u>		<u>Página</u>
1	Aparato para medir alargamientos a cargas constantes	19
2	Gráfico tiempo-alargamiento a tensión constante: distintas tensiones	20
3	Gráfico tiempo-alargamiento a tensión constante: distintos tiempos	25
4	Dinamómetro de péndulo	30
5	Esquema del dinamómetro de péndulo	30
6	Gráficos de Leblanc y Laborde	31
7	Gráficos tensión-alargamiento en seco y en mojado	44
8	Dinamómetro extensómetro electrónico	47
9	Gráfico obtenido en el dinamómetro extensómetro electrónico	49
10	Dinamómetro de plano inclinado	51
11	Esquema del dinamómetro de plano inclinado	51
12	Gráficos tensión-alargamiento a diferentes estados higrométricos	60
13	Gráfico tensión-alargamiento del rayón mate	62
14	Gráfico de recuperación de dimensiones por mojado y secado	63
15	Gráficos tensión-alargamiento de hilos aprestados	66
16	Gráfico de cargas y descargas repetidas	69
17	Gráfico tensión-alargamiento de los hilos de Nylón	71
18	Dinamómetro extensómetro electrónico Scott	80
19	Medidor de tensiones Statham	85

ÍNDICE

PRÓLOGO

FINALIDAD DEL ESTUDIO

Defectos de los tejidos de rayón

Hilos tensos o brillantes	5
Barras o franjas	5
Reducción de anchura	6
Barrado por trama	6
Claro por trama	6
Espeso por trama	6
Espejuelos	6

<u>Efectos especiales de los tejidos de rayón</u>	7
---	---

ALARGAMIENTOS

DIFICULTADES EN LA DETERMINACION DEL GRAFICO

<u>TENSION-ALARGAMIENTO</u>	10
<u>INFLUENCIA DEL FACTOR TIEMPO</u>	13
<u>Materiales que siguen la Ley de Hooke</u>	13
<u>Materiales que no siguen, ni aproximadamente, la Ley de Hooke</u>	16

<u>Gráfico tiempo-alargamiento a tensión constante.- Distintas tensiones</u>	18
<u>Método operatorio</u>	18
<u>Observación de los resultados y consecuencias</u>	19
<u>Carácter de las curvas</u>	21
<u>Comentarios</u>	22
<u>Medición y valor del alargamiento permanente</u>	23
<u>Gráfico tiempo-alargamiento a tensión constante.- Distintas duraciones de carga</u>	24

DIFERENTES CRITERIOS DE ENSAYO DE LAS CARACTERISTICAS TENSION-ALARGAMIENTO DE LOS HILOS

DINAMÓMETROS DE PÉNDULO

<u>LEY DE CARGA DE LOS DINAMÓMETROS DE PÉNDULO</u>	29
<u>Consecuencias</u>	32
<u>Influencia de la longitud de prueba</u>	32
<u>Influencia del título</u>	34
<u>Influencia del tipo de dinamómetro</u>	34
<u>UTILIZACION DE LOS DINAMÓMETROS DE PÉNDULO PARA LA OBTENCION DEL DIAGRAMA TENSION-ALARGAMIENTO</u>	35
<u>Método operatorio</u>	39
<u>Observaciones</u>	40
<u>Critica del método</u>	42
<u>Gráfica tensión-alargamiento en seco</u>	43
<u>Gráfica tensión-alargamiento en mojado</u>	45

DINAMÓMETROS ESPECIALES

<u>DINAMÓMETRO EXTENSÓMETRO</u>	46
<u>DINAMÓMETRO DE PLANO INCLINADO</u>	50

MEDICIÓN DEL ALARGAMIENTO ELÁSTICO INMEDIATO

<u>Fórmulas y relaciones básicas</u>	55
<u>Medición de E mediante fenómenos acústicos</u>	55
<u>Técnica de la medición de v^2. Aparato Ballou-Silverman</u>	56

ESTUDIOS MEDIANTE GRAFICOS TENSIO-ALARGAMIENTO

<u>Influencia del estado higrométrico</u>	58
<u>Gráfico tensión-alargamiento del rayón mate en seco</u>	59
<u>Consecuencias</u>	61
<u>Recuperación de dimensiones por mojado y secado</u>	62

<u>Método operatorio</u>	62
<u>Observaciones</u>	63
<u>Consecuencias</u>	64
<u>Curvas de tensión-alargamiento de hilos de rayón aprestados</u>	65
<u>Consecuencias</u>	65
1º) <u>Apresto al aceite de linaza</u>	65
2º) <u>Apresto en máquina antigua</u>	66
3º) <u>Aprestos Massó y Llach en máquina Diederichs</u>	67
<u>Gráfico de cargas y descargas repetidas</u>	68
<u>Observaciones</u>	68
<u>Consecuencias</u>	69
<u>Gráfico de tensión-alargamiento de Nylón</u>	70
<u>Observaciones</u>	70
<u>Consecuencias</u>	71

BIBLIOGRAFÍA COMENTADA

APÉNDICE I

<u>Dinamómetro electrónico Scout para efectuar ensayos a gradiente de alargamiento constante</u>	79
---	----

APÉNDICE II

<u>Principio de los medidores eléctricos de tensión</u>	81
<u>Elementos de medición de tensiones eléctricas</u>	83
a) <u>Medidores de tensión de capacidad</u>	83
b) <u>Medidores de tensiones magnéticos</u>	84
c) <u>Medidores de tensión de resistencia.- Medidor Statham</u>	84

ÍNDICE DE FIGURAS