

Manual de experimentos

WP 600 Aparato para Ensayo de
Fluencia "Creep"



Manual de experimentos

Estas instrucciones se tienen que guardar junto con el equipo.

Antes de poner en servicio el equipo:

- Leer estas instrucciones.**
- Todos los participantes tienen que ser instruidos en lo que concierne al manejo del equipo y, si procede, en cuanto a los aspectos de seguridad.**

Indice General

1	Introducción	1
2	Seguridad.	2
2.1	Uso conforme al previsto.	2
2.2	Estructura de las indicaciones de seguridad.	2
2.3	Indicaciones de seguridad.	3
3	Descripción del equipo.	4
3.1	Construcción del equipo	4
3.2	Componentes	5
3.2.1	Reloj de comparación	5
3.2.2	Tope	5
3.2.3	Cámara climatizada	5
3.2.4	Probetas	6
3.3	Manejo.	7
3.3.1	Ajustar el tope.	7
3.3.2	Sujetar la probeta	8
3.3.3	Insertar el portamuestras	9
3.3.4	Carga de la probeta	10
3.3.5	Montar la caja de refrigeración	11
4	Fundamentos.	12
4.1	Fluencia en caso de metales.	12
4.2	Fluencia en caso de plásticos	15
5	Ensayos	17
5.1	Indicaciones acerca de los ensayos	18
5.2	Ejecución del ensayo.	18
5.3	Resultado de ensayo en caso de uso de las probetas de plomo . . .	20
5.4	Resultado de ensayo en caso de uso de las probetas de polietileno .	21

6	Anexo	22
6.1	Datos técnicos	22
6.2	Lista de los símbolos de las fórmulas y las unidades	23
6.3	Hoja de trabajo	24

1 Introducción

El **Aparato para Ensayo de Fluencia "Creep" WP 600** permite mostrar los fenómenos típicos para procesos de fluencia como fases de diferente velocidad de fluencia o un comportamiento de fluencia dependiente de la temperatura mediante un sencillo ensayo de fluencia por tiempo largo.

Para poder generar ya a **temperatura ambiente** unas velocidades de fluencia aceptables y apropiadas para la demostración, se utilizan **probetas de plomo y plástico**. Estos materiales muestran una clara fluencia ya a temperatura ambiente y con tensiones bajas. En este sentido, las duraciones del ensayo se encuentran dentro de un margen que va desde los pocos minutos hasta una hora.

Los ensayos de fluencia con otros materiales pueden requerir entre varias semanas y meses. Además, precisamente en el caso de los metales, se precisan unas temperaturas de ensayo muy altas.

El equipo tiene una construcción muy simple y su manejo resulta sumamente sencillo. Se utilizan unas sencillas probetas planas que en caso de necesidad pueden ser fabricadas de forma muy sencilla con otros materiales.

La generación de la carga constante se realiza de una manera racional mediante juegos de pesas.

Con la ayuda de una caja de refrigeración transparente con elementos de refrigeración pueden realizarse de forma muy sencilla incluso ensayos a una temperatura inferior a la temperatura ambiente.

2 Seguridad




2.1 Uso conforme al previsto




El equipo se ha previsto exclusivamente para fines didácticos.

2.2 Estructura de las indicaciones de seguridad

Las palabras de señalización PELIGRO, ADVERTENCIA o ATENCIÓN indican la probabilidad y la gravedad posible de las lesiones.

Otro símbolo explica, si procede, el tipo de peligro o un precepto.

Palabra de señalización	Explicación
 PELIGRO	Señaliza una situación que, si no se evita, causará la muerte o lesiones graves.
 ADVERTENCIA	Señaliza una situación que, si no se evita, puede causar la muerte o lesiones graves.
 ATENCIÓN	Señaliza una situación que, si no se evita, puede causar lesiones leves o de gravedad media.
AVISO	Señaliza una situación que puede causar daños en los equipos o bien informa sobre el manejo del aparato.

Símbolo	Explicación
	Peligro de dañar sus manos
	Peligro indefinido (en general)
	Aviso

2.3 Indicaciones de seguridad



⚠ ADVERTENCIA

Caída de pesas.

Peligro de lesiones en las manos o en los pies.

- Precaución al insertar las pesas.



⚠ ATENCIÓN

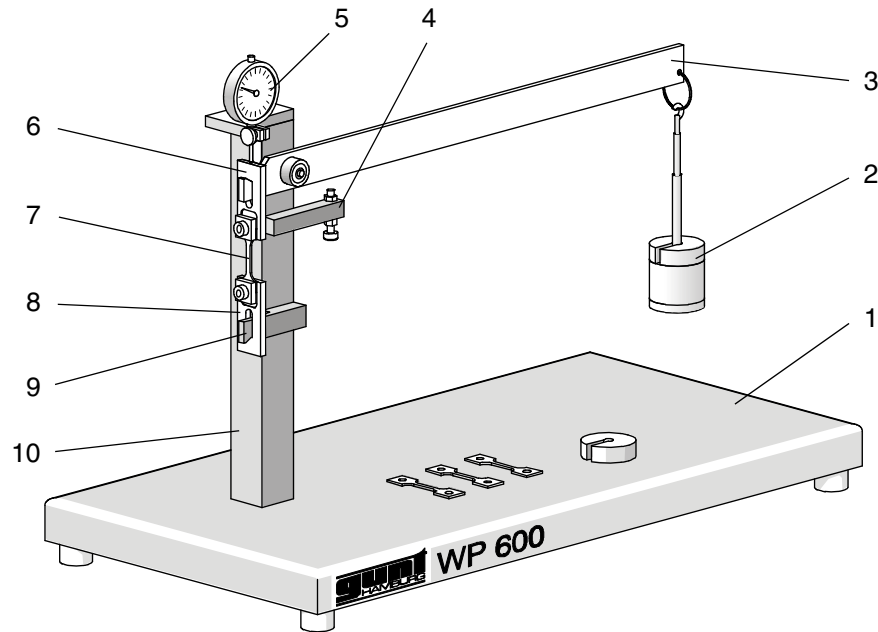
Metal pesado tóxico.

Posibilidad de que se produzcan daños para la salud y el medio ambiente.

- Se deben lavar las manos después de haber manipulado probetas de plomo.
- Eliminar debidamente las probetas de plomo gastadas.

3 Descripción del equipo

3.1 Construcción del equipo



- | | | | |
|---|------------------------|----|----------------------------|
| 1 | Placa de base | 9 | Contracojinete, abajo |
| 2 | Peso de carga | 10 | Columna de alojamiento |
| 3 | Palanca de transmisión | | Sin representar: |
| 4 | Tope, regulable | 11 | Cámara climatizada |
| 5 | Reloj de comparación | 12 | Elementos de refrigeración |
| 6 | Portamuestras, arriba | 13 | Termómetro de penetración |
| 7 | Probeta | 14 | Placa de fijación |
| 8 | Portamuestras, abajo | | |

Fig. 3.1 Construcción del equipo, figura sin cámara climatizada

La fuerza de prueba constante y continua se genera a través de la **palanca de transmisión** (3) con una carga de peso. A través de la palanca de transmisión y el **juego de pesas escalonado** (2) pueden ajustarse fuerzas de prueba de entre 50...250N con un escalonamiento de 5N.

La probeta plana (7) se sujeta en los **portamuestras** (6, 8). Los portamuestras están equipados con asientos de cuchillo para mantener alejados los esfuerzos de flexión de la probeta.

3.2 Componentes

3.2.1 Reloj de comparación

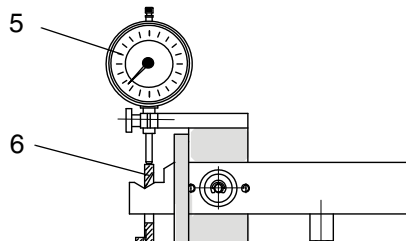


Fig. 3.2 Reloj de comparación

El alargamiento de la probeta se mide con un **reloj de comparación** (5). El reloj de comparación actúa inmediatamente en el portamuestras móvil superior (6). De este modo se excluyen los fallos de medición provocados por holgura en los posibles elementos de transmisión.

3.2.2 Tope

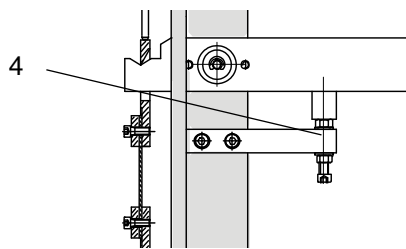


Fig. 3.3 Tope

Un **tope regulable** (4) para la palanca de transmisión protege el reloj de comparación en caso de que se rompa la probeta. Además sirve para impedir que el peso de carga pueda golpear contra la placa de base.

3.2.3 Cámara climatizada

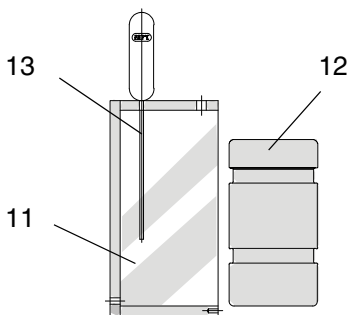


Fig. 3.4 Cámara climatizada

Una carcasa transparente sirve como **cámara climatizada** (11) para la probeta. Los **elementos de refrigeración** (12) permiten bajar la temperatura de la probeta. La temperatura puede superviarse mediante un **termómetro de penetración digital** (13).

3.2.4 Probetas

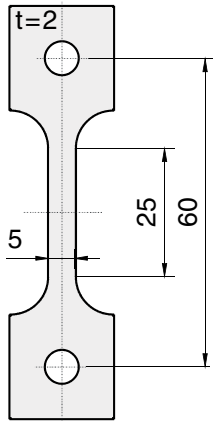
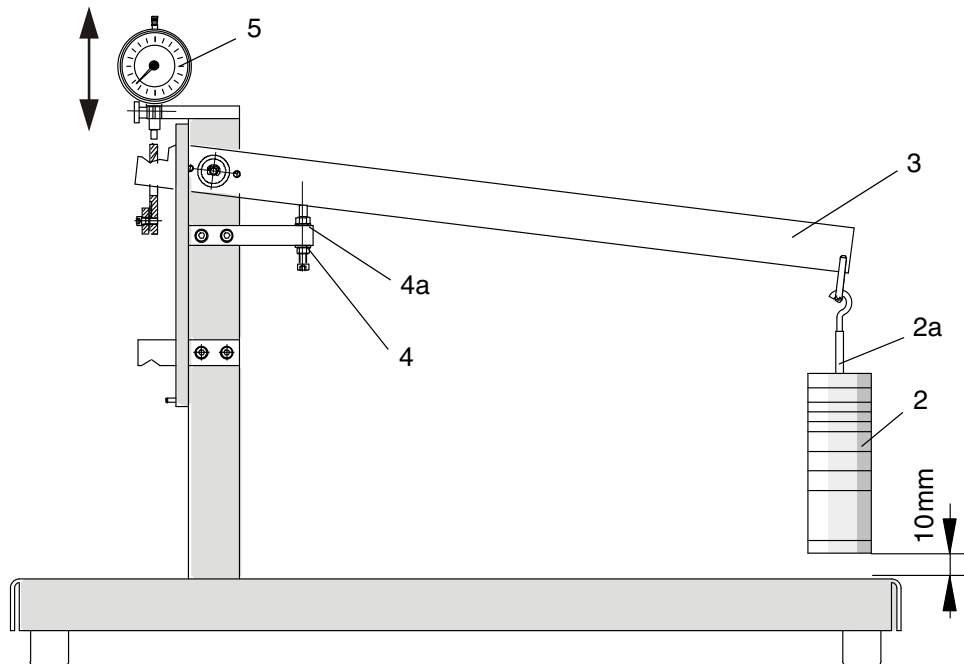


Fig. 3.5

Como **probetas** se suministran probetas planas adjuntas de plomo o polietileno (PE). La sección de medición es de $2\text{ mm} \times 5\text{ mm} = 10\text{ mm}^2$, la longitud de medición es de 25 mm y la distancia entre los taladros de fijación es de 60 mm. Éstos se fijan mediante placas de apriete en los portamuestras.

3.3 Manejo

3.3.1 Ajustar el tope



- 2 Peso de carga
- 2a Suspensor de pesas
- 3 Palanca de transmisión
- 4 Tope
- 4a Contratuerca
- 5 Reloj de comparación

Fig. 3.6 Construcción del equipo, vista frontal

- Retirar el reloj de comparación (5).
- Enganchar el suspensor de pesas (2a) en la palanca de transmisión (3).
- Ajustar el tope (4) después de soltar la contratuerca (4a) de tal modo que se produzca una distancia de 10mm entre el suspensor de pesas y la placa de base.
- Volver a bloquear el tope.

3.3.2 Sujetar la probeta



⚠ ATENCIÓN

Metal pesado tóxico.

Posibilidad de que se produzcan daños para la salud y el medio ambiente.

- Se deben lavar las manos después de haber manipulado probetas de plomo.
- Eliminar debidamente las probetas de plomo gastadas.

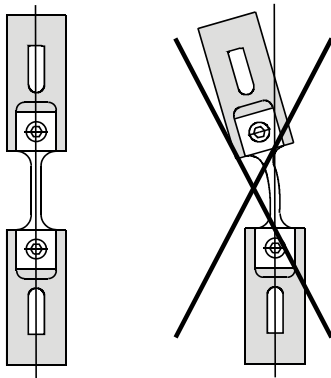


Fig. 3.7

AVISO

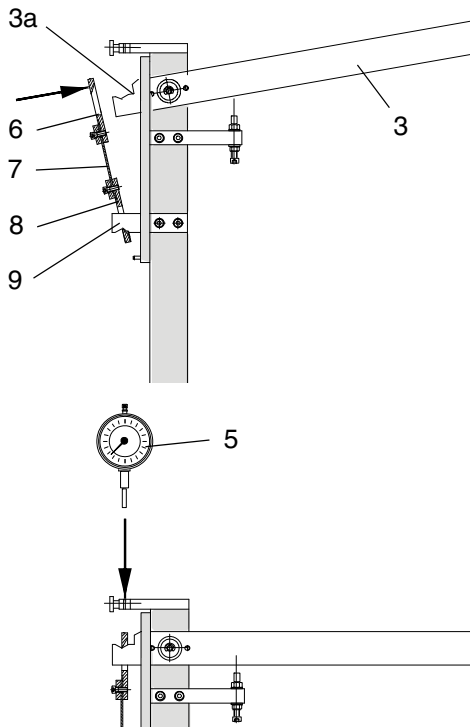
La probeta de plomo es muy blanda. Para evitar que se deforme la probeta de plomo, deben montarse los portamuestras sobre una superficie de mesa plana.

Tenga especial cuidado al apretar el tornillo de apriete.

El portamuestras superior e inferior son idénticos.

- Insertar la probeta en la ranura de los portamuestras.
- Alinear la probeta y el portamuestras cuidadosamente.
- Colocar y atornillar las placas de apriete cuidadosamente con los tornillos de hexágono interior.

3.3.3 Insertar el portamuestras



- 3 Palanca de transmisión
- 3a Ranura en V de la palanca de transmisión
- 5 Reloj de comparación
- 6 Portamuestras, arriba
- 7 Probeta
- 8 Portamuestras, abajo
- 9 Contracojinete, abajo

- Retirar el suspensor de pesas y el reloj de comparación.
- Insertar la probeta (7) con el portamuestras inferior (8) en la ranura en V del contracojinete inferior (9). En este sentido, los tornillos de apriete en los portamuestras deben estar orientados a la izquierda.
- Levantar la palanca de transmisión (3) y enganchar el portamuestras superior (6) en la ranura en V (3a) de la palanca de transmisión.
- Bajar la palanca de transmisión de forma suave y sin golpes hasta que la probeta se encuentre bajo carga previa.
- Insertar y ajustar el reloj de comparación (5) de tal modo que la indicación esté a cero. De este modo se garantiza el máximo recorrido de medición. El ajuste de precisión de la indicación se realiza mediante giro de la escala.

Fig. 3.8 Vista frontal, detalle

3.3.4 Carga de la probeta

3.3.4.1 Relación de transmisión

La sección de la probeta y la transmisión de la palanca se han ajustado de tal modo que una carga de 1N corresponda a una tensión de 1 N/mm^2 en la probeta.

3.3.4.2 Carga previa

Por su propio peso, la palanca de transmisión con el suspensor de pesas vacío genera una carga previa de 5N correspondiente a 5 N/mm^2 .

3.3.4.3 Pesas

Las pesas están escalonadas en 2 x 5N, 3 x 2N, 3 x 1N y 2 x 0,5N. De este modo es posible ajustar una carga de entre 5N y 25N con un escalonamiento de 0,5N. La carga debe aplicarse a la probeta sin golpes en la medida de lo posible. Por lo tanto debe engancharse el suspensor de pesas cuidadosamente.

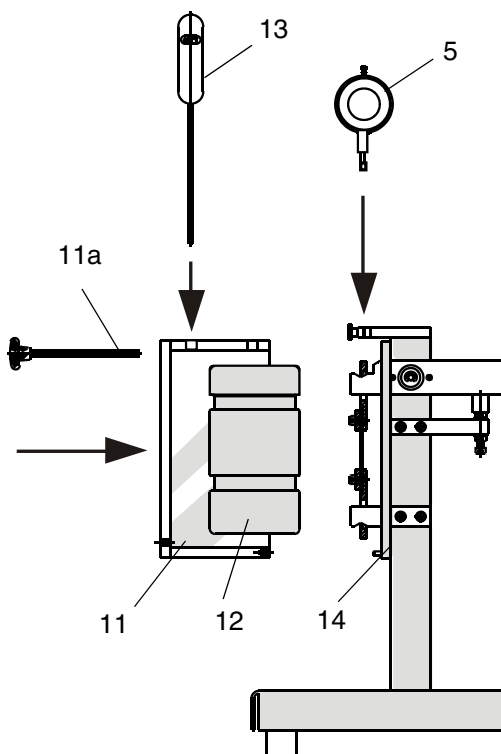
3.3.5 Montar la caja de refrigeración

Congelar los elementos de refrigeración antes de su uso en el compartimento de congelación de un frigorífico.



AVISO

El contenido debe **estar completamente congelado** ya que de lo contrario no se produce una potencia frigorífica constante debido a la absorción del calor de fusión.



- 5 Reloj de comparación
- 11 Caja de refrigeración
- 11a Tornillo de fijación
- 12 Elemento de refrigeración
- 13 Termómetro de penetración
- 14 Placa de fijación

Fig. 3.9 Vista frontal, detalle

- Insertar el portamuestras según el Capítulo 3.3.3. No insertar el reloj de comparación.
- Insertar los elementos de refrigeración congelados (12) en los lados de la caja de refrigeración (11) de tal modo que quede espacio en el centro para la probeta.
- Colocar la caja de refrigeración sobre la placa de fijación (14). Prestar atención a que engatille el pasador de centraje abajo a la derecha.
- Atornillar la caja de refrigeración con el tornillo de fijación (11a) arriba a la izquierda.
- Insertar el termómetro de penetración (13).
- Insertar y poner a cero el reloj de comparación (5).

El ensayo no debe comenzar antes de que el cambio de temperatura sea inferior a 0,5K por cada 5min.

AVISO

Reajustar el reloj de comparación inmediatamente antes del ensayo.

4 Fundamentos

Los fundamentos expuestos a continuación no pretenden estar completos. Para otras consideraciones teóricas, remitimos a la bibliografía especializada.

4.1 Fluencia en caso de metales

En caso de materiales metálicos se produce encima de la **temperatura de regeneración cristalina** bajo carga una fluencia del material. Mientras que en el ensayo de tracción normal el material se solidifica en frío por debajo de la temperatura de regeneración cristalina y se produce una parada de la dilatación en caso de una carga constante, por encima de la temperatura de regeneración cristalina puede producirse un equilibrio entre la recristalización y el endurecimiento por deformación.

El material se va dilatando constantemente con una determinada velocidad de giro o **de fluencia**. Por lo general, los procesos de fluencia significantes no se producen a temperaturas inferiores a $0,4...0,5 T_s$, siendo T_s la temperatura de fusión absoluta en Kelvin. Por ejemplo, el plomo tiene un punto de fusión de $327\text{ }^\circ\text{C}$ correspondiente a 600K .

Por tanto, cabe esperar una fluencia a una temperatura por encima de $240...300\text{K}$ correspondientes a $-33\text{ }^\circ\text{C}...+27\text{ }^\circ\text{C}$, es decir, dentro del margen de la temperatura ambiente.

A cambio, en caso del acero la fluencia aparece tan sólo a $500...600\text{ }^\circ\text{C}$.

El equipo viene acompañado de probetas de plomo y polietileno de tal modo que puedan realizarse ensayos dentro del margen de la temperatura ambiente.

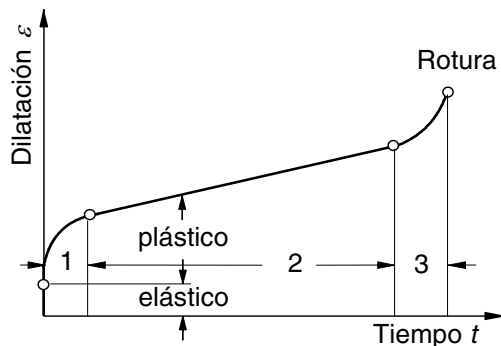


Fig. 4.1 Línea de alargamiento por fluencia

En caso de un ensayo de fluencia, la probeta se somete a una carga de tracción también constante con una determinada temperatura constante. Ahora se registra el alargamiento de la probeta durante el tiempo.

Al aplicar la dilatación al tiempo, se obtiene la llamada **línea de alargamiento por fluencia**. Se deben diferenciar tres zonas de la línea de alargamiento por fluencia:

- Fase 1: **Fluencia primaria**
Descenso de la velocidad de fluencia inicialmente alta. Aquí predomina el efecto de la solidificación del material.
- Fase 2: **Fluencia secundaria**
Velocidad de fluencia **prácticamente constante**. Aquí hay un equilibrio entre la regeneración cristalina y la solidificación del material. Esta sección no tiene que producirse necesariamente en todos los ensayos.
- Fase 3: **Fluencia terciaria**
Debido a la creciente estricción a la rotura y el aumento de las tensiones reales vuelve a subir la **velocidad de fluencia** lo que conlleva la rotura del material. En caso de roturas con un bajo grado de deformación, la fase 3 puede ser muy corta.

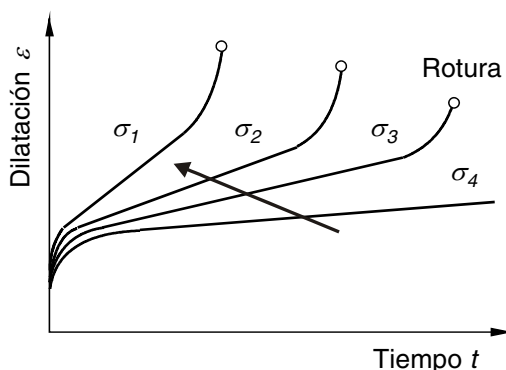


Fig. 4.2 Efecto de la tensión sobre la fluencia

Por lo general, los componentes se someten a una carga de tal modo que sólo entran en el margen de la fluencia secundaria que es la que determina la vida útil del componente.

La fluencia secundaria varía en función de diferentes factores influyentes. Los más importantes son la tensión y la temperatura. La relación más habitual entre la velocidad de fluencia $\dot{\epsilon}$ y la tensión σ o la temperatura T es la siguiente

$$\dot{\epsilon} = A \cdot \sigma^n \cdot e^{-E/(R \cdot T)} \quad (4.1)$$

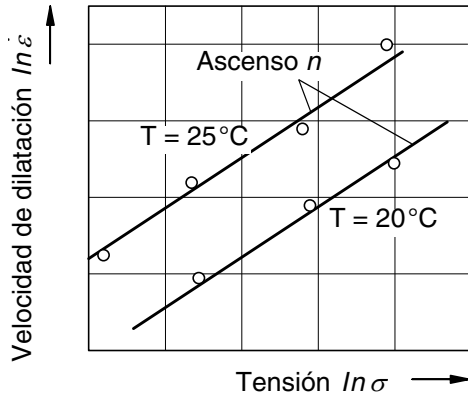


Fig. 4.3 Efecto de la temperatura sobre la fluencia

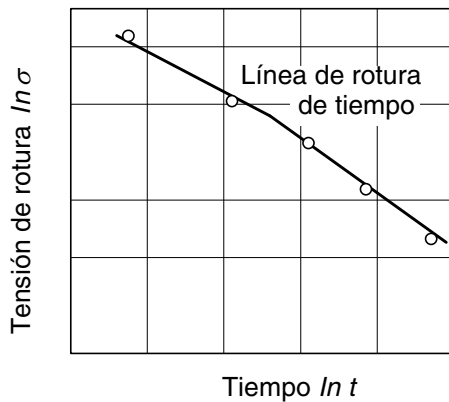


Fig. 4.4 Diagrama de fluencia por tiempo largo

En este sentido, A y n son constantes de material, E la energía de activación para iniciar los procesos de deslizamiento en los límites intergranulares y R la constante de gas universal (8,31 J/mol).

El resultado del cálculo logarítmico es el siguiente

$$\ln \dot{\epsilon} = \ln A + n \cdot \ln \sigma - \frac{E}{R \cdot T} \quad (4.2)$$

A una temperatura constante, la aplicación gráfica proporciona unas rectas con el ascenso n , a una tensión constante con el ascenso E .

No obstante, estas relaciones no siempre son aplicables. Por ejemplo, en caso del plomo, el exponente de tensión n depende también de la tensión en sí. Por lo tanto, en la práctica se han desarrollado otras fórmulas, algunas de ellas considerablemente más complicadas, para describir la fluencia.

Los tiempos hasta la rotura de la probeta pueden aplicarse para diferentes cargas en un **diagrama de fluencia por tiempo largo**. Aquí se obtiene entonces la **línea de rotura de tiempo**.

4.2 Fluencia en caso de plásticos

Las curvas de fluencia de los **plásticos** son similares a las de los metales. Diferentes plásticos como el **polipropileno (PP)** o el **polietileno (PE)** muestran un marcado comportamiento de fluencia incluso a temperatura ambiente. No obstante, las causas para la fluencia son diferentes a las de los metales. Durante la fluencia se van ordenando y extendiendo las macromoléculas. La fluencia depende también en este caso de la **tensión y de la temperatura**. Debido a las diferentes estructuras moleculares resulta difícil indicar relaciones generales válidas para la fluencia en caso de plásticos. En base a unos análisis empíricos se ha obtenido la siguiente fórmula aplicable a la mayor parte de los plásticos técnicos:

$$\varepsilon = \varepsilon_0 + B \cdot \sigma^m \cdot t^k \quad (4.3)$$

Siendo ε la dilatación después del tiempo t . Las constantes B , m , k dependen del material.

La dilatación elástica ε_0 puede calcularse a través del módulo de elasticidad. En caso de muchos polímeros, esta fracción elástica en relación con la dilatación total es tan pequeña que se puede descuidar la misma

$$\varepsilon = B \cdot \sigma^m \cdot t^k \quad (4.4)$$

El resultado del cálculo logarítmico es el siguiente

$$\log \varepsilon = \log B + m \cdot \log \sigma + k \cdot \log t \quad (4.5)$$

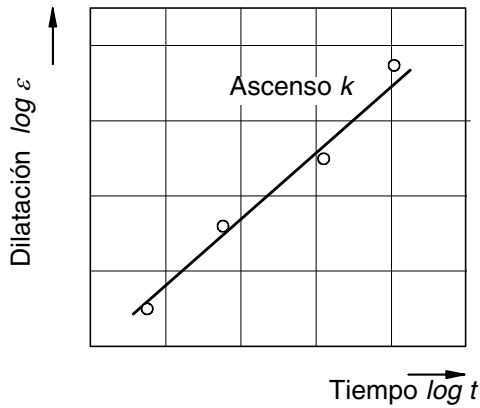


Fig. 4.5

Para una tensión constante se obtienen en caso de la aplicación de $\log \varepsilon$ a través de $\log t$ rectas con el ascenso k .

En el caso de los plásticos, la constante k se encuentra entre $k = 0,025$ y $k = 0,33$. La constante es una medida para la fracción entre la deformación elástica y viscosa.

El alargamiento a la rotura en caso de plásticos es muy grande y a menudo no se realiza el ensayo hasta la rotura. En caso de descarga, la deformación de fluencia se recupera en gran parte y se produce una **relajación**. En este sentido, el comportamiento en tiempo es de la misma magnitud que en caso de la carga.

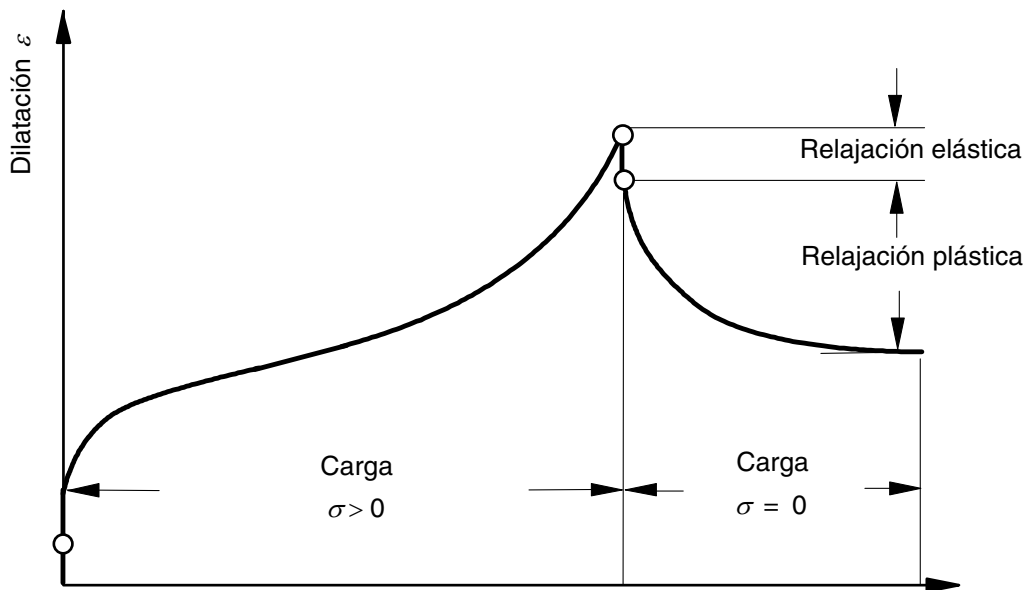


Fig. 4.6 Línea de alargamiento por fluencia con recuperación después de la descarga en caso de plásticos

5 Ensayos

La selección de ensayos no pretende ser exhaustiva, sino que más bien se trata de una sugerencia para crear ensayos propias.

Los resultados citados deben considerarse sólo a título orientativo. En función de la ejecución de los distintos componentes, de la habilidad en el campo de la técnica de ensayo y de las condiciones del entorno, pueden presentarse divergencias en el experimento propio. No obstante, se pueden demostrar claramente las leyes de la física.

El ensayo de fluencia o **por tiempo largo** sirve para determinar el comportamiento del material en caso de carga en reposo.

Al determinar el **comportamiento de fluencia por tiempo largo** no sólo es de relevancia la cuantía del esfuerzo, es decir, la tensión de tracción en el material, sino también la temperatura. Por lo tanto, las indicaciones acerca del comportamiento de fluencia por tiempo largo deben incluir también la temperatura.

5.1 Indicaciones acerca de los ensayos

Como pueden producirse altas velocidades de fluencia especialmente durante la fase 1 y 3, resulta razonable que el ensayo sea llevado a cabo por dos personas.

- Una persona observa el cronómetro y da la señal para la lectura del reloj de comparación.
- La segunda persona realiza la lectura del reloj de comparación y apunta el valor.

Las lecturas deben realizarse cada 15s en la fase inicial y cerca de la rotura. A bajas velocidades de fluencia es suficiente con mantener una separación de 1 ó 2 minutos.

Para un desarrollo intachable del ensayo resulta apropiado preparar una hoja de trabajo con los tiempos de lectura prescritos para apuntar las desviaciones.

5.2 Ejecución del ensayo

- Insertar la probeta en el Aparato para Ensayo de Fluencia "Creep" según la descripción en Capítulo 3.3.3, Página 9.
- Equipar el suspensor de pesas según la carga deseada con pesas.
- Preparar la hoja de trabajo y un bolígrafo para apuntar los alargamientos.
- Preparar el cronómetro para registrar el tiempo.
- Poner a cero el reloj de comparación.

- Enganchar el suspensor de pesas de forma suave y sin golpes y poner en marcha el cronómetro.
- Leer y apuntar los alargamientos según el plan de tiempo.



AVISO

En caso de cargas bajas, un ensayo de fluencia puede tardar mucho. Por lo tanto, para averiguar el comportamiento de la probeta debe realizarse primero un ensayo con una carga media. En función del comportamiento de fluencia puede ir adaptándose la carga en pasos pequeños (0,5...1,0N).



AVISO

Las pequeñas modificaciones de carga implican modificaciones muy grandes en la velocidad de fluencia.

5.3 Resultado de ensayo en caso de uso de las probetas de plomo

Aquí hay unas cargas razonables entre 11N y 14N correspondientes a una tensión de 11...14N/mm².

El diagrama muestra unas curvas de fluencia típicas. Se pueden reconocer claramente las 3 fases de la fluencia.

Un alargamiento de la probeta de 10mm corresponde en caso de una longitud de probeta de 25mm a una dilatación del 40%.

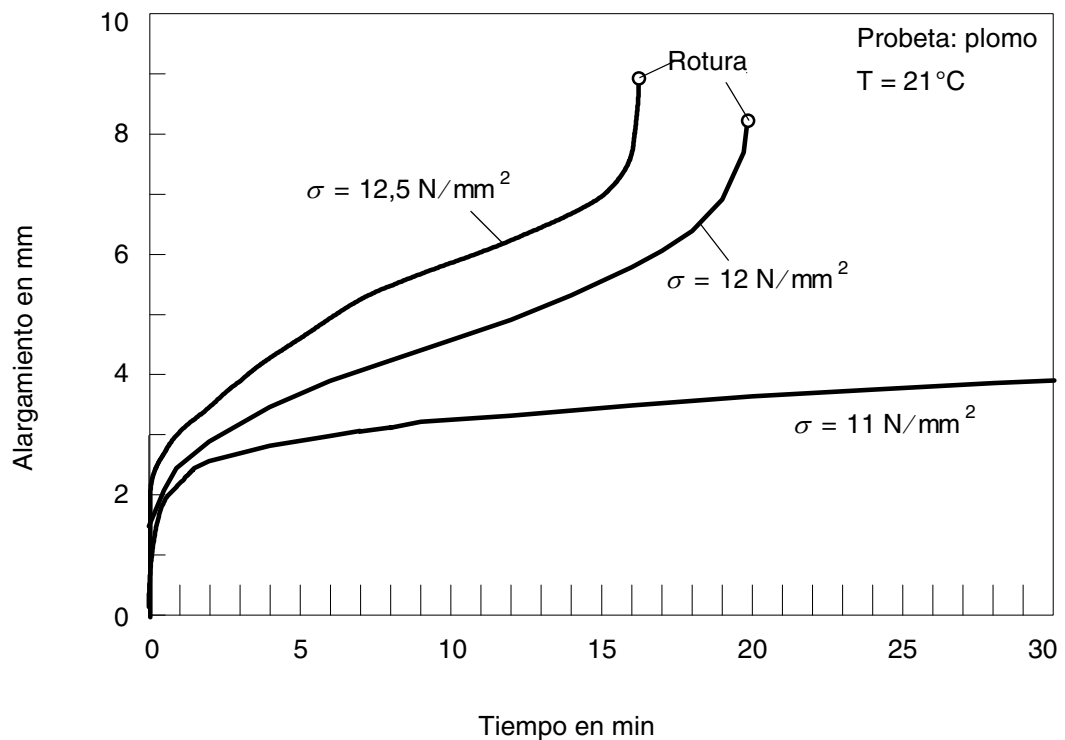


Fig. 5.1 Curva de fluencia para plomo

5.4 Resultado de ensayo en caso de uso de las probetas de polietileno

Unas cargas razonables se encuentran aquí entre 16N y 20N correspondiente a una tensión de 16...20N/mm². Como el material admite una dilatación muy grande, no cabe esperar una rotura. A cambio es posible mostrar claramente el efecto de la recuperación después de la descarga (relajación).

El diagrama muestra unas curvas de fluencia típicas.

Una prolongación de la probeta de 10mm corresponde en caso de una longitud de probeta de 25mm a una dilatación del 40%.

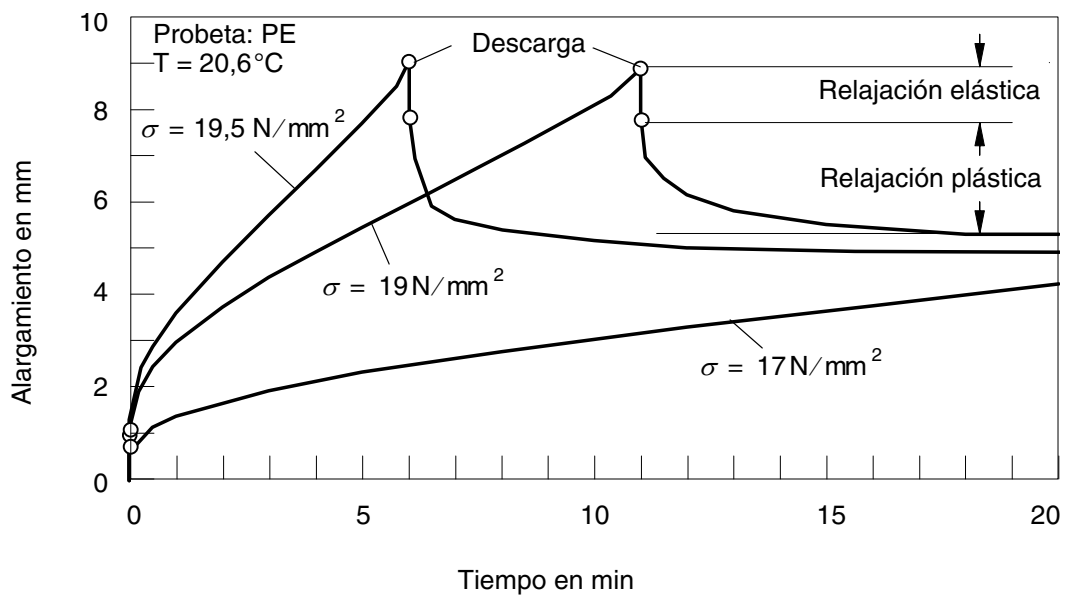


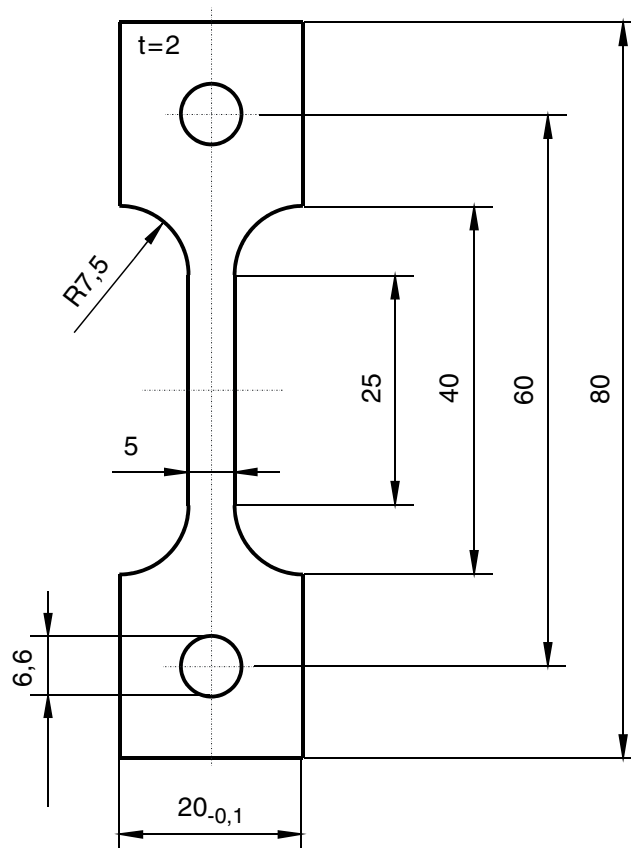
Fig. 5.2 Curva de fluencia para polietileno

6 Anexo
6.1 Datos técnicos
Dimensiones

Longitud	700 mm
Anchura	350 mm
Altura	510 mm
Peso	aprox. 23 kg

Probetas

Material	plomo, polietileno (PE)
Sección	2mm x 5 mm
Longitud de medición	25 mm



Tensión de tracción

Rango de ajuste

$$5...25 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Juego de pesas

2 x 5 N
 3 x 2 N
 3 x 1 N
 2 x 0,5 N

Termómetro de penetración

Rango de medición

-50...+300 °C

Reloj de comparación

Rango de medición

0...10 mm

Resolución

0,01 mm

6.2
Lista de los símbolos de las fórmulas y las unidades

Símbolos	Magnitud matemática/física	Unidad
A	Constante	mm ² / Ns
B	Constante	mm ² / Ns
E	Energía de activación	J/mol
k	Constante	
m	Constante	
n	Constante	
R	Constante de gas	8,314 J/mol K
t	Tiempo	s
T	Temperatura	K, °C
ε	Dilatación	$\Delta L/L_0$
$\dot{\varepsilon}$	Velocidad de dilatación/velocidad de fluencia	1/s
σ	Tensión de tracción	N/mm ²

6.3 Hoja de trabajo

t en s	ΔL en mm	ε	t en s	ΔL en mm	ε	t en s	ΔL en mm	ε
0:15								
0:30								
0:45								
1:00								
1:15								
1:30								
1:45								
2:00								
2:15								
2:30								
2:45								
3:00								
3:15								
3:30								
3:45								
4:00								
4:15								
4:30								
4:45								
5:00								

Todos los derechos reservados, G.U.N.T. Gerätebau, Barsbüttel, Alemania 12/2010