

Métodos de ensayo mecánicos

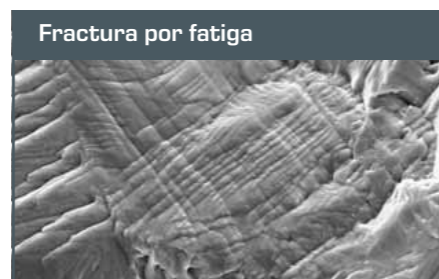
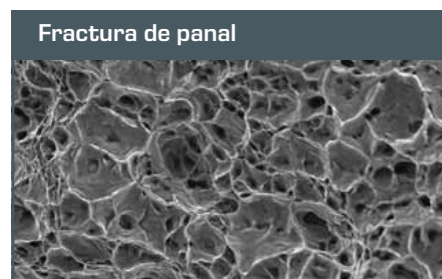
El ensayo de materiales estudia el comportamiento de los materiales sometidos a diferentes tipos de esfuerzos. En especial, se analiza la relación entre las fuerzas aplicadas y las deformaciones resultantes, así como los esfuerzos límite que pueden provocar un fallo de funcionamiento en los componentes.

Las características obtenidas a partir de los métodos de ensayo se emplean para desarrollar materiales y diseñar componentes, así como para garantizar el aseguramiento de la calidad. Para caracterizar las propiedades mecánicas de los materiales de la manera más precisa posible, se emplean métodos de ensayo normalizados:

Propiedad mecánica	Método de ensayo
Elasticidad, plasticidad	Ensayo de tracción, ensayo de compresión, ensayo de flexión, ensayo de torsión
Comportamiento del material y esfuerzo estático	
Comportamiento de fluencia	Ensayo de fluencia
Dureza	Brinell, Rockwell, Vickers
Tenacidad	Ensayo de resiliencia
Resistencia a la fatiga, resistencia continua y alterna	Ensayo de Wöhler

El comportamiento en fractura se emplea para caracterizar un material. La relación entre el mecanismo de fractura y el esfuerzo proporciona la siguiente información:

Tipo de fractura	Mecanismo de fractura	Esfuerzo
Fractura violenta <ul style="list-style-type: none"> se produce de forma brusca superficie mate o cristalina brillante y parcialmente rugosa a lo largo de toda la sección transversal; en las fracturas por deformación suelen producirse daños en los bordes 	Sobresfuerzo estático <p>a) la fractura por hendidura con deformación leve se produce cuando la tensión normal máxima supera la tensión de fractura por hendidura</p> <p>b) la fractura por deformación (fractura de panal microscópica) se produce cuando la tensión de cizallamiento máxima supera la tensión de fluencia</p> <p>c) la fractura intercrystalina con deformación leve se puede producir por una reducción de la cohesión en el borde grano bajo la influencia de una tensión normal</p>	Ensayo de tracción, ensayo de resiliencia
Fractura por fatiga <ul style="list-style-type: none"> se puede formar tras un esfuerzo reiterado bajo la influencia de tensiones de cizallamiento o tensiones normales fractura con deformación leve 	Sobresfuerzo dinámico <p>A partir de muescas o imperfecciones, las fracturas por vibración se propagan por el material. Si se supera la resistencia del material, la superficie restante se fractura violentamente.</p>	Ensayo de Wöhler
Fractura por fluencia <ul style="list-style-type: none"> proceso continuo que depende del tiempo se produce a altas temperaturas y, finalmente, provoca una fractura, aun cuando el material se vea sometido a un esfuerzo inferior al límite de elasticidad en caliente los poros que se producen en el borde de grano provocan daños en el material 	Esfuerzo estático, por ejemplo, un aumento de la temperatura <p>Se forman innumerables fisuras independientes</p>	Ensayo de fluencia



Ensayo de tracción para determinar la resistencia a la tracción y la dilatación de rotura

El ensayo de tracción se considera uno de los métodos de ensayo más importantes en el ámbito de los ensayos de materiales destructivos. En este ensayo, una probeta cuya sección transversal es conocida se somete a una fuerza relativamente pequeña pero en constante aumento en dirección longitudinal

hasta que se produce una rotura. Hasta que comienza el estrechamiento, en la probeta reina un estado simple de tensiones. El diagrama fuerza-extensión que aparece representado muestra la relación entre la tensión y la extensión.

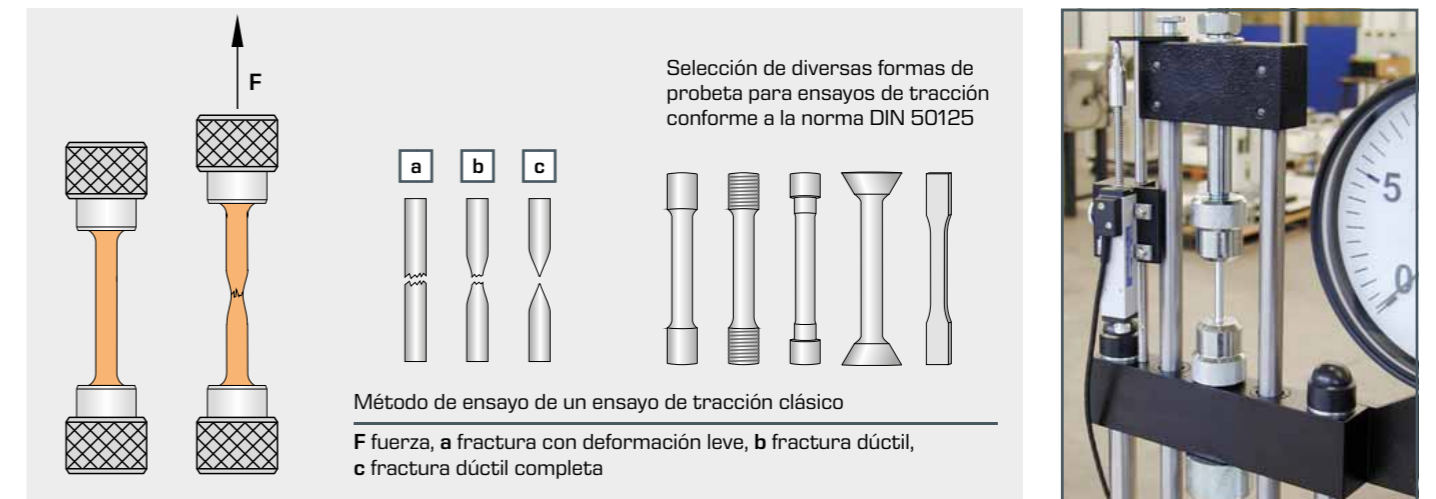
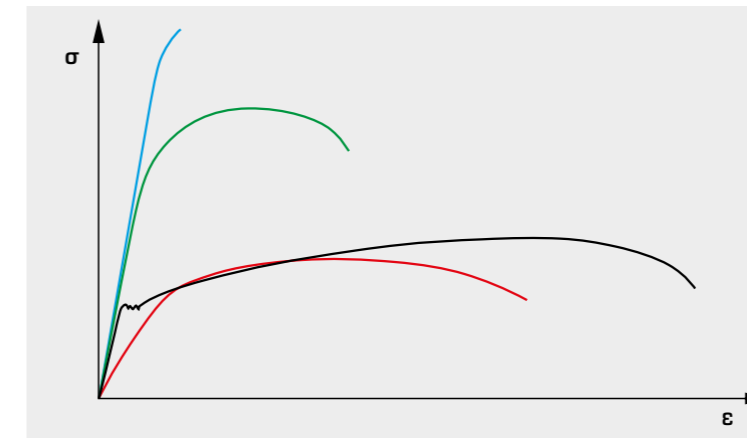
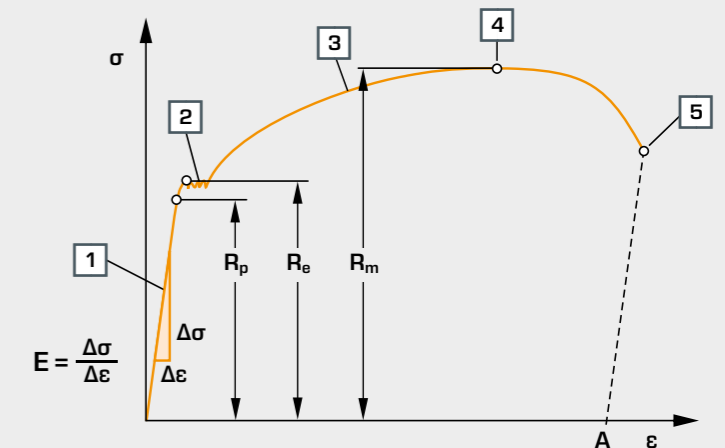


Diagrama de tensión/alargamiento

El diagrama de tensión/alargamiento muestra el diverso comportamiento de los diferentes materiales de manera especialmente clara y proporciona los valores característicos para la resistencia a la tracción R_m , el límite elástico R_e , el límite de proporcionalidad R_p , la dilatación de rotura A y el módulo de elasticidad E .

σ tensión, ϵ elongación, R_p límite de proporcionalidad, R_e límite elástico, R_m resistencia a la tracción, A dilatación de rotura

1 recta de Hook, 2 elongación de Lüders, 3 rango de solidificación, 4 comienzo del estrechamiento, 5 rotura

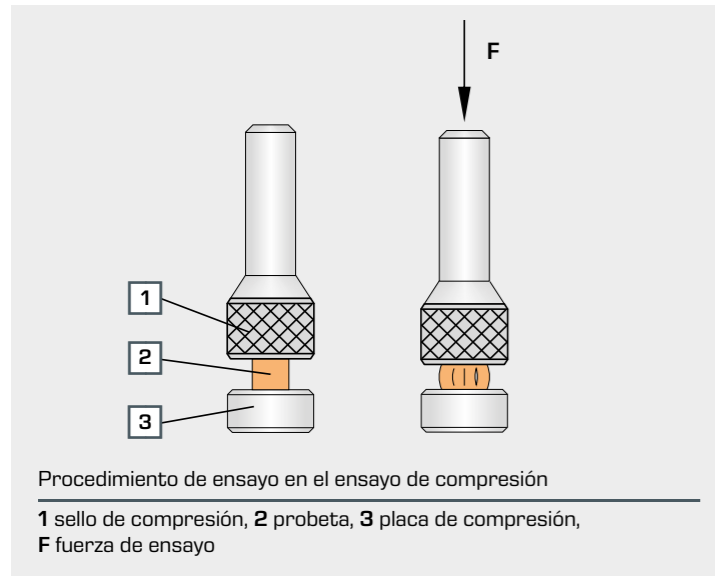


Todos los materiales tienen una evolución característica de la elongación y de la tensión.

■ acero templado: resistencia a la tracción muy elevada
 ■ acero bonificado: resistencia a la tracción elevada
 ■ acero con una reducida resistencia a la tracción: elongación muy elevada, resistencia a la tracción reducida
 ■ aleación de aluminio: módulo de elasticidad reducido

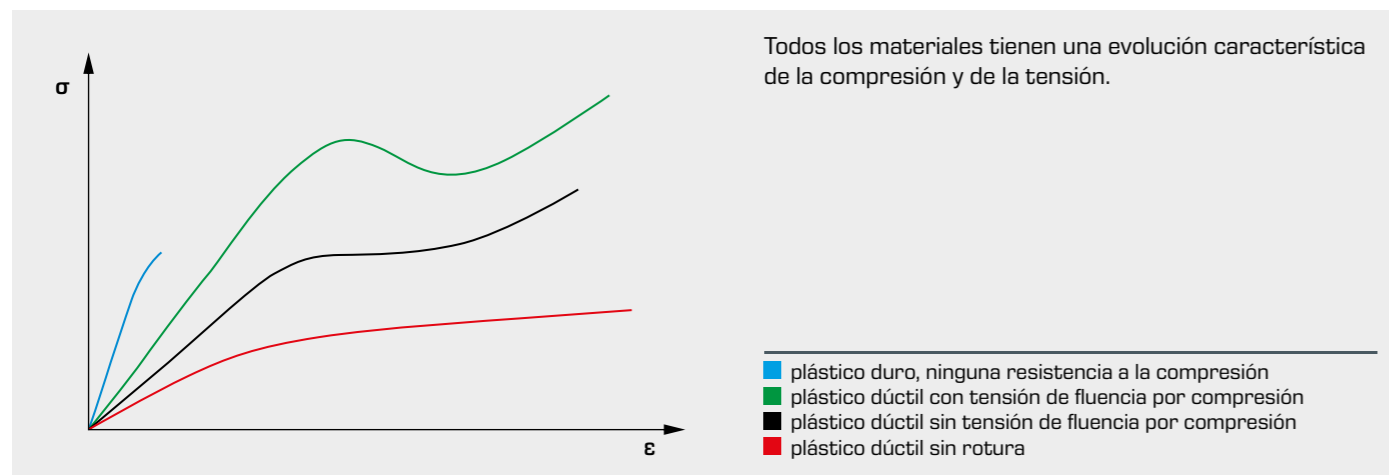
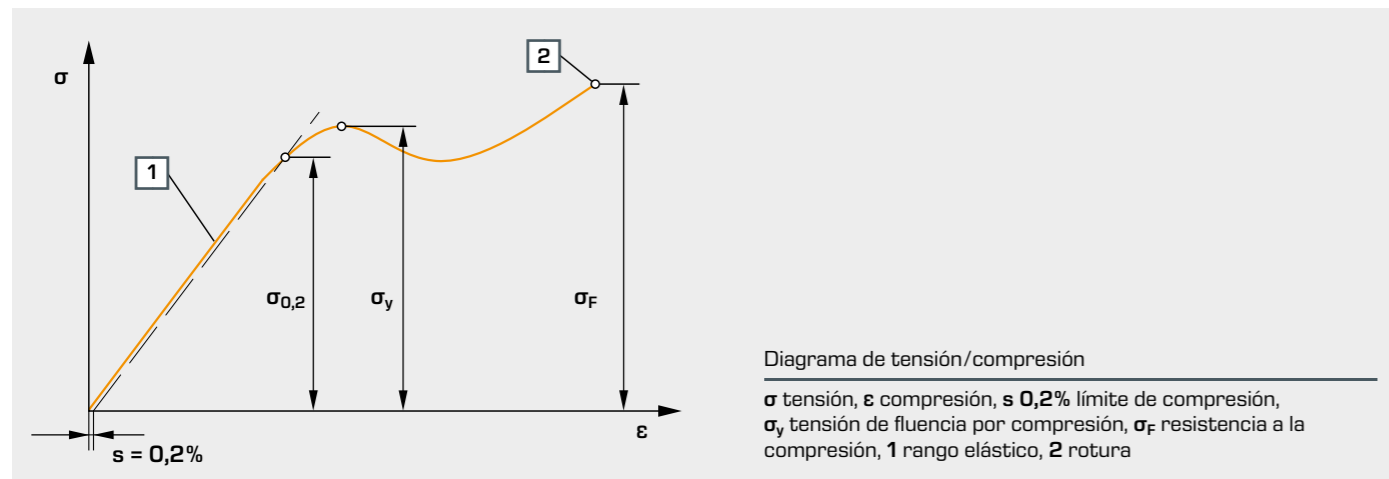
Métodos de ensayo mecánicos

Ensayo de compresión para determinar las curvas de fluencia



Los ensayos de compresión son menos relevantes a la hora de comprobar materiales metálicos que los ensayos de tracción. Sin embargo, el ensayo de compresión es muy importante a la hora de analizar materiales de construcción como la piedra natural, el ladrillo, el hormigón o la madera. En este ensayo, una probeta cuya sección transversal es conocida se somete a una fuerza pequeña pero en constante aumento en dirección longitudinal hasta que se produce una rotura. En la probeta reina un estado simple de tensiones. El diagrama fuerza-recorrido que aparece representado muestra la relación entre la tensión y la compresión. El **diagrama de tensión/compresión** muestra el diverso comportamiento de los diferentes materiales de manera especialmente clara y proporciona los valores característicos para la resistencia a la compresión, el límite de compresión 0,2% y la tensión de fluencia por compresión.

Diagrama de tensión/compresión



Diferentes procedimientos para determinar la dureza

El término "dureza" hace referencia a la resistencia mecánica que opone un cuerpo a la entrada de otro cuerpo.

Principio de la comprobación de la dureza según Brinell

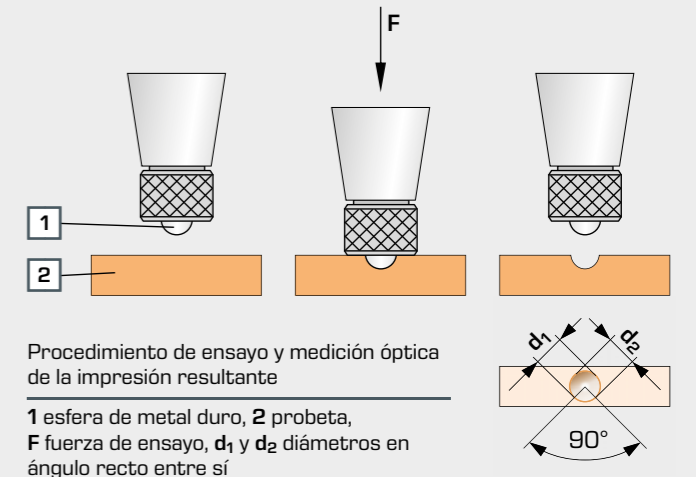
En este método de ensayo, se presiona un cuerpo de ensayo normalizado, una esfera de metal duro, en la pieza y en unas condiciones preestablecidas. A continuación, se mide ópticamente la superficie de la impresión. Partiendo del diámetro de la impresión y del diámetro de la esfera, se calcula la superficie de impresión. Bajo el cuerpo de ensayo penetrante, se forma en la probeta un estado de tensiones triaxial.

La dureza según Brinell se calcula partiendo de la fuerza de ensayo y de la superficie de impresión de la sección de la esfera.

$$HB = \frac{0,102 \cdot F}{A_B} \quad 0,102 = \frac{1}{9,81} = \frac{1}{g}$$

para calcular N en kilopondios

HB valor de dureza según Brinell, F fuerza de ensayo en N, A_B superficie de impresión en mm², g=9,81 aceleración de gravedad

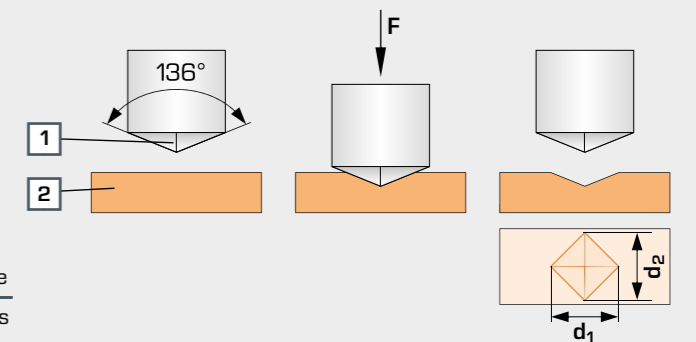


Principio de la comprobación de la dureza según Vickers

El método de ensayo es el mismo que se aplica en la comprobación de la dureza según Brinell. A diferencia de en el ensayo de Brinell, en este caso se utiliza un diamante piramidal como cuerpo de ensayo. Midiendo ambas diagonales d₁ y d₂ y calculando el valor medio se determina la diagonal de impresión. La dureza de Vickers se obtiene como cociente de la fuerza de ensayo y la superficie de impresión.

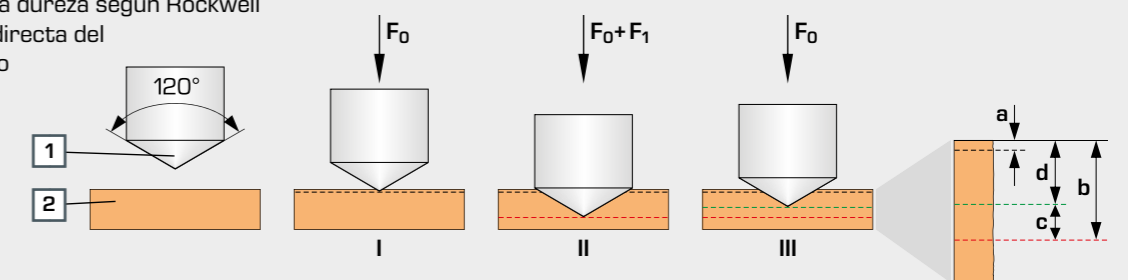
Procedimiento de ensayo y medición óptica de la impresión resultante

1 diamante piramidal, 2 probeta, F fuerza de ensayo, d₁ y d₂ diagonales



Principio de la comprobación de la dureza según Rockwell

La comprobación de la dureza según Rockwell permite una lectura directa del índice de dureza como diferencia de las profundidades de penetración en el reloj de comparación.



Procedimiento de ensayo y medición de la profundidad de penetración

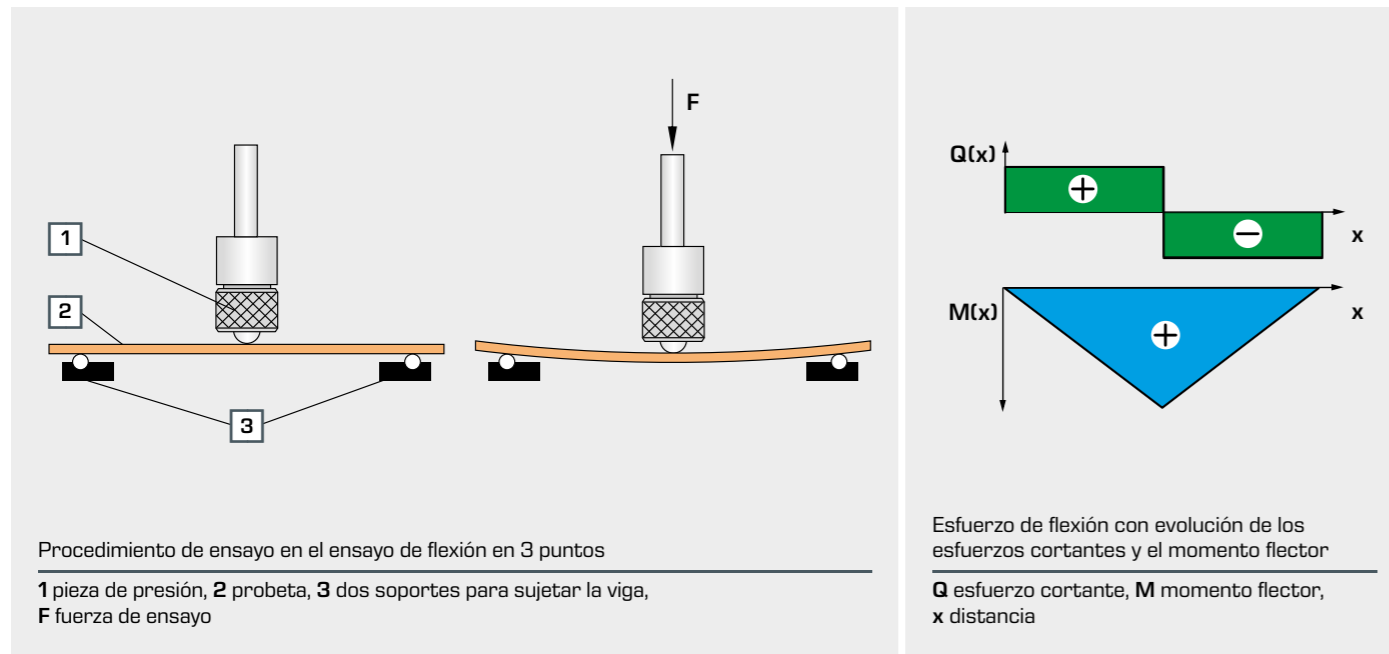
1 cono de diamante, 2 probeta, I la fuerza de ensayo previa F₀ se aplica al cuerpo de ensayo y el reloj de comparación se pone a cero, II la fuerza de ensayo adicional F₁ se aplica durante un periodo de actuación determinado, III la fuerza de ensayo adicional F₁ se interrumpe, a profundidad de penetración con la fuerza de ensayo previa F₀, b profundidad de penetración con la fuerza de ensayo adicional F₁, c deformación de recuperación elástica tras interrumpir la fuerza de ensayo adicional F₁, d profundidad de penetración resultante h

Métodos de ensayo mecánicos

Ensayos de flexión para analizar el comportamiento de deformación

El caso de esfuerzo por flexión más estudiado en el ámbito de los ensayos de materiales es el ensayo de flexión en 3 puntos. En este ensayo, se analiza una viga suspendida en dos soportes a la que se aplica una fuerza en el centro. El ensayo de flexión

demuestra la relación entre la carga de una viga de flexión y su deformación elástica. En este caso, queda patente la influencia del módulo de elasticidad y del momento de inercia de una superficie.

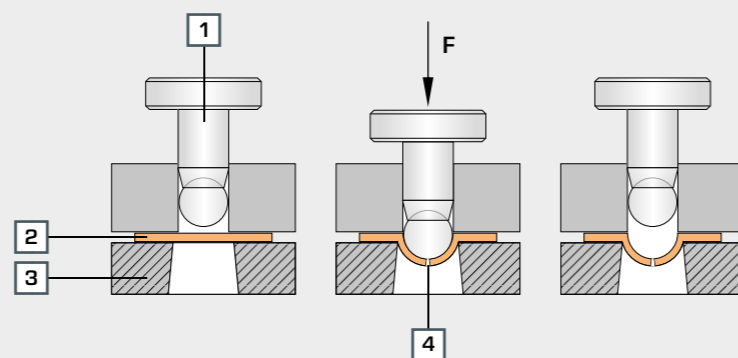


Ensayo de embutición para determinar la capacidad de embutición (ductilidad en frío) de chapas y bandas

El nivel de exigencia asociado a la ductilidad en frío de chapas y bandas para embutición es muy elevado. Este tipo de chapas

puede sufrir grietas durante su procesamiento. En el ensayo de embutición se comprueba la ductilidad en frío de las chapas.

La probeta de embutición se sujeta entre un sujetachapas y una matriz, y se abolla (se embute) con un sello esférico hasta que la probeta se rompe. La profundidad alcanzada sirve como medida para la ductilidad en frío. Además, también se evalúan el tipo de rotura y la estructura superficial de la zona abollada.



Ensayo de cizallamiento para analizar la capacidad de resistencia al cizallamiento

El ensayo de cizallamiento se emplea en la comprobación de tornillos, remaches, pasadores y chavetas, para determinar la resistencia al cizallamiento del material y el comportamiento del material bajo esfuerzo de cizallamiento. Para ello, se generan en la probeta tensiones de cizallamiento por medio de esfuerzos

cortantes aplicados desde fuera, hasta que la probeta falla y se termina desgarrando. La resistencia de un material frente al esfuerzo de cizallamiento se puede determinar con ayuda de dos procedimientos; el procedimiento de ensayo de corte simple y el de corte doble.

En el procedimiento de corte doble, se realizan dos cortes transversales en las probetas; en el procedimiento de corte simple, solo se realiza un corte en la probeta. El cálculo de la resistencia de cizallamiento en ambos procedimientos se diferencia en el área de sección transversal aplicable. La resistencia al cizallamiento calculada por medio del ensayo de cizallamiento es de vital importancia en el dimensionado de tornillos, remaches y pasadores, así como en el cálculo de la fuerza necesaria para el corte o el troquelado.

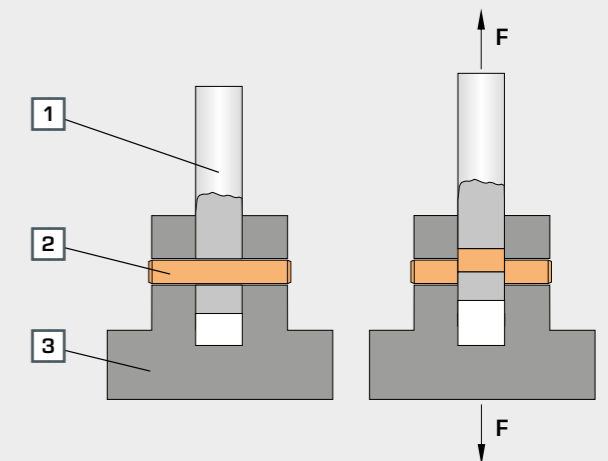
$$\tau = \frac{F}{2 \cdot A}$$

Resistencia al cizallamiento mediante procedimiento de corte simple

τ resistencia al cizallamiento, F fuerza, A superficie de cizallamiento

Procedimiento de ensayo en el ensayo de cizallamiento de corte doble

1 correa de arrastre, 2 probeta, 3 carcasa, F fuerza de ensayo

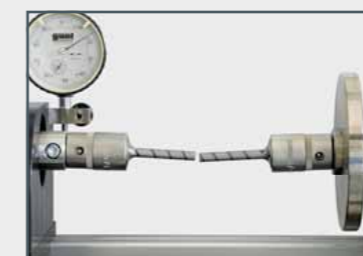


Ensayo de torsión para analizar el comportamiento plástico de los materiales

Aquellos componentes que se ven sometidos a rotaciones, sufren un giro. Este giro se denomina torsión. La resistencia a la torsión determinada en el ensayo de torsión sirve como orientación para determinar la resistencia a los esfuerzos del

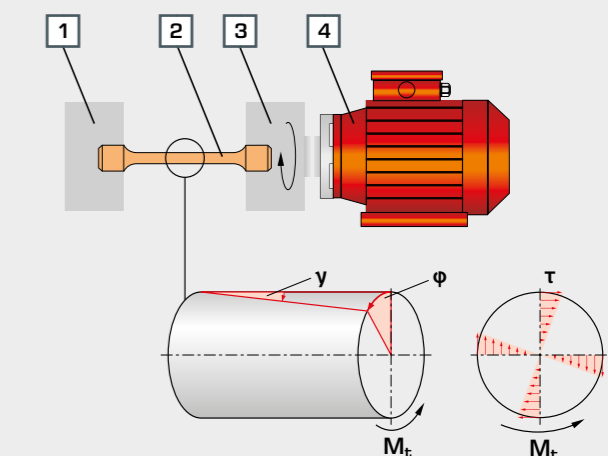
material. Este tipo de ensayo se realiza en árboles, ejes, alambres y resortes, así como para evaluar la tenacidad de los aceros para herramientas.

En el ensayo de torsión, una probeta se sujeta firmemente por uno de sus extremos, mientras que en el otro se aplica un par motor de aumento constante, el momento de torsión. El momento de torsión provoca tensiones de cizallamiento en la sección transversal de la probeta, generando un estado de tensión que conduce a una deformación y, por último, a una rotura.



Procedimiento de ensayo en el ensayo de torsión

1 sujeción fija, 2 probeta, 3 sujeción giratoria, 4 accionamiento; M_t momento de torsión, γ ángulo de corte, ϕ ángulo de torsión, τ tensión de cizallamiento



Métodos de ensayo mecánicos

Ensayo de resiliencia para determinar la tenacidad

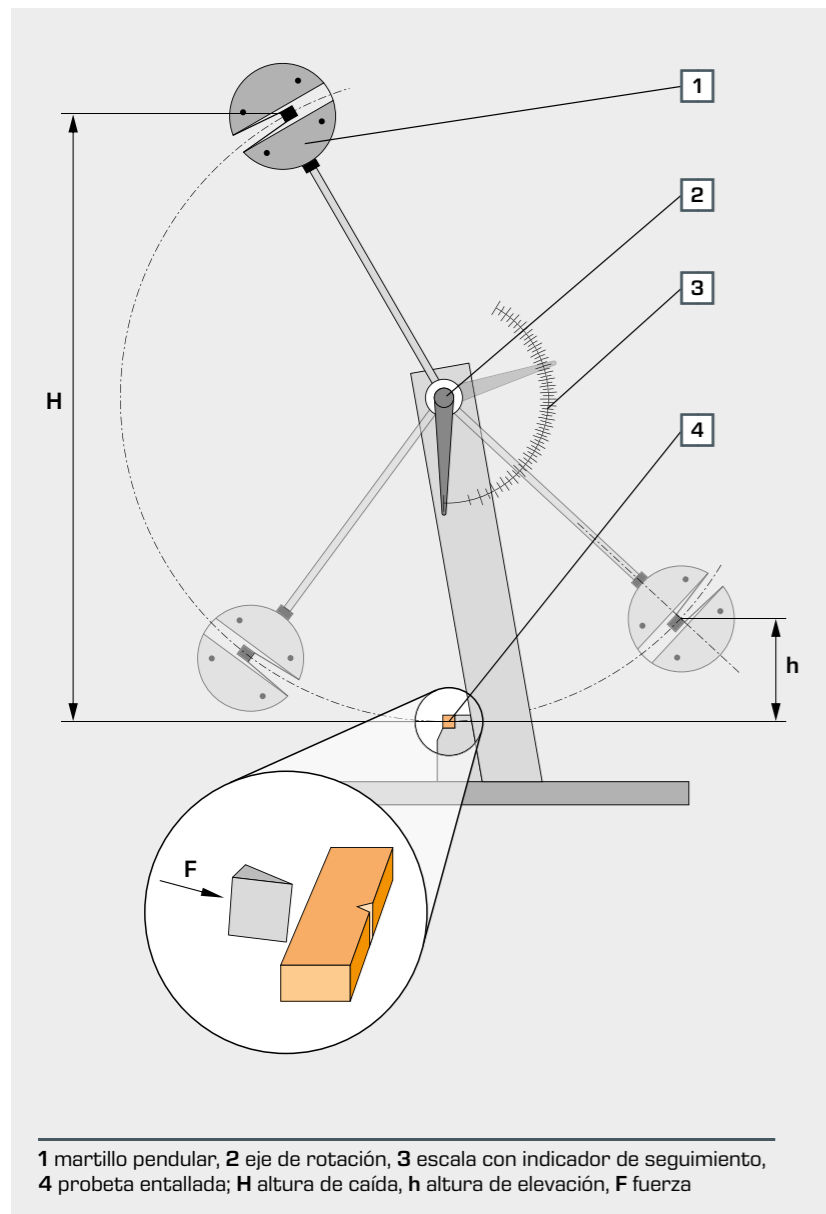
El ensayo de resiliencia es un procedimiento en el que se aplica un esfuerzo brusco y que está especialmente indicado para determinar la tenacidad o la tendencia de los materiales a sufrir una fractura por fragilidad. Este método de ensayo no proporciona valores característicos del material. El valor obtenido en el ensayo de resiliencia, la resiliencia, no se aplica directamente para calcular la resistencia, sino que contribuye únicamente a facilitar la selección de los materiales para determinadas tareas.

El comportamiento de deformación suele ser un criterio importante a la hora de seleccionar un material. De esta manera, se puede determinar rápidamente cuáles de los materiales seleccionados son frágiles o resistentes. La fragilidad de un material

no solo depende del material en sí, sino también de las condiciones externas, como por ejemplo, de la temperatura y del estado de tensiones.

Existen diferentes métodos de ensayo para determinar la resiliencia de un material. En el método de ensayo según Charpy, el cuerpo de ensayo se sustenta sobre dos puntos, de forma que el péndulo impacta en el centro del cuerpo de ensayo a la altura de la muesca. En los métodos de ensayo según Izod y según Dynstat, el cuerpo de ensayo se coloca de canto, y el péndulo impacta por encima de la muesca sobre el extremo libre del cuerpo de ensayo.

Principio del ensayo de resiliencia según Charpy



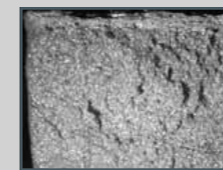
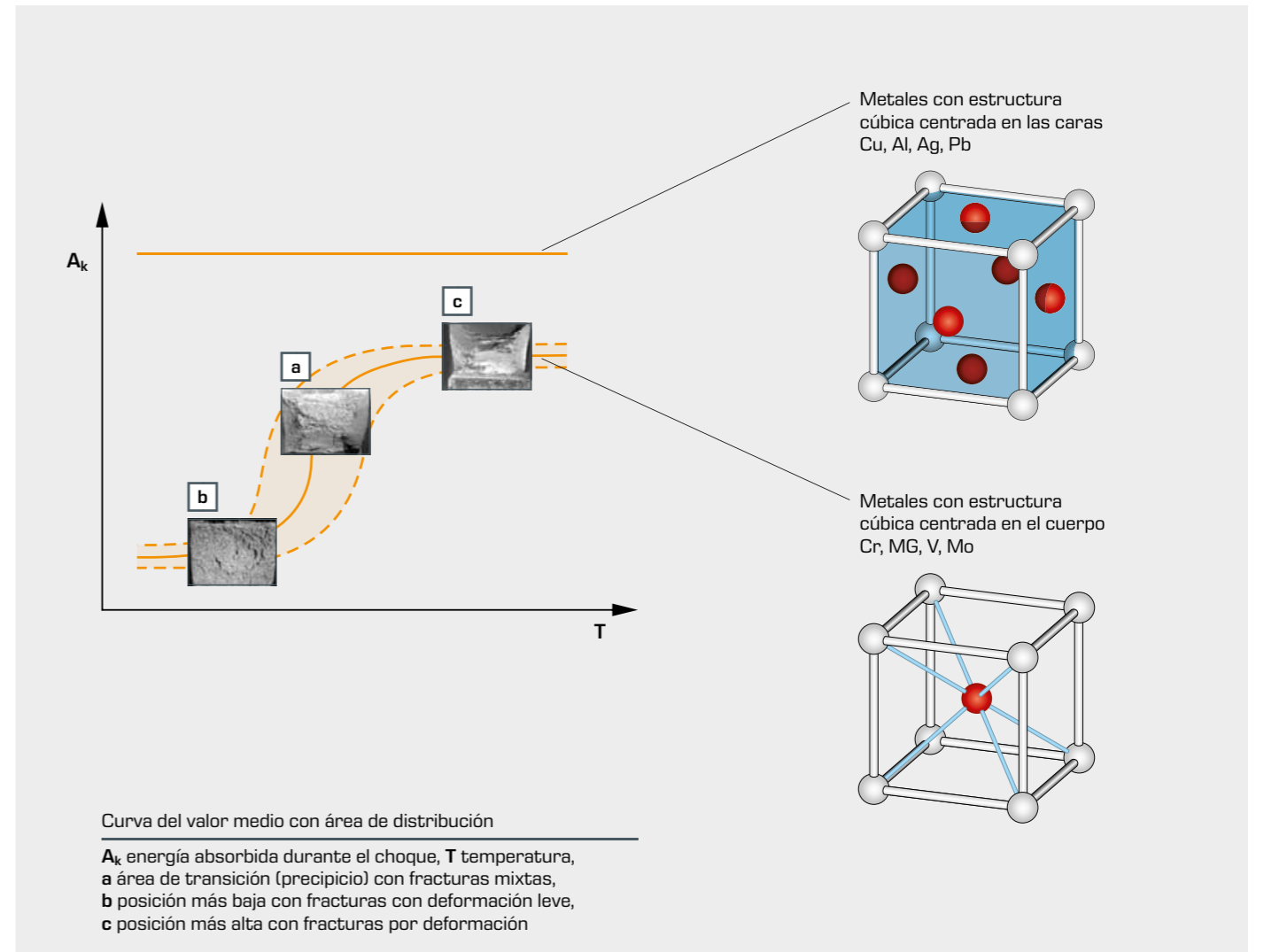
En este ensayo de resiliencia, el péndulo impacta desde una altura máxima. Según el principio de Charpy, el péndulo impacta, en su punto más bajo, sobre el dorso de una probeta entallada. Al atravesar o impactar sobre la probeta en el pilar, el péndulo emite su energía de impacto a la probeta. La energía residual del péndulo se reduce cada vez que vuelve a pasar por el punto más bajo (punto cero), de forma que se va frenando. Al oscilar el péndulo a través del punto cero, el indicador de seguimiento se mueve e indica la energía absorbida durante el choque en una escala.

La forma de las probetas para ensayos de resiliencia está normalizada.

La energía absorbida durante el choque necesaria es la fuerza que se requiere para atravesar una probeta entallada. La resiliencia calculada a partir de la energía absorbida durante el choque es una medida aplicable a la fragilidad del material.



Diagrama de energía absorbida durante el choque en función de la temperatura



Fractura con deformación leve (materiales frágiles)

- la separación del material se produce por tensiones normales a través de los planos de exfoliación
- rotura transcristalina
- superficie de rotura brillante sin apenas deformaciones



Fractura mixta

- fractura por deformación externa (fractura de panal microscópica), fractura con deformación leve interna (fractura por hendidura microscópica)



Fractura por deformación (materiales dúctiles)

- deformación dúctil, fractura en los granos
- superficie de rotura mate, muy deformada

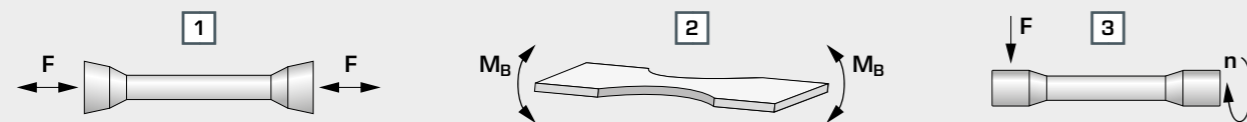
Métodos de ensayo mecánicos

Fatiga del material

Ensayo de resistencia a la fatiga

La resistencia a la fatiga define el límite de carga que resiste un material sometido a una carga dinámica sin romperse. Son especialmente las piezas de máquinas en movimiento las que se ven sometidas a esfuerzos dinámicos provocados, por ejemplo,

por vibraciones. En este sentido, tras un índice elevado de cambio de carga se produce una fractura en tensiones que están muy por debajo del límite elástico y de la tensión de fractura.

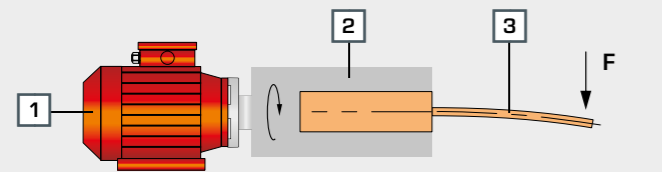


Probetas sometidas a diferentes esfuerzos

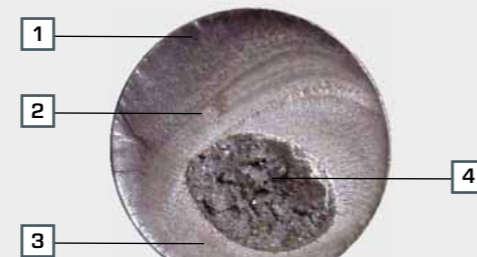
1 probeta sometida a un esfuerzo de tracción o compresión, 2 probeta sometida a una flexión alterna, 3 probeta sometida a una flexión circulante; F fuerza, M_B momento flector, n número de revoluciones

Principio del ensayo de resistencia a la fatiga con esfuerzo aplicado sobre la flexión circulante

En el ensayo de resistencia a la fatiga, se somete una probeta rotatoria sujeta por un extremo a un momento flector. En la probeta cilíndrica se genera un esfuerzo alterno por flexión circulante. Transcurridos un determinado número de ciclos de carga, la probeta se rompe debido a la fatiga del material.



1 accionamiento, 2 sujeción fija, 3 probeta en rotación

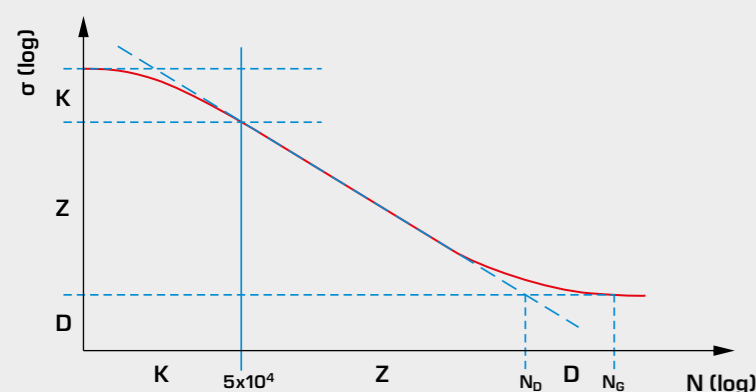


Evaluación de la superficie de rotura según el ensayo de resistencia a la fatiga

1 a 3 fractura por fatiga, 4 fractura por fuerza residual

Curva de Wöhler para la evaluación del ensayo

En la curva de Wöhler, se registra gráficamente la relación entre el cambio de carga hasta la fractura y el esfuerzo de tensiones correspondiente.



La curva de Wöhler incluye tres áreas:

Resistencia a corto plazo: supera un límite de carga en el que, invariablemente, se producen daños en la probeta

Resistencia a la fatiga: cuanto mayor es la carga más se reduce el índice de cambio de carga hasta la fractura de la probeta

Límite de fatiga: tensión máx. que soporta una probeta de forma continuada y sin apenas sufrir deformaciones no permitidas, al menos hasta que alcanza el índice de cambio de carga límite N_G

Vida útil: índice N del cambio de carga hasta que se produce una fractura con una determinada carga

N cambio de carga, σ esfuerzo de tensiones, K resistencia a corto plazo, Z resistencia a la fatiga, D límite de fatiga, N_D índice de cambio de carga a partir del límite de fatiga se aplica, N_G índice de cambio de carga límite

Ensayo de fluencia para el análisis de procesos de fluencia

Los materiales se comportan de manera diferente con cargas estáticas continuadas a temperaturas en ascenso a con la misma carga pero a temperatura de local. Las temperaturas en ascenso provocan una deformación plástica, lenta pero irreversible, en tensiones por debajo del límite de elasticidad en

caliente sin aumento de la carga transcurrido un determinado espacio de tiempo. Este procedimiento también se denomina fluencia. Tras un periodo de carga suficientemente largo y continuado, se produce una fractura de la probeta.

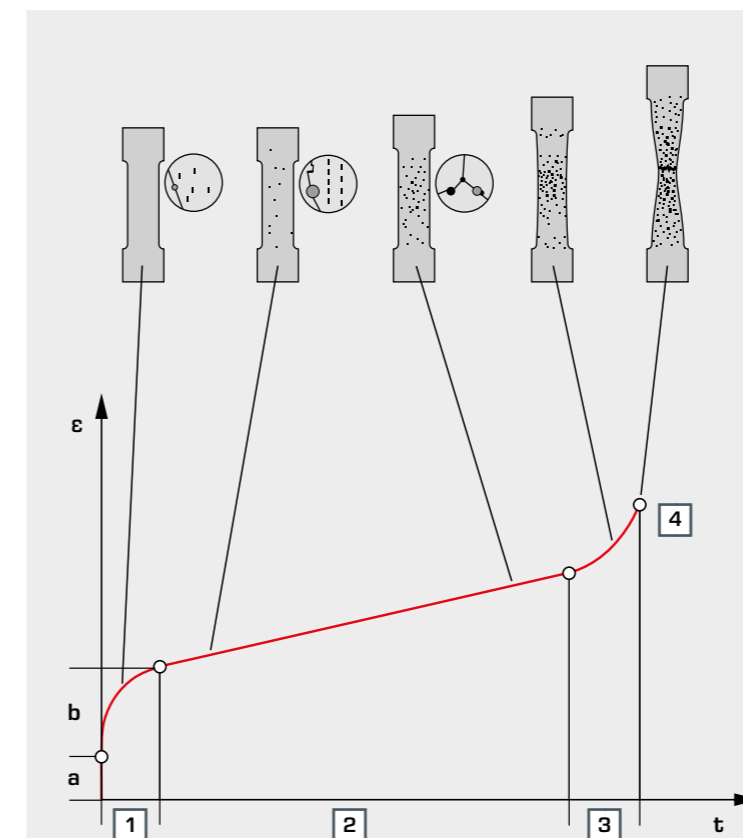
Principio del ensayo de fluencia

En el ensayo de fluencia, se somete una probeta a una tensión y temperatura constantes. El ensayo se realiza varias veces con diferentes tensiones, pero con una misma temperatura. Las elongaciones plásticas se miden en intervalos continuos. Al finalizar, los valores medidos se pueden registrar en un diagrama

de fluencia. La elongación medida muestra una evolución característica denominada curva de fluencia. En el ensayo de fluencia, se determinan los valores característicos para la resistencia a la fluencia y las elongaciones.

Curva de la elongación en función del tiempo

Si se registra la elongación en función del tiempo, se obtiene una curva de la elongación en función del tiempo.



Resistencia a la fluencia (límite de fractura por tiempo/límite de elongación por tiempo): tensiones mecánicas que provoca elongaciones o fracturas permanentes

Elongaciones: elongación por fluencia, elongación permanente, elongación inicial elástica, elongación de retorno inelástica

En la curva de la elongación en función del tiempo, se diferencian tres fases en áreas de fluencia técnica:

Fase 1, fluencia primaria con disminución de la elevada velocidad de fluencia. En este caso, resulta determinante la influencia del ablandamiento del material (fluencia más rápida).

Fase 2, fluencia secundaria con velocidad de fluencia prácticamente constante. La escalada de desplazamiento al superar las obstrucciones de flujo se encuentra en un equilibrio estacionario.

Fase 3, fluencia terciaria con velocidad de fluencia en aumento constante hasta la rotura, debido a un estrechamiento de rotura en aumento y a un incremento de las tensiones reales. En las fracturas de deformación leve, la fase 3 puede ser muy breve.

Cambio de la probeta a lo largo del ensayo

t tiempo, ϵ elongación, 1 fluencia primaria, 2 fluencia secundaria, 3 fluencia terciaria, 4 fractura de la probeta, a deformación elástica, b deformación plástica