

9 Exactitud de los dispositivos de ensayo

El sistema de medida de la fuerza de la máquina de ensayo debe estar de acuerdo con la Norma EN ISO 7500-1 y debe ser al menos de clase 1.

Para la determinación del límite elástico convencional (plástico o alargamiento total) el extensómetro utilizado debe ser al menos de clase 1, conforme a la Norma ISO 9513, en el intervalo apropiado. Para otras propiedades (con alargamientos superiores al 5%) se puede utilizar un extensómetro de clase 2, conforme a la Norma ISO 9513, en el intervalo apropiado.

10 Condiciones de ensayo

10.1 Reglaje del punto de fuerza cero

El sistema de medida de la fuerza de la máquina debe llevarse al cero después del ensamblaje del tren de carga del ensayo, pero antes de que la probeta se fije en ambos extremos. Una vez se haya establecido el punto de fuerza cero, el sistema de medida de la fuerza no debe cambiar de ningún modo durante el ensayo.

NOTA La utilización de este método garantiza, por un lado, que el peso del sistema de sujeción se ve compensado durante la medición de la fuerza y, por otro, que cualquier fuerza que resulte de la operación de amordazado no afecta a dicha medición.

10.2 Método de sujeción

Las probetas deben sujetarse mediante instrumentos adecuados tales como cuñas, fijaciones atornilladas, mordazas dentadas o asideros amordazados.

Debería ponerse el máximo empeño posible en asegurar que las probetas estén sujetas de manera tal que la fuerza se aplique lo más axialmente posible con el objeto de minimizar flexiones (se proporciona más información en la Norma ASTM E1012^[8], por ejemplo). Esto es de particular importancia cuando se están ensayando materiales frágiles o cuando se está determinando el límite elástico convencional (alargamiento plástico) o el límite elástico convencional (alargamiento total) o el límite elástico aparente.

Con el objeto de asegurar la alineación de la probeta y la disposición de las fijaciones, puede aplicarse una fuerza preliminar siempre que ésta no exceda un valor correspondiente al 5% del límite elástico aparente preestablecido o esperado. Sólo debería llevarse a cabo una corrección de la prolongación para tener en cuenta el efecto de la fuerza preliminar.

10.3 Velocidades de ensayo

10.3.1 Información general respecto a las velocidades de ensayo

A menos que se acuerde de otra forma, la elección del método (A1, A2, o B) y las velocidades de ensayo son a elección del fabricante o del laboratorio de ensayo elegido por el fabricante, de forma que se cumplan los requisitos de esta parte de la Norma ISO 6892.

NOTA 1 La diferencia entre el Método A y el Método B es que la velocidad de ensayo necesaria del Método A se define en el punto de interés (por ejemplo, $R_{p0.2}$), en que la propiedad tiene que determinarse: mientras que en el Método B, la velocidad de ensayo necesaria se define en el intervalo elástico antes de que la propiedad (por ejemplo, $R_{p0.2}$) tenga que determinarse.

NOTA 2 Bajo ciertas condiciones utilizando el Método B (por ejemplo, para algunos tipos de acero, la velocidad de tensión en el intervalo elástico de aproximadamente 30 MPa/s, utilizando un anillo de ensayo y un sistema de sujeción con una alta rigidez y una geometría de probeta conforme a la tabla B.1 del anexo B. Puede observarse una probeta tipo 2), para una velocidad de deformación cerca del intervalo 2 del Método A.

NOTA 3 Las normas de producto y las correspondientes normas de ensayo (por ejemplo, normas aeroespaciales) pueden especificar velocidades de ensayo que son diferentes de las contenidas en esta parte de la Norma ISO 6892.

10.3.2 Velocidad de ensayo basada en la velocidad de deformación (método A)

10.3.2.1 Generalidades

El método A pretende minimizar la variación de las velocidades de ensayo en el momento en el que se determinan los parámetros sensibles a la velocidad de deformación, así como la incertidumbre en la medición de los resultados del ensayo.

En este apartado se describen dos tipos diferentes de controles de la velocidad de deformación.

- El Método A1 de ciclo cerrado implica el control de la velocidad de deformación en sí misma, $\dot{\epsilon}_{L_e}$, que se basa en la información arrojada por un extensómetro.
- El Método A2 de ciclo abierto implica el control de la velocidad estimada de deformación en la longitud calibrada, $\dot{\epsilon}_{L_c}$, que se obtiene controlando la velocidad de separación de las mordazas que se calcula multiplicando la velocidad requerida de deformación por la longitud calibrada [véase la fórmula (2)].

NOTA El anexo F describe un procedimiento más riguroso de estimación de la velocidad de deformación para el Método A2.

Si un material muestra un escalón de cedencia no discontinuo y la fuerza permanece nominalmente constante, la velocidad de deformación $\dot{\epsilon}_{L_e}$, y la velocidad estimada de deformación en la longitud calibrada, $\dot{\epsilon}_{L_c}$, son aproximadamente iguales. Existen diferencias cuando el material presenta escalón de cedencia o fluencia serrada (por ejemplo, algunos aceros y aleaciones de AlMg en el intervalo de prolongación del escalón de cedencia, o materiales que muestran fluencias serradas como el efecto Portevin-le Chatelier) o si se produce estricción. Si la fuerza es creciente, la velocidad de deformación [si la velocidad de separación de las mordazas se calcula según la fórmula (2)] puede ser inferior que el intervalo de deformación buscada debido a la rigidez de la máquina de ensayo.

La velocidad de ensayo debe cumplir los siguientes requisitos:

- a) A menos que se especifique de otra forma, cualquier velocidad conveniente de ensayo se puede utilizar hasta llegar a una fuerza equivalente a la mitad del límite elástico. Por encima de este intervalo y para la determinación de R_{eH} , R_p o R_t , debe aplicarse la velocidad de deformación preestablecida, $\dot{\epsilon}_{L_e}$ (o la velocidad de separación de las mordazas para el Método B). En este intervalo, con el fin de eliminar la influencia de la rigidez de la máquina de ensayo de tracción, es necesario utilizar un extensómetro amordazado sobre la probeta de modo que haya un control preciso de la velocidad de deformación. Para máquinas de ensayo que no puedan controlar la velocidad de deformación, se puede utilizar el método A2.

- b) Durante el escalón de cedencia, debería aplicarse la velocidad estimada de deformación en la longitud calibrada, $\dot{\epsilon}_{L_c}$ (véase 3.7.2). En este intervalo es imposible controlar la velocidad de formación utilizando el extensómetro amordazado sobre la probeta porque pueden aparecer cedencias locales fuera de la longitud base del extensómetro. La velocidad estimada de deformación requerida en la longitud calibrada puede mantenerse en este intervalo de forma suficientemente precisa utilizando una velocidad de separación de las mordazas constante, v_c (véase 3.7.3) (ciclo abierto);

$$v_c = L_c \dot{\epsilon}_{L_c} \quad (2)$$

donde

$\dot{\epsilon}_{L_c}$ es la velocidad estimada de deformación en la longitud calibrada;

L_c es la longitud calibrada.

- c) En el intervalo siguiente a R_p o R_t o al final de la cedencia (véase 3.7.2), se puede utilizar $\dot{\epsilon}_{L_e}$ o $\dot{\epsilon}_{L_c}$. Se recomienda la utilización de $\dot{\epsilon}_{L_c}$ para evitar problemas de control que podrían surgir si se produjese estricción fuera de la longitud base del extensómetro.

Durante la determinación de la propiedad del material que corresponda (véase también la figura 9) deben mantenerse las velocidades de deformación establecidas en los apartados 10.3.2.2 a 10.3.2.4.

En el cambio a otra velocidad de deformación o a otro modo de control no deberían introducirse discontinuidades en la curva carga unitaria-deformación que pudieran distorsionar los valores de R_m , A_g o A_{gt} (véase la figura 10). Este efecto puede reducirse mediante un cambio gradual adecuado entre las velocidades.

También la forma de la curva carga unitaria-deformación en el intervalo de endurecimiento por precipitación puede verse influenciada por la velocidad de deformación. La velocidad de ensayo utilizada debería documentarse (véase 10.3.4).

10.3.2.2 Velocidad de deformación para la determinación del límite superior de cedencia, R_{eH} , o las propiedades de límite elástico convencional, R_p , y límite de alargamiento, R_t .

La velocidad de deformación, $\dot{\epsilon}_{L_e}$, debe mantenerse tan constante como sea posible hasta e incluyendo la determinación de R_{eH} , R_p o R_t . Durante la determinación de estas propiedades del material, la velocidad de formación, $\dot{\epsilon}_{L_e}$, debe encontrarse en uno de los dos intervalos establecidos siguientes (véase también la figura 9).

Intervalo 1: $\dot{\epsilon}_{L_e} = 0,000\ 07\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$

Intervalo 2: $\dot{\epsilon}_{L_e} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$ (recomendado a menos que se especifique lo contrario).

Si la máquina de ensayo no puede controlar la velocidad de deformación directamente, debe utilizarse el Método A2.

10.3.2.3 Velocidad de deformación para la determinación del límite inferior de cedencia, R_{eL} , y la extensión porcentual del escalón de cedencia, A_e .

A semejanza de la determinación del límite superior de cedencia (véase A.3.2), la velocidad estimada de deformación, $\dot{\epsilon}_{L_c}$, debe encontrarse en uno de los dos intervalos establecidos siguientes (véase la figura 9) hasta que finalice el escalón de cedencia.

Intervalo 2: $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$ (recomendado cuando se determine R_{eL}).

Intervalo 3: $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,002\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$.

10.3.2.4 Velocidad de deformación para la determinación de la resistencia a la tracción, R_m , alargamiento porcentual de rotura, A , extensión total porcentual bajo fuerza máxima, A_{gt} , extensión plástica porcentual bajo fuerza máxima, A_g , y coeficiente de estricción, Z

Tras la determinación de las propiedades requeridas de límites de cedencia/elásticas convencionales, la velocidad estimada de deformación en la longitud calibrada, $\dot{\epsilon}_{L_c}$, debe cambiarse a uno de los intervalos establecidos siguientes (véase la figura 9).

Intervalo 2: $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$

Intervalo 3: $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,002\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$

Intervalo 4: $\dot{\epsilon}_{L_c} = 0,006\ 7\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$ ($0,4\ min^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$) (recomendado a menos que se especifique lo contrario).

Cuando el objeto del ensayo de tracción sea únicamente determinar la resistencia a la tracción, puede aplicarse a lo largo del ensayo una velocidad estimada de deformación en la longitud calibrada de la probeta conforme con los intervalos 3 o 4.

10.3.3 Velocidad de deformación basada en la velocidad de puesta en carga (método B)

10.3.3.1 Generalidades

Las velocidades de ensayo deben ajustarse a los requisitos de los apartados siguientes dependiendo de la naturaleza del material. A menos que se especifique lo contrario, se puede utilizar cualquier velocidad de ensayo conveniente hasta una carga unitaria equivalente a la mitad del límite elástico aparente preestablecido. Las velocidades de ensayo por encima de este punto se especifican a continuación.

NOTA No es la intención del Método B el mantener constante la velocidad de deformación o de controlar ésta en un ciclo cerrado que fuerce el control mientras se determinan las propiedades de cedencia, pero solo determinar la velocidad de las mordazas para alcanzar la velocidad de deformación objetivo en la región elástica (véase la tabla 3). Cuando una probeta que está siendo ensayada empieza a ceder, la velocidad de deformación se reduce y puede incluso convertirse en negativa en el caso de una probeta con un escalón de cedencia discontinuo. El intento de mantener constante una velocidad de deformación a través de un proceso de cedencia, requiere que la máquina de ensayo opere a velocidades extremadamente altas y, que en la mayoría de los casos, esto no sea ni práctico ni deseable.

10.3.3.2 Límites aparentes y convencionales de elasticidad

10.3.3.2.1 Límite superior de cedencia, R_{eH}

La velocidad de separación de las mordazas de la máquina debe ser lo más constante posible y estar comprendida entre los límites correspondientes a las velocidades de puesta en carga indicadas en la tabla 3.

NOTA A título informativo, algunos materiales típicos que tienen un módulo de elasticidad menor de 150 000 MPa son el magnesio, aleaciones de aluminio, bronce y titanio. Algunos materiales típicos con un módulo de elasticidad mayor de 150 000 MPa son el hierro forjado, acero, tungsteno y aleaciones con base de níquel.

Tabla 3 – Velocidades de puesta en carga

Módulo de elasticidad del material E MPa	Velocidad de puesta en carga \dot{R} MPa s ⁻¹	
	mín.	máx.
< 150 000	2	20
≥ 150 000	6	60

10.3.3.2.2 Límite inferior de cedencia, R_{eL}

Si sólo se va a determinar el límite inferior de cedencia, la velocidad de deformación de la parte calibrada de la probeta en la zona de cedencia, debe estar comprendida entre 0,000 25 s⁻¹ y 0,002 5 s⁻¹. La velocidad de deformación de la parte calibrada debe mantenerse tan constante como sea posible. Si esta velocidad no puede controlarse directamente, debe ajustarse regulando la velocidad de aplicación de la carga justo antes del comienzo de la cedencia, sin tocar los controles de la máquina hasta que se complete la cedencia.

En ningún caso la velocidad de puesta en carga en la zona elástica debe superar los valores máximos fijados en la tabla 3.

10.3.3.2.3 Límites superior e inferior de cedencia, R_{eH} y R_{eL}

Si se desea determinar en el mismo ensayo los dos límites de cedencia, superior e inferior, se deben cumplir las condiciones establecidas para determinar el límite inferior (véase 10.3.3.2.2).

10.3.3.2.4 Límite elástico convencional y límite de alargamiento, R_p y R_t

La velocidad de separación de las mordazas de la máquina debe ser lo más constante posible y estar comprendida entre los límites correspondientes a las velocidades de puesta en carga indicadas en la tabla 3 para la zona elástica. Esta velocidad de separación de las mordazas debe mantenerse hasta que se alcance el límite elástico convencional (alargamiento plástico o total). En cualquier caso, la velocidad de deformación no debe superar los 0,002 5 s⁻¹.

10.3.3.2.5 Velocidad de separación de las mordazas

Si la máquina de ensayo no es capaz de medir o controlar la velocidad de deformación o de puesta en carga, debe utilizarse una velocidad de separación de las mordazas equivalente a la velocidad de puesta en carga indicada en la tabla 3 hasta la finalización de la cedencia.

10.3.3.3 Resistencia a la tracción, R_m , alargamiento porcentual de rotura, A , extensión total porcentual bajo fuerza máxima, A_{gt} , extensión plástica porcentual bajo fuerza máxima, A_g , y coeficiente de estricción, Z

Tras la determinación de las propiedades requeridas de límites de cedencia/elásticas convencionales, la velocidad de ensayo puede incrementarse hasta una velocidad de deformación (o velocidad equivalente de separación de las mordazas) no superior a $0,008 \text{ s}^{-1}$.

Si sólo se requiere medir la resistencia a la tracción, la velocidad de deformación no debe superar los $0,008 \text{ s}^{-1}$ durante todo el ensayo.

10.3.4 Informe de las condiciones de ensayo elegidas

Con objeto de informar sobre el modo de control del ensayo y las velocidades de ensayo de forma abreviada, se puede utilizar el siguiente sistema de abreviaturas:

ISO 6892-1 Annn, o ISO 6892-1 Bn

Donde "A" define la utilización del método A (base de la velocidad de deformación), y "B" la utilización del método B (basado en la velocidad de puesta en carga). Los símbolos "nnn" son series de hasta tres caracteres que se refieren a las velocidades empleadas durante cada fase del ensayo, según se define en la figura 9, y "n" puede añadirse para indicar la velocidad de puesta en carga (en MPa s^{-1}) seleccionada durante la carga elástica.

EJEMPLO 1 ISO 6892-1:2016 A224 define un ensayo basado en la velocidad de deformación utilizando los intervalos 2, y 2 y 4.

EJEMPLO 2 ISO 6892-1:2016 B30 define un ensayo basado en la velocidad de puesta en carga, realizado a una velocidad de deformación de 30 MPa s^{-1} .

EJEMPLO 3 ISO 6892-1:2016 B define un ensayo basado en la velocidad de puesta en carga, realizado a una velocidad nominal de puesta en carga conforme con la tabla 3.

11 Determinación del límite superior de cedencia

R_{eH} puede determinarse a partir del diagrama fuerza-extensión o del indicador pico de carga, y se define como el valor más alto de la carga unitaria antes de la primera caída de la fuerza. Este valor se calcula dividiendo esta fuerza entre el área de la sección transversal inicial de la probeta, S_0 (véase la figura 2).

12 Determinación del límite inferior de cedencia

R_{eL} se determina a partir del diagrama fuerza-extensión y se define como el valor más bajo de la carga unitaria durante la cedencia, despreciando los eventuales fenómenos transitorios. Este valor se calcula dividiendo esta fuerza entre el área de la sección transversal inicial de la probeta, S_0 (véase la figura 2).

En el caso de materiales que tengan un fenómeno de cedencia y en que A_e no se determine: para la productividad o para el ensayo, R_{el} puede indicarse como la carga unitaria más baja dentro del primer 0,25% de deformación después de R_{eH} , sin tener en cuenta ningún efecto transitorio inicial. Tras determinar R_{el} mediante este procedimiento, puede aumentarse la velocidad de ensayo de acuerdo al apartado 10.3.2.4 o 10.3.2.3. Cuando se usa este procedimiento abreviado, debería indicarse en el informe de ensayo.

13 Determinación del límite elástico convencional

13.1 R_p se determina a partir del diagrama de fuerza-extensión dibujando una línea paralela a la parte recta de la curva y a una distancia de ésta equivalente al porcentaje no proporcional prescrito, por ejemplo 0,2%. El punto en el que esta línea corta a la curva proporciona la fuerza correspondiente al límite elástico convencional deseado (alargamiento no proporcional). Este último se obtiene dividiendo esta fuerza entre el área de la sección transversal inicial de la probeta, S_0 (véase la figura 3).

Si la parte recta del diagrama fuerza-extensión no se encuentra claramente definida, impidiendo por tanto dibujar la línea paralela con la suficiente precisión, se recomienda el siguiente procedimiento (véase la figura 6).

Cuando se ha excedido el valor del límite elástico convencional supuesto, la fuerza se reduce a un valor igual a aproximadamente un 10% de la fuerza obtenida. La fuerza se incrementa entonces de nuevo hasta que exceda el valor obtenido inicialmente. Para determinar del límite elástico convencional deseado se dibuja una línea a través del ciclo de histéresis. Se dibuja entonces una línea paralela a esta línea, a una distancia desde el origen corregido de la curva, medida a lo largo del eje de abscisas, igual al porcentaje no proporcional prescrito. La intersección de esta línea paralela con la curva de fuerza-extensión proporciona la fuerza correspondiente al límite elástico convencional. Este valor se calcula dividiendo esta fuerza entre el área de la sección transversal inicial de la probeta, S_0 (véase la figura 6).

NOTA Para definir el origen corregido de la curva fuerza-extensión se pueden utilizar varios métodos. Uno de estos métodos consiste en trazar una línea paralela a aquella determinada por el ciclo de histéresis de modo que sea tangente a la curva de fuerza-extensión. El punto donde esta línea corta al eje de abscisas es el origen corregido de la curva de fuerza-extensión (véase la figura 6).

Se debe tener precaución para asegurar que la histéresis se realiza después de que haya pasado el límite elástico convencional final, pero un alargamiento tan bajo como sea posible, realizándose a alargamientos excesivos que tengan un efecto adverso sobre la pendiente obtenida.

Si las normas de producto no lo especifican o no se acuerda así con el cliente, no es apropiado determinar el límite elástico convencional durante y después del escalón de cedencia.

13.2 Esta característica puede obtenerse sin representar el diagrama fuerza-extensión, utilizando dispositivos automáticos (microprocesador, etc.) (véase el anexo A).

NOTA En el documento GB/T 228 [12] se describe otro método disponible.

14 Determinación del límite de alargamiento

14.1 R_t se determina en el diagrama fuerza-extensión, teniendo en cuenta las indicaciones del apartado 10.2, dibujando una línea paralela al eje de ordenadas (eje de la fuerza) y a una distancia a éste equivalente al alargamiento total porcentual prescrito. El punto en el que esta línea corta a la curva proporcional la fuerza correspondiente al límite de alargamiento deseado. Este valor se calcula dividiendo esta fuerza entre el área de la sección transversal inicial de la probeta, S_0 (véase la figura 4).

14.2 Esta característica puede obtenerse sin representar el diagrama fuerza-extensión, utilizando dispositivos automáticos (microprocesador, etc.) (véase el anexo A).

15 Método de verificación del límite de alargamiento remanente

La probeta se somete durante 10 s a 12 s a una fuerza correspondiente a la carga unitaria preestablecida. Esta fuerza se obtiene multiplicando la carga unitaria especificada por el área transversal inicial de la probeta, S_0 . Tras retirar la fuerza, se comprueba que la extensión o el alargamiento remanente es menor o igual al porcentaje preestablecido para la longitud inicial entre puntos (véase la figura 5).

NOTA Este es un ensayo del tipo pasa/fallo que normalmente no se realiza como parte del ensayo de tracción normalizado. La carga unitaria aplicada sobre la probeta y la extensión o el alargamiento remanente admisible son los definidos en la especificación de producto o bien los establecidos por el solicitante del ensayo. Ejemplo: La información " $R_{t0,5} = 750$ MPa Pasa" indica que se le aplicó a la probeta una carga unitaria de 750 MPa y que el límite de alargamiento remanente resultante fue inferior o igual a 0,5%.

16 Determinación de la extensión porcentual del escalón de cedencia

Cuando los materiales presentan escalón de cedencia, A_e se determina a partir del diagrama fuerza-extensión restando la extensión correspondiente a R_{eH} de la extensión al comienzo del endurecimiento uniforme. La extensión al comienzo del endurecimiento uniforme viene definida por la intersección de una línea horizontal que pasa por el último punto mínimo local, o por una línea de regresión que atraviesa el escalón de cedencia antes del endurecimiento y una línea que corresponde a la pendiente más alta de la curva al comienzo del endurecimiento uniforme (véase la figura 7). Se expresa como un porcentaje de la longitud base del extensómetro, L_e .

En el informe de ensayo debería indicarse el método empleado [véase la figura 7 a) o b)].

17 Determinación de la extensión plástica porcentual bajo fuerza máxima

El método consiste en determinar el alargamiento bajo fuerza máxima en el diagrama fuerza-extensión obtenido con un extensómetro, eliminando la deformación elástica.

La extensión plástica porcentual bajo fuerza máxima, A_g , se calcula a partir de la fórmula (3):

$$A_g = \left(\frac{\Delta L_m}{L_e} - \frac{R_m}{m_E} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

donde

L_e es la longitud base del extensómetro;

m_E es la pendiente de la parte elástica de la curva carga unitaria-extensión porcentual;

R_m es la resistencia a la tracción;

ΔL_m es el alargamiento extensión bajo fuerza máxima.

NOTA Para aquellos materiales que muestren una meseta plana a la fuerza máxima, la extensión plástica porcentual bajo fuerza máxima se toma en el punto medio de la meseta (véase la figura 1).

18 Determinación de la extensión total porcentual bajo fuerza máxima

El método consiste en determinar el alargamiento bajo fuerza máxima en el diagrama fuerza-extensión obtenido con un extensómetro.

La extensión total porcentual bajo fuerza máxima, A_{gt} , se calcula a partir de la fórmula (4):

$$A_{gt} = \frac{\Delta L_m}{L_e} \cdot 100 \quad (4)$$

donde

L_e es la longitud base del extensómetro;

ΔL_m es el alargamiento bajo fuerza máxima.

NOTA Para aquellos materiales que muestren una meseta plana a la fuerza máxima, la extensión porcentual total bajo fuerza máxima se toma en el punto medio de la meseta (véase la figura 1).

19 Determinación de la extensión total porcentual de rotura

El método consiste en determinar el alargamiento en el momento de la rotura en el diagrama fuerza-extensión obtenido con un extensómetro.

La extensión total porcentual de rotura, A_t , se calcula a partir de la fórmula (5):

$$A_t = \frac{\Delta L_f}{L_e} \cdot 100 \quad (5)$$

donde

L_e es la longitud base del extensómetro;

ΔL_f es el alargamiento en el momento de la rotura.

20 Determinación del alargamiento porcentual de rotura

20.1 El alargamiento porcentual de rotura debe determinarse de acuerdo con la definición dada en el apartado 3.4.2.

Con esta finalidad, las partes de la probeta deben aproximarse cuidadosamente de forma que sus ejes longitudinales estén en prolongación.

Debe tenerse especial cuidado para asegurar un contacto adecuado entre las partes de la probeta cuando se mida la longitud final entre puntos. Esto es particularmente importante en el caso de probetas de sección transversal pequeña o que tengan valores de alargamiento bajos.

El alargamiento porcentual de rotura, A , se calcula a partir de la fórmula (6):

$$A = \frac{L_u - L_o}{L_o} \cdot 100 \quad (6)$$

donde

L_o es la longitud inicial entre puntos;

L_u es la longitud final entre puntos después de la rotura.

El alargamiento después de la rotura, $L_u - L_o$, debe determinarse con una precisión de 0,25 mm o, aún mejor, con un dispositivo de medida con suficiente resolución.

Si el alargamiento porcentual mínimo preestablecido es menor del 5%, se recomienda que se tomen precauciones especiales para su determinación (véase el anexo H). El resultado de esta determinación es válido sólo si la distancia de la sección de rotura al punto de referencia más próximo es mayor o igual que $L_o/3$. Sin embargo, el alargamiento porcentual después de la rotura puede ser considerado como válido, independientemente de la posición de la sección de rotura, si el alargamiento porcentual después de la rotura es mayor o igual que el valor preestablecido. Para evitar que se tenga que rechazar probetas cuando la distancia entre la rotura y el siguiente punto de referencia sea menor que $L_o/3$, el método descrito en el anexo A se podrá utilizar mediante acuerdo.

20.2 Cuando la extensión en el momento de rotura se mide utilizando un extensómetro, no es necesario marcar las longitudes entre puntos. El alargamiento medido es la extensión total en el momento de rotura y, por lo tanto, es necesario deducir el alargamiento elástico para obtener el alargamiento porcentual después de la rotura. Para obtener valores comparables con el método manual se pueden aplicar ajustes adicionales (por ejemplo, una anchura de banda de las frecuencias del extensómetro suficientemente alta y dinámica) (véase A.2.2).

El resultado de esta determinación es válido sólo si la rotura y el alargamiento localizado (estricción) tienen lugar dentro de la longitud base del extensómetro, L_e . El alargamiento porcentual después de la rotura puede ser considerado como válido independientemente de la posición de la sección transversal de rotura, si el alargamiento porcentual después de la rotura es mayor o igual que el valor preestablecido. Si la norma de producto especifica la determinación de la extensión porcentual después de la rotura para una determinada longitud entre puntos, la longitud base del extensómetro debería ser igual a esta longitud.

20.3 Si el alargamiento se mide sobre una longitud fija determinada, ésta puede convertirse en una longitud de calibración proporcional utilizando las fórmulas o tablas de conversión cuya utilización se haya convenido antes de que se comenzaran los ensayos (como por ejemplo en las Normas ISO 2566-1 e ISO 2566-2).

NOTA Las comparaciones del alargamiento porcentual son posibles sólo cuando la longitud entre puntos o la longitud base del extensómetro, la forma y el área de la sección transversal sean las mismas, o cuando el coeficiente de proporcionalidad (k) sea el mismo.

21 Determinación del coeficiente de estricción

El coeficiente de estricción debe determinarse de acuerdo con la definición dada en el apartado 3.8.

Si fuese necesario, las partes de la probeta deben aproximarse cuidadosamente de forma que sus ejes longitudinales estén en prolongación.

Para probetas redondas, las mediciones a una sección reducida deberían realizarse en dos planos a 90° sobre cada otro y la media utilizada para calcular Z .

Se debería tener precaución para asegurar que las superficies de rotura no se desplazan cuando se realicen las lecturas.

El coeficiente de estricción, Z , se calcula a partir de la fórmula (7):

$$Z = \frac{S_o - S_u}{S_o} \cdot 100 \quad (7)$$

donde

S_o es el área de la sección transversal inicial de la parte calibrada de la probeta;

S_u es el área de la sección transversal mínima después de la rotura;

Se recomienda medir S_u con una exactitud de $\pm 2\%$ (véase la figura 13).

En probetas redondas de pequeño diámetro o en probetas con secciones transversales de distinta geometría puede no ser posible medir S_u con una exactitud de $\pm 2\%$.

22 Informe de ensayo

El informe del ensayo debe contener al menos la siguiente información a menos que las partes interesadas acuerden otra cosa:

- a) referencia a esta parte de la Norma ISO 6892 ampliada con la información de las condiciones de ensayo especificados en el apartado 10.3.4, por ejemplo, ISO 6892-1:2016 A224;
- b) identificación de la probeta;

- c) material especificado, si se conoce;
- d) tipo de probeta;
- e) ubicación y dirección de muestreo de las probetas, si se conoce;
- f) modo(s) de control del ensayo y velocidad(es) o intervalo(s) de velocidad(es) de ensayo (véase 10.3.1) si difieren de los métodos recomendados y de los valores indicados en los apartados 10.3.2 y 10.3.3;
- g) resultados del ensayo.
 - los resultados deberían redondearse (de acuerdo a la Norma ISO 8000-1) al menos con las siguientes precisiones, siempre y cuando las normas de producto no especifiquen otra cosa: valores de resistencia, en megapascuales, redondeados al número entero más próximo;
 - valores del alargamiento porcentual del escalón de cedencia, A_e , al 0,1%;
 - resto de extensiones porcentuales y valores de alargamiento al 0,5%;
 - coeficiente de estricción, Z , al 1%.

23 Medición de la incertidumbre

23.1 Generalidades

El análisis de la medición de la incertidumbre es útil para la identificación de fuentes importantes de incongruencias en los resultados medidos.

Las normas de producto y las bases de datos de las propiedades de los materiales basadas en esta parte de la Norma ISO 6892 y sus ediciones anteriores suponen una contribución intrínseca a la medición de la incertidumbre. Por este motivo, no procede aplicar ajustes suplementarios a la medición de la incertidumbre que pueden suponer un riesgo de declarar no conforme a un producto que es conforme. Es por ello que las estimaciones de la incertidumbre que resultan del siguiente procedimiento tienen únicamente carácter informativo.

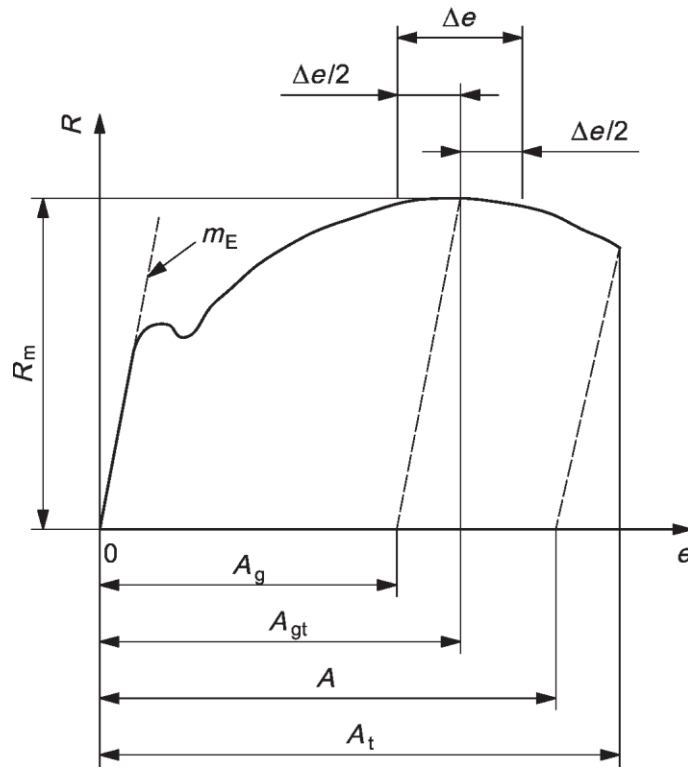
23.2 Condiciones de ensayo

Las condiciones y los límites de ensayo definidos en esta parte de la Norma ISO 6892 no deben ajustarse para tener en cuenta incertidumbres de medición.

23.3 Resultados de ensayo

Las incertidumbres estimadas de medición no deben combinarse con resultados medidos para evaluar la conformidad con las especificaciones de producto.

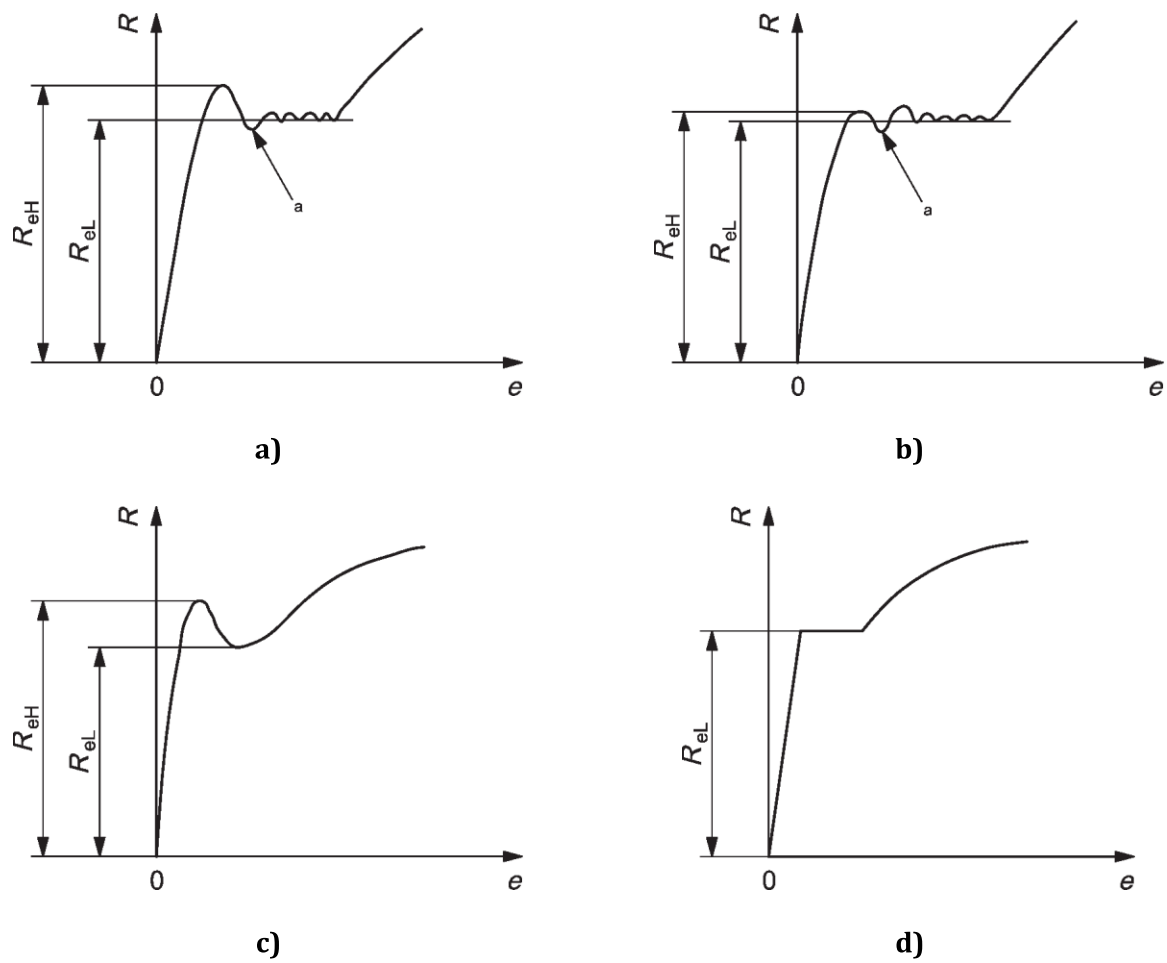
En lo que respecta a la incertidumbre, véanse los anexos J y K que proporcionan directrices para la determinación de la incertidumbre relacionada con parámetros metrológicos y valores obtenidos en ensayos de comparación entre laboratorios en un grupo de aceros y de aleaciones de aluminio.



Leyenda

- A Alargamiento porcentual de rotura [determinado a partir de la señal de extensómetro o directamente en la probeta (véase 20.1)]
- A_g Extensión plástica porcentual bajo fuerza máxima
- A_{gt} Extensión total porcentual bajo fuerza máxima
- A_t Extensión total porcentual de rotura
- e Extensión porcentual
- m_E Pendiente de la parte elástica de la curva carga unitaria-extensión porcentual
- R Carga unitaria
- R_m Resistencia a la tracción
- Δe Longitud de la meseta (para la determinación de A_g véase el capítulo 17 y para la determinación de A_{gt} véase el capítulo 18)

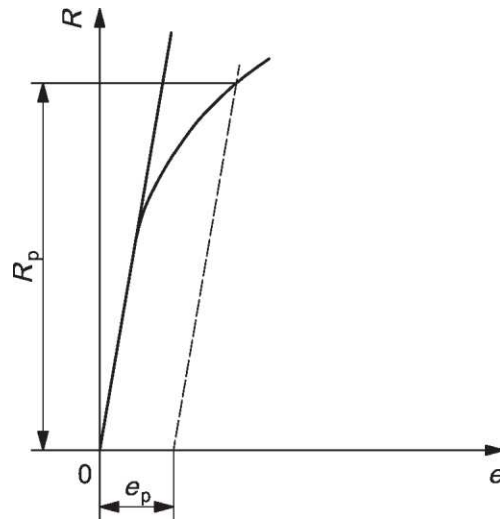
Figura 1 - Definiciones de alargamientos



Leyenda

- e Alargamiento porcentual
- R Carga unitaria
- R_{eH} Límite superior de cedencia
- R_{eL} Límite inferior de cedencia
- a Efecto transitorio inicial

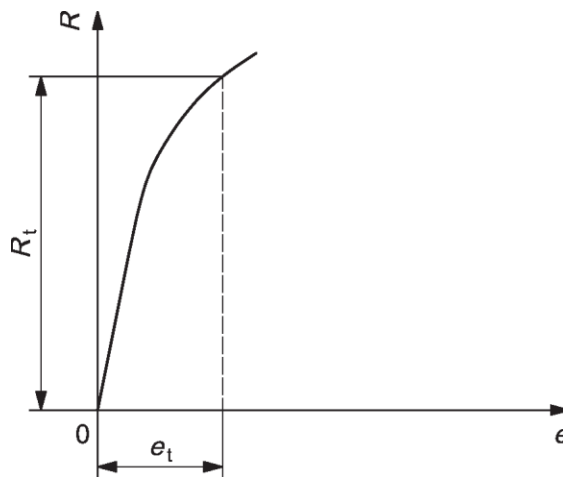
Figura 2 - Definiciones de límites superior e inferior de cedencia para distintos tipos de curvas



Leyenda

- e Alargamiento porcentual
- e_p Alargamiento porcentual plástica preestablecido
- R Carga unitaria
- R_p Límite elástico convencional

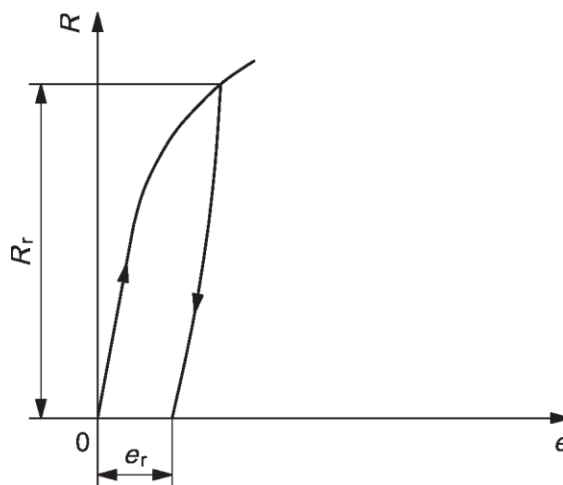
Figura 3 – Límite elástico convencional, R_p (véase 13.1)



Leyenda

- e Alargamiento porcentual
- e_t Alargamiento total porcentual
- R Carga unitaria
- R_t Límite de alargamiento

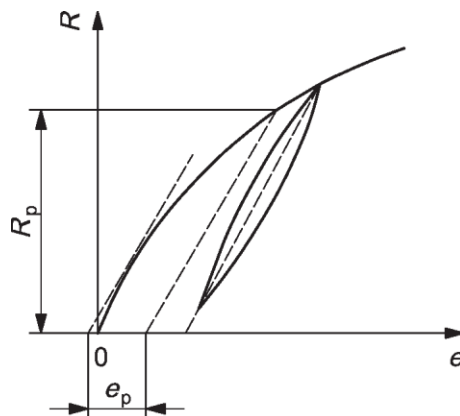
Figura 4 – Límite de alargamiento, R_t



Leyenda

- e Alargamiento porcentual o extensión porcentual
- e_r Alargamiento remanente porcentual o extensión remanente porcentual
- R Carga unitaria
- R_r Límite de alargamiento remanente preestablecido

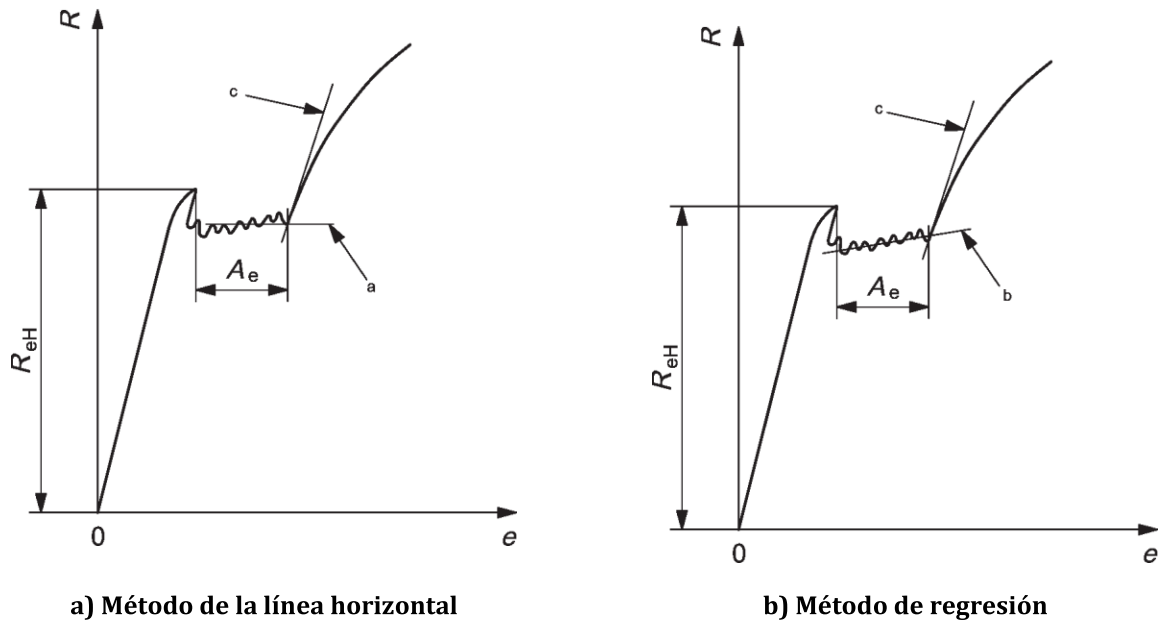
Figura 5 – Límite de alargamiento remanente, R_r



Leyenda

- e Alargamiento porcentual
- e_p Alargamiento porcentual plástico preestablecida
- R Carga unitaria
- R_p Límite elástico convencional

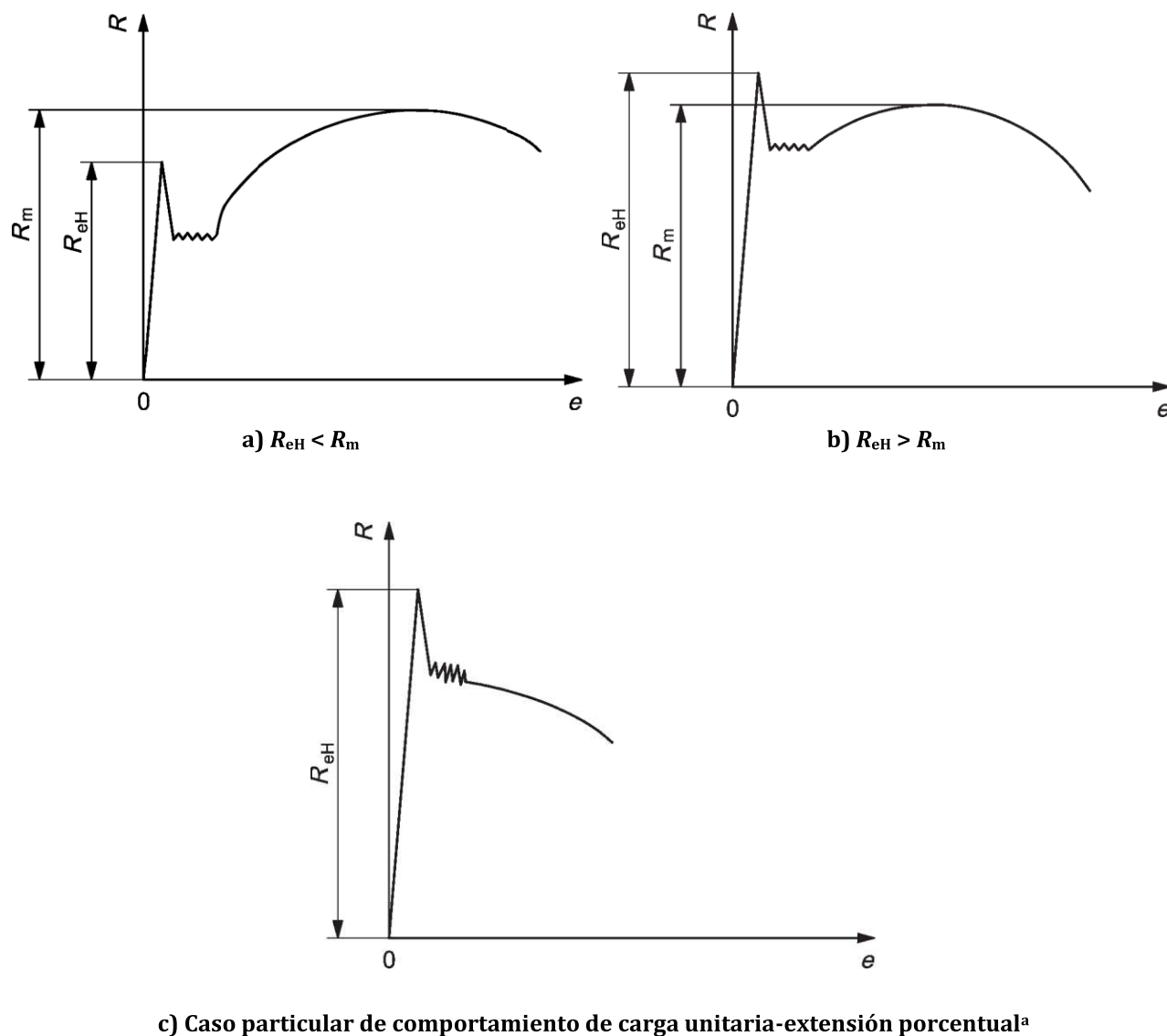
Figura 6 – Límite elástico convencional, R_p , procedimiento alternativo (véase 13.1)



Leyenda

- A_e Alargamiento porcentual del escalón de cedencia
- e Alargamiento porcentual
- R Carga unitaria
- R_{eH} Límite superior de cedencia
- a Línea horizontal que pasa por el último punto local mínimo antes del endurecimiento uniforme.
- b Línea de regresión que atraviesa el escalón de cedencia antes del endurecimiento uniforme.
- c Línea que corresponde a la pendiente máxima de la curva en el comienzo del endurecimiento uniforme.

Figura 7 – Diferentes métodos de evaluación para la extensión porcentual del escalón de cedencia, A_e



Leyenda

e Extensión porcentual

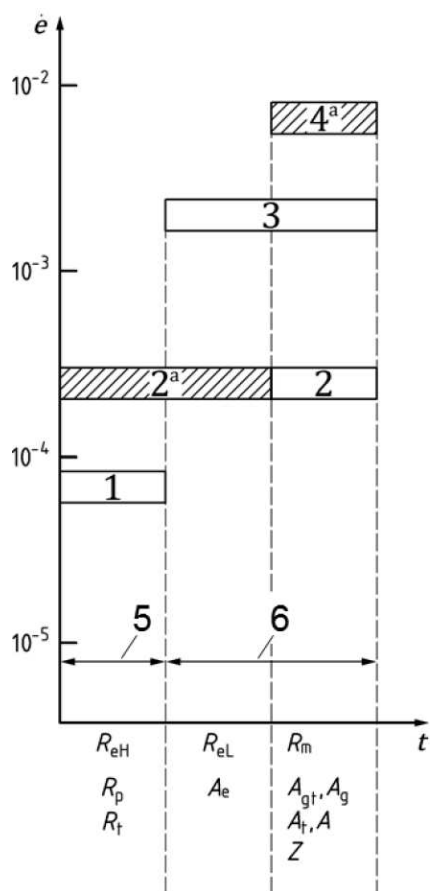
R Carga unitaria

R_{eH} Límite superior de cedencia

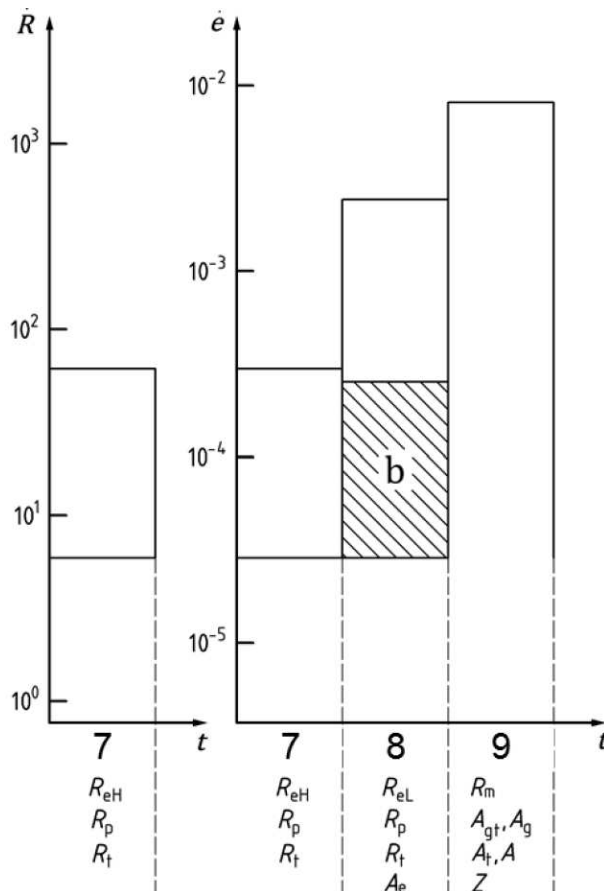
R_m Resistencia a la tracción

a En los materiales que presenten este comportamiento no se define ninguna resistencia a la tracción conforme a esta parte de la Norma ISO 6892. Si fuera necesario, las partes interesadas pueden hacer acuerdos separados.

Figura 8 – Diferentes tipos de curvas carga unitaria-extensión para la determinación de la resistencia a la tracción, R_m



a) Método A



b) Método B

Leyenda

- $\dot{\epsilon}$ Es la velocidad de deformación, en s^{-1}
- \dot{R} Es la velocidad de puesta en carga, en $MPa \cdot s^{-1}$
- t Es el tiempo
- 1 Intervalo 1: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 07\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$
- 2 Intervalo 2: $\dot{\epsilon} = 0,000\ 25\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$
- 3 Intervalo 3: $\dot{\epsilon} = 0,002\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$
- 4 Intervalo 4: $\dot{\epsilon} = 0,006\ 7\ s^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$ ($0,4\ min^{-1}$, con una tolerancia relativa de $\pm 20\%$)
- 5 Modo de control: Control del extensómetro o control de las mordazas

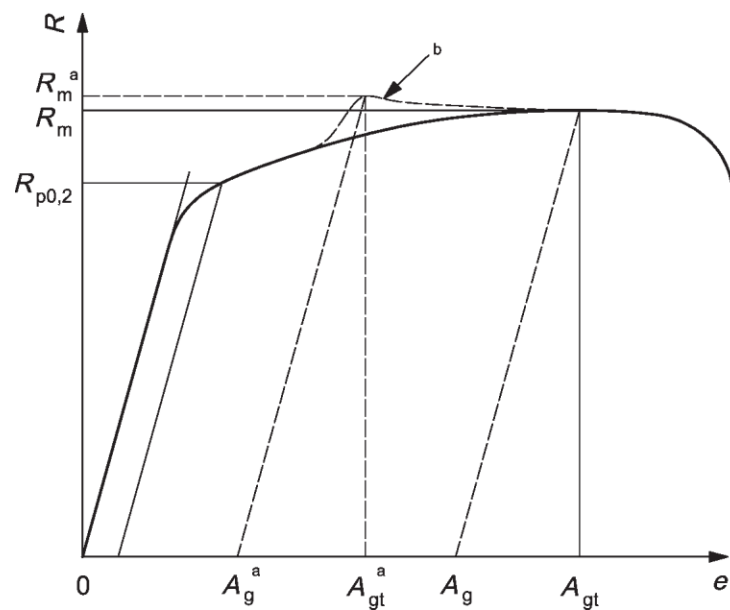
Leyenda

- 6 Modo de control: Control de las mordazas
- 7 Intervalo elástico del ensayo
- 8 Intervalo plástico para la determinación de R_{eL} , R_p , R_t , A_e
- 9 Máxima velocidad de deformación para la determinación de R_m , A_{gt} , A_g , A_t , A , Z
- a Recomendado.
- b Intervalo expandido para velocidades bajas si la máquina de ensayo no es capaz de medir o controlar la velocidad de deformación (véase 10.4.2.5).

NOTA 1 Los símbolos se refieren a la tabla 1.

NOTA 2 La velocidad de deformación en el intervalo elástico para el método B se calcula a partir de la velocidad de puesta en carga utilizando un módulo de Young de 210 000 MPa (acero).

Figura 9 – Representación de las velocidades de ensayo que se deben emplear durante el ensayo de tracción si se determinan R_{eH} , R_{eL} , R_p , R_t , R_m , A_e , A_g , A_{gt} , A , A_t y Z



Leyenda

e Extensión porcentual

R Carga unitaria

^a Valores falsos resultantes de un incremento brusco de la velocidad de deformación

^b Comportamiento carga unitaria-deformación si se incrementa bruscamente la velocidad de deformación

NOTA Véase la tabla 1 para consultar las definiciones de los parámetros.

Figura 10 – Representación de una discontinuidad inadmisiblemente en la curva carga unitaria-deformación