Ensayo de impacto

1. Objetivo

El alumno conocerá los principios del ensayo de impacto, las propiedades y características cualitativas resultantes del mismo, así como sus implicaciones en el diseño y selección de materiales.

2. Antecedentes

Uno de los campos de la mecánica recientemente desarrollado es el de la mecánica de la fractura. Su auge comenzó durante la Segunda Guerra Mundial cuando los ingenieros quisieron analizar las fracturas resultantes de la ruptura de buques comerciales. Se descubrió gracias a estos estudios que los materiales ante la presencia de grietas reaccionan de diferente manera cuando son sometidos a solicitaciones mecánicas, y que el diseño basado en la resistencia mecánica no era suficiente.

La mecánica de la fractura tiene la finalidad de determinar qué tan significativos son los defectos en un material. Por ejemplo, las bombas refrigerantes de los reactores nucleares tienen condiciones de operación muy particulares debido a los cambios drásticos de temperatura y es necesario conocer cómo los defectos del material pueden afectar la operación. Así mismo, en la industria aeroespacial los materiales deben estar diseñados acorde a los defectos inherentes, así como a las condiciones extremas a las que estos son sometidos[1].

Este desarrollo dio pie a que la selección de materiales no solo considerara el esfuerzo de cedencia, conocido gracias al ensayo de tracción, pero también se estudiara la tenacidad a la fractura, a partir del ensayo de impacto, para comprender con mayor profundidad la respuesta del material [1].

3. Introducción

El ensayo de impacto analiza la reacción de un material al ser sometido a una fuerza a alta velocidad. Este ensayo permite analizar la fractura que sufre el material ante dicho impacto, y es una forma de estudiar la fragilidad o ductilidad de este.

La ductilidad se define como la capacidad de un material a presentar deformaciones plásticas considerables antes de la fractura en presencia de una fuerza. Por otro lado, la fragilidad es una reacción con poca o nula deformación plástica que tiene como consecuencia una fractura casi instantánea [2]. La ductilidad y fragilidad también dependen de las condiciones a las que se someta el material, es función de la temperatura, la velocidad de deformación, y el estado de tensión [1].

Este ensayo además de brindar la posibilidad de estudiar la **fragilidad** de los materiales analiza el tipo de fractura que se presenta tras el impacto. Existen dos tipos de fracturas debido a las condiciones antes expuestas: la fractura dúctil y la fractura frágil [3], [4].

La fractura dúctil se caracteriza por presentar una considerable deformación plástica en los alrededores de la grieta que se observan como desgarre o retorcimiento. La deformación se lleva lentamente, y es necesario que se aumente la fuerza para que la grieta se extienda y el material se fracture. Por otro lado, las fracturas frágiles se extienden rápidamente y no presentan deformación plástica en los puntos vecinos a la grieta. Una vez iniciada la fractura, bajo ese mismo esfuerzo la grieta se sigue extendiendo [1].

Las condiciones a las que se lleva a cabo el ensayo pueden modificarse justamente para analizar el estado de la fractura en diversos escenarios y ambientes de trabajo, como lo son: a temperaturas bajas, a velocidades elevadas de deformación, o en un estado de tensión triaxial con la ayuda de una muesca en la probeta [3].

El ensayo consiste en un péndulo de peso conocido que se deja caer desde una altura h_0 que durante el arco de su trayectoria impacta con una probeta hasta la altura final h_1. Debido a que ambas alturas y el peso del péndulo son conocidos, se puede calcular la diferencia de energía potencial entre el punto inicial y final del experimento a través de las ecuaciones 1 y 2, expresadas a continuación. De manera análoga, la energía potencial del péndulo se transforma al momento de llegar a la probeta en **energía de impacto** que es absorbida por el material [4].

$$E_{impacto} = E_{potencial} \qquad (1)$$

$$E_{impacto} = -mg(h_2 - h_1) \qquad (2)$$

$$Donde:$$

$$m: masa\ del\ péndulo\ [kg]$$

$$g: gravedad\ \left[\frac{N}{m^2}\right]$$

$$h_2: Altura\ final$$

$$h_1: Altura\ inicial$$

Existen dos tipos de ensayo dependiendo de la forma de la probeta: **el ensayo Charpy y el ensayo Izod**. La geometría de ambas probetas es la misma solo se modifica la posición de la muesca, como se muestra a continuación. La probeta Izod se utiliza generalmente en materiales no metálicos [3], [4].

A continuación se muestra en la figura 1 y 2 el esquema de la probeta para el ensayo Charpy, donde se pueden observar las medidas aprobadas para el ensayo.

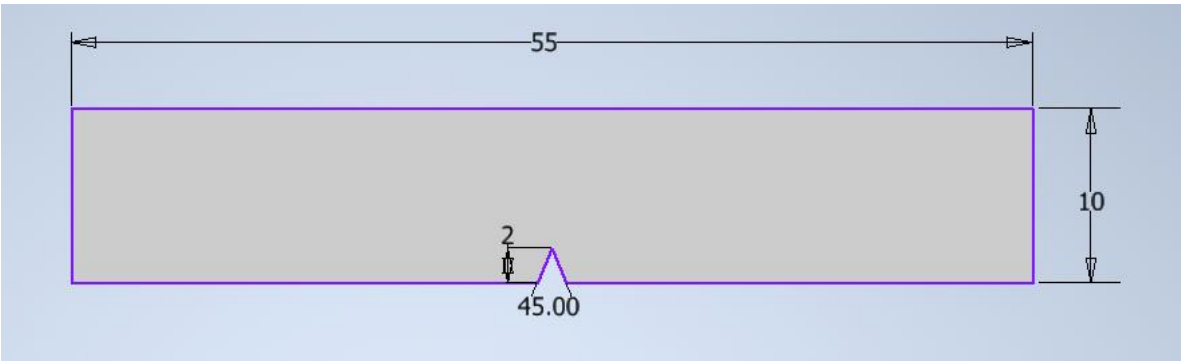

Fig 1. Esquema de la probeta para el ensayo Charpy con medidas (mm y grados)

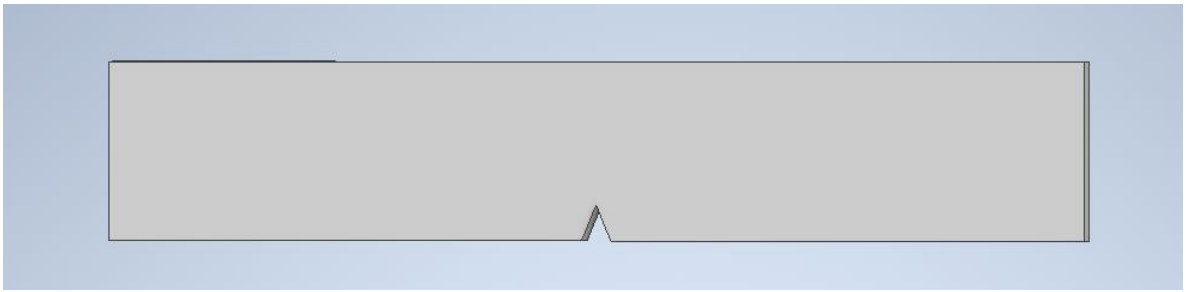

Fig 2. Esquema de la probeta para el ensayo Charpy

En las figura 3 y 4, por otro lado, se observan las medidas y el esquema de la probeta para el ensayo tipo Izod. La principal diferencia entre ambas, aparte de las medidas de ambas probetas, es la posición de la muesca. Por un lado, la Charpy tiene la muesca en medio del espécimen, mientras que la Izod la tiene ligeramente cargada hacia un lado. Lo anterior tiene la finalidad de estudiar cómo cambia la respuesta del material al haber un defecto en diferentes posiciones.

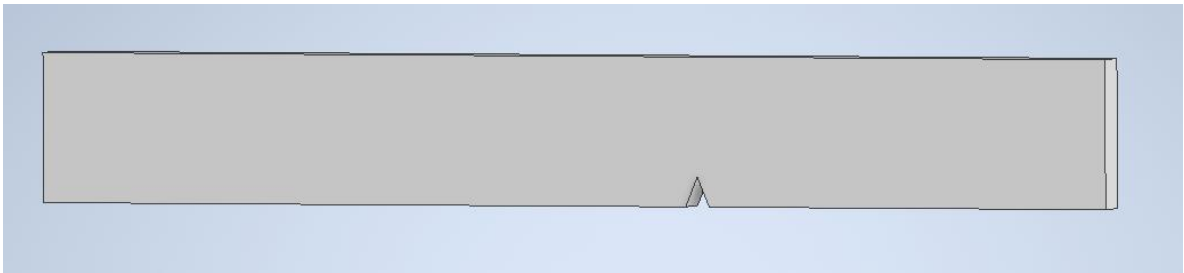

Fig 3. Esquema de la probeta para el ensayo

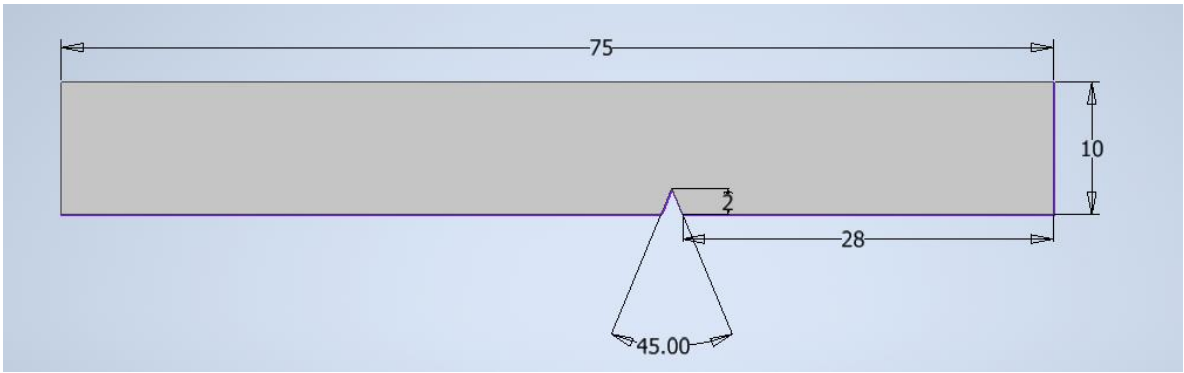

Fig 4. Esquema de la probeta para el ensayo Izod con medidas (mm y grados)

Otra de las propiedades que se pueden analizar con este ensayo es la **temperatura de transición**, temperatura a la que un material deja de tener un comportamiento dúctil y pasa a ser frágil. Esto se debe a que dependiendo de la temperatura de operación, un material puede comportarse de forma dúctil o frágil. Este análisis, a su vez, permite definir la temperatura óptima de operación de un material que este sometido a cargas de impacto [3], [4].

De manera cualitativa, si se analiza la fractura resultante de un ensayo de impacto, se puede observar el comportamiento del material. Una fractura que se observa fibrosa es de tipo dúctil, por el otro lado, una fractura granular indica fragilidad en el material [3].

La tenacidad a la fractura es aquella propiedad de los materiales que se opone a la propagación de las grietas en un elemento y que consecuentemente determina el esfuerzo máximo que puede soportar un material antes de fallar [4].

Si se analiza teóricamente una placa infinitamente ancha y se considera una grieta de tamaño $2a$, el esfuerzo local en el extremo de la grieta es igual a la ecuación 3:

$$\sigma_{local} = \frac{\sigma_{aplicado}\sqrt{\pi a}}{\sqrt{2\pi r}} * f(\theta) \qquad (3)$$

$$Donde$$

$$f(\theta): el\ ángulo\ con\ respecto\ al\ ángulo\ de\ la\ grieta$$

$$r: distancia\ radial\ desde\ el\ extremo\ de\ la\ grieta$$

El factor $\sigma_{aplicado}\sqrt{\pi a}$ se conoce como factor de intensidad de esfuerzo K.

Si la probeta se prepara con una muesca de tamaño conocido que intensifica la respuesta del material, es necesario agregarle un factor geométrico a la ecuación antes descrita[3].

Dicho factor geométrico se calcula tal que:

$$K = f\sigma\sqrt{\pi a} \qquad (4)$$

Donde

$$f: \text{factor geométrico determinado por la probeta y la muesca}$$

$$\sigma: el\ esfuerzo\ aplicado$$

$$a: el\ tamaño\ del\ defecto$$

Conforme aumenta el espesor del material este factor tiende a ser constante, se llega a la propiedad conocida como **tenacidad a la fractura de deformación plana** K_{Ic}. La tenacidad está relacionada con el esfuerzo máximo que puede soportar un material antes de la fractura y la resistencia que presenta a tener una fractura de tipo frágil. Este factor se encuentra reportado en tablas y es específico para cada material, tiene unidades de $[MPa\sqrt{m}]$ o $psi\sqrt{in} * 10^3$ [2], [4].

La **tenacidad a la fractura** también se calcula como el área bajo la curva de la gráfica de esfuerzo deformación a partir del ensayo de tracción. Esta área representa la habilidad que tiene un material para absorber energía antes de la fractura. Este caso solo aplica cuando el experimento se lleva a cabo en una muestra sin muescas y bajo condiciones que llevan lentamente el material a la fractura [2].

Si se observa la siguiente gráfica, figura 5, de esfuerzo-deformación obtenida de ensayos de tracción realizados en tres diferentes aleaciones de aluminio:

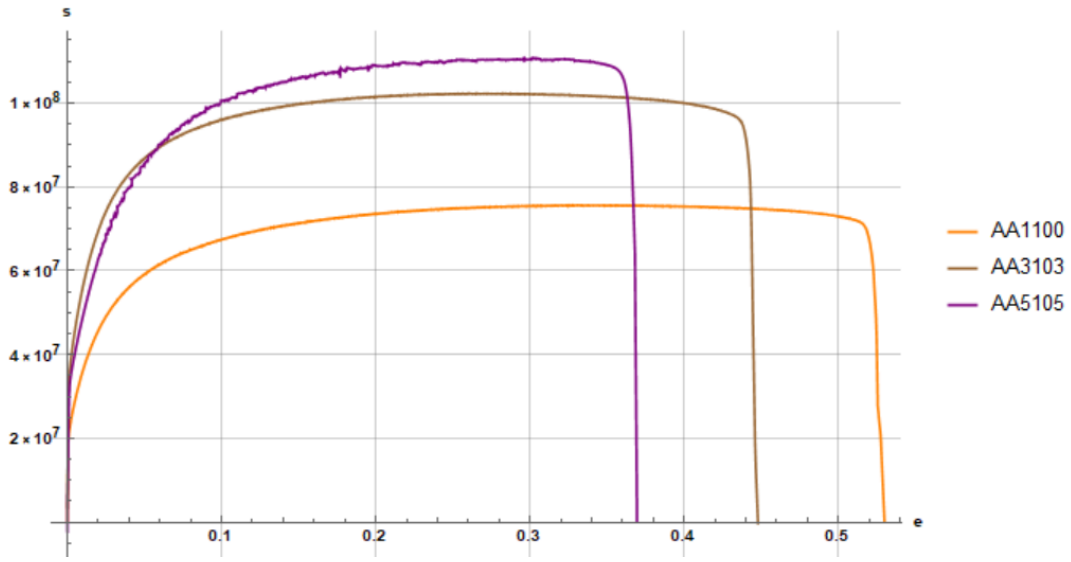

Fig 5. Gráfica de esfuerzo deformación de tres diferentes aluminios

El área bajo la curva abarca desde que comienza el ensayo (en la deformación cero), hasta el cambio abrupto en la pendiente cuando el esfuerzo se convierte en cero. En este punto final, la muestra ha llegado a su esfuerzo máxima y se ha fracturado. El área antes mencionada representa la energía que absorbió el material antes de la fractura y la deformación máxima que alcanzó.

4. Materiales

1. Probetas de Izod y Charpy
2. Péndulo de impacto
3. Horno de resistencia eléctrica
4. Nitrógeno líquido
5. Termómetro y pirómetro
6. Pinzas

5. Desarrollo

5.1 Preparación del equipo

1. Se coloca el mango en la cabeza del péndulo
2. Se mueve el péndulo a la posición que permite colocar las probeta
3. Se enciende el horno

5.2 Probeta a temperatura ambiente

1. Se posiciona la primera probeta en la muesca de soporte en el péndulo
2. Se posiciona el péndulo en la posición superior a través de una manivela y se registra el ángulo indicado por el equipo
4. Una vez en la posición superior, se deja caer hacia la posición inferior. En el trayecto impacta la muestra.
5. Se frena el péndulo
6. Se recoge la probeta para su análisis
7. Se registra el valor de energía absorbida

5.3 Probeta a baja temperatura

1. Se vierte nitrógeno líquido en un vaso
2. Se coloca la segunda probeta
3. Se deja pasar aproximadamente medio minuto y se retira del vaso
4. Se mide y registra la temperatura de la probeta con el pirómetro
5. Se coloca con las pinzas en la muesca de soporte del equipo
6. Se posiciona el péndulo en la parte superior y se registra el ángulo
7. Se deja a caer el péndulo
8. Se registra el valor de energía absorbida

5.4 Probeta a alta temperatura

1. Se calienta otra probeta en un horno
2. Una vez caliente se mide la temperatura con el pirómetro
3. Se coloca con las pinzas en la muesca de soporte del equipo
4. Se posiciona el péndulo en la parte superior y se registra el ángulo
5. Se deja a caer el péndulo
6. Se registra el valor de energía absorbida

6. Conclusiones

Como se ha mencionado a lo largo de esta práctica, el ensayo de impacto tiene varias implicaciones en el estudio de los materiales. Por un lado, nos da otra perspectiva en la selección de un material a través de la tenacidad a la fractura como una relación de la energía máxima que puede absorber un material antes de fallar. A su vez, también es una herramienta para analizar la reacción de un elemento ante la presencia de grietas y el tipo de fractura que se presenta ante un impacto. Y por último, nos determina cómo la temperatura afecta la reacción que tiene el material ante recibir un impacto directo.

Después de realizar la práctica, las observaciones pertinentes son, por un lado, en torno a las cualidades de la fractura: observaciones de los tipos de fractura, ¿Se puede determinar cuáles son fracturas dúctiles y cuáles frágiles?, ¿A qué se debe cada tipo de fractura? Y por otro lado, se pueden realizar aproximaciones al valor de la tenacidad a la fractura con los datos recabados durante la experimentación por el péndulo de impacto. ¿Cuál es este valor?, ¿Qué tan cercano es al valor reportado en tablas?, y si hay diferencias, ¿A qué se podrían deber?

Referencias

[1] D. William y J. Callister, “Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales”, *Reverté,*. p. 804, 1995.

[2] ASM Handbook Committee, “Mechanical Testing and Evaluation”, *ASM Handb.*, vol. 8, núm. 1, p. 2235, 2000.

[3] D. R. Askeland, “Ciencia e Ingenieria de los Materiales - Donald Askeland - 3edicion.pdf”. p. 737, 1998.

[4] P. L. Mangonon, *Ciencia de materiales. Selección y diseño.*, 1a ed. Ciudad México: Pearson Educación, 2001.