

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL

FACULTAD REGIONAL HAEDO



INGENIERÍA MECÁNICA I

Unidad Temática N° 5

ENSAYOS DE MATERIALES

- Teoría -



ENSAYOS DE MATERIALES

El ingeniero es un profesional dedicado a resolver problemas, para lo cual debe tener acabados conocimientos técnicos y experiencia, teniendo en cuenta que sus soluciones deben dar respuesta a necesidades de la gente, haciendo una utilización racional de los recursos energéticos, optimizando la utilización de materiales y procesos productivos, extremando los recaudos de modo de minimizar el impacto que los mismos puedan provocar sobre el medio ambiente.

Ahora bien para dar solución a un problema, el ingeniero requiere recabar distinta información a los efectos de resolver en forma eficiente el problema planteado. Entre la información que requiere, es tener un acabado conocimiento de las propiedades y comportamientos de los distintos materiales involucrados en la solución.

Estas propiedades y comportamientos se pueden obtener a través de distintos tipos de ensayos a los que son sometidos los materiales.

A continuación se mencionan distintos tipos de ensayos y sus características.

Clasificación de los ensayos

Los ensayos se dividen en dos tipos:

- Ensayos destructivos
- Ensayos no destructivos.

Los primeros permiten determinar distintas propiedades del material que servirán para realizar los cálculos resistenciales, mientras que los segundos son ensayos de control.

A la hora de trabajar un material debemos de conocer sus propiedades mecánicas, y saber que estas propiedades variarán en función de la velocidad de deformación y de la temperatura a la que se encuentre el cuerpo a ensayar.

Las propiedades mecánicas las definiremos como la forma en que un material soporta fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tracción, compresión, impacto, cíclicas o de fatiga. Las principales propiedades mecánicas son: dureza, tenacidad, fragilidad, ductilidad, maleabilidad, elasticidad, plasticidad, resiliencia y fatiga.

Dureza es la resistencia que oponen los cuerpos a ser rayados o penetrados por otros.



Tenacidad es la energía de deformación total que es capaz de absorber un material antes de alcanzar la rotura

Fragilidad es la propiedad contraria a la tenacidad, la facilidad de romperse un cuerpo.

Ductilidad: la capacidad de un material de conformarse formando hilos.

Maleabilidad: la capacidad de un material de conformarse formando laminas.

Elasticidad es la propiedad que tiene un cuerpo de ser deformado por fuerzas exteriores, y al cesar dichas fuerzas, éste recobra su forma original.

Plasticidad es la capacidad de los cuerpos para adquirir deformaciones permanentes sin llegar a la rotura (ductilidad y maleabilidad).

Fatiga es la capacidad que tiene un cuerpo de resistir esfuerzos repetitivos y variables en magnitud y sentido.

Para el análisis de las propiedades mecánicas de los materiales podemos utilizar tres tipos de cargas diferentes: **estáticas**, **dinámicas** o **cíclicas**.

Carga estática: es aquella que es invariable o su magnitud crece de forma lenta (una carga que pende de un puente grúa, etc.).

Carga dinámica: es aquella que actúa de forma inmediata o aumenta su magnitud de forma rápida (impactos, golpes, etc.).

Carga cíclica o alternada: es aquella que cambia de dirección o magnitud (o ambas) de forma cíclica o alternada (cigüeñal, amortiguadores, etc.).

Ensayos destructivos

Se denominan así debido a que el material a ensayar es sometido a la acción de una carga que provoca su rotura o genera una deformación permanente que no permite una posterior utilización del mismo.

Dentro de los ensayos destructivos podemos diferenciar: los ensayos destructivos estáticos y ensayos destructivos dinámicos.

Los **ensayos destructivos estáticos** tienen la carga estática o progresiva.

Los **ensayos destructivos dinámicos** su carga no es ni estática ni progresiva

A continuación se realiza una breve descripción de algunos ensayos destructivos.



Ensayo de tracción

Este ensayo consta en someter al material a un esfuerzo de tracción a partir de la aplicación de una carga axial.

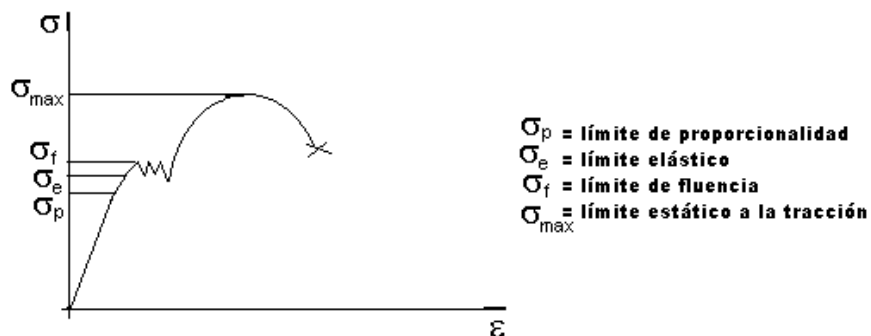


Este es un ensayo cuasi estático, es decir la carga se incrementa muy lentamente, ya que su velocidad de aplicación no debe afectar el resultado del ensayo.

Para realizar el ensayo se utilizan probetas calibradas cuyas dimensiones están establecidas por norma, también pueden utilizarse probetas tecnológicas, las cuales deben guardar una relación entre la longitud y la sección conforme a lo establecido por norma.

Durante la realización del ensayo se genera un diagrama carga-alargamiento, donde a los fines de tornar comparativos los ensayos el diagrama se transforma en un diagrama tensión-deformación.

En dicho diagrama se pueden determinar puntos característicos que permiten analizar el comportamiento del material al estar sometido a un esfuerzo de tracción.





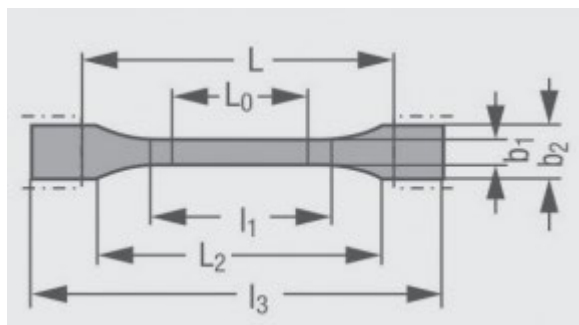
Hasta llegar al límite de proporcionalidad, el diagrama describe una recta donde las deformaciones son proporcionales a las tensiones, cumpliéndose la Ley de Hooke.

El límite elástico define hasta donde el material se comporta elásticamente, es decir que si se retira la carga actuante el material retorna a su estado inicial sin presentar deformaciones permanentes.

Desde el límite elástico hasta el límite de fluencia ya se producen pequeñas deformaciones permanentes que no perciben a simple vista. Durante el período de fluencia se produce una homogeneización del material, finalizado este período se ingresa a la zona de las grandes deformaciones plásticas.

Conocer el límite de fluencia nos permite determinar la tensión admisible del material, esta es la tensión de diseño y se obtiene a partir de afectar la tensión de fluencia por el coeficiente de seguridad, de manera de asegurar que el comportamiento del material sometido a esfuerzos se encuentre dentro del período elástico del mismo.

Las probetas para los ensayos de tracción pueden ser, como ya se ha dicho, industriales y calibradas; las primeras se presentan en barras o perfiles de secciones constantes y sirven exclusivamente para ensayos de verificación, en cambio las calibradas, se emplean en experiencias más rigurosas y adoptan formas perfectamente cilíndricas o prismáticas, con extremos ensanchados para facilitar la sujeción en la máquina de ensayo y para asegurar la rotura dentro del largo calibrado de menor sección.



Cuando un metal es sometido a un esfuerzo de tracción desde el comienzo de la aplicación de la carga, las tensiones producen deformaciones que varían según la naturaleza del material.



Podemos admitir como general que la fractura más representativa es la de los materiales dúctiles y frágiles.

En los materiales dúctiles las deformaciones son elásticas hasta cierto límite, pasado el cual, comienzan las deformaciones plásticas que aumentarán hasta alcanzar la rotura.

Los materiales frágiles son aquellos que ofrecen gran resistencia con pocas deformaciones (deformaciones elásticas y escasa o nula capacidad de deformación permanente).

Los materiales dúctiles rompen en la estricción formando un cráter o copa y un tronco de cono y la rotura frágil acontece sin estricción según un plano normal al eje de la probeta.



Fractura Frágil



Fractura Dúctil

Ensayo de Impacto

En este ensayo a diferencia del anterior la velocidad de aplicación de la carga es fundamental, por lo que se trata de un ensayo dinámico.

Consiste en someter a una probeta a la acción de una carga dinámica provocando la rotura de la misma y se determina la energía absorbida en el impacto.

Para que los ensayos de impacto se consideren válidos la probeta debe romperse, en caso de no ocurrir se debe desechar el ensayo y reiterarlo con otra probeta.

A continuación se describen dos métodos de ensayo de impacto:

Ensayo Charpy

A través de este método de ensayo se puede determinar:

- Energía absorbida
- Temperatura de transición



El ensayo consiste en utilizar una probeta normalizada, a la cual se le practica una entalla en una de sus caras (existen diferentes formas y dimensiones de entallas, las cuales están especificadas por normas) de manera de inducir y asegurar la rotura a partir de generar una concentración de tensiones en la entalla.

El ensayo se realiza utilizando un péndulo y entre sus características se pueden mencionar la robustez de sus columnas y basamento de manera que no existan vibraciones y que absorban parte de la carga aplicada. Posee además un yunque donde se coloca la probeta simplemente apoyada, la cual es alineada y es impactada por el péndulo en la cara opuesta a la entalla.

La altura inicial de donde parte el péndulo es conocida y fija y a través de un disparador se libera y cae para impactar y con la ayuda de una escala graduada se determina la energía absorbida por el material.

A continuación se muestran los esquemas del péndulo y de la forma de la probeta y posición del impacto:

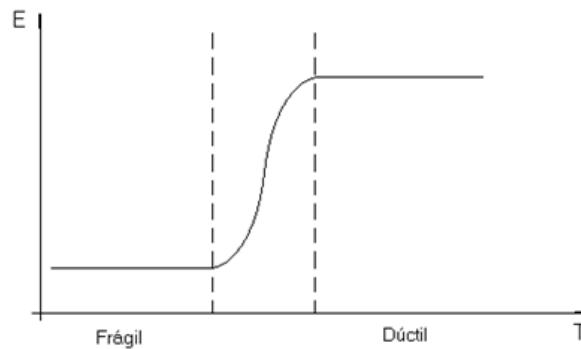


En la posición de inicio el péndulo posee una determinada energía potencial, al liberarlo impacta en la probeta, esta se rompe y el péndulo continúa su trayectoria hasta alcanzar una posición final, donde la energía potencial será menor a la inicial. La diferencia de energías potenciales es la energía absorbida por el material.

Se define como temperatura de transición, a aquella temperatura a partir de la cual el material pasa de tener una rotura dúctil a comportarse como un material frágil. Para determinar la temperatura de transición se realizan varios ensayos sobre probetas del mismo material y a distintas temperaturas y se determina la energía que absorbe en cada ensayo y se analiza el tipo de fractura que presenta.



Una vez realizado los ensayos se construye una gráfica como la que se muestra a continuación.



Ensayo Izod

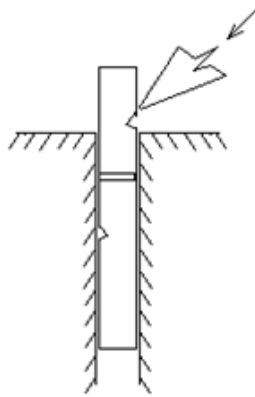
Al igual que el ensayo anterior, para que el ensayo sea considerado válido la probeta debe romper en el impacto.

En este método lo que se determina es:

- Energía absorbida
- Homogeneidad del material

Las diferencias con el método anterior es que sobre una misma probeta se pueden realizar distintos ensayos, ya que se practican entallas en diferentes caras, y el impacto se realiza del mismo lado de la entalla. La probeta se encuentra empotrada y al realizar varios ensayos sobre la misma probeta, en función de los valores de energías obtenidos se puede tener idea de la homogeneidad del material. Las probetas utilizadas deben ser normalizadas.

El esquema de sujeción e impacto es el que se muestra a continuación.



Se ensaya sobre una de las caras, luego se enfrenta la otra entalla al péndulo y se vuelve a ensayar y así con las otras caras.

Ensayo de Dureza

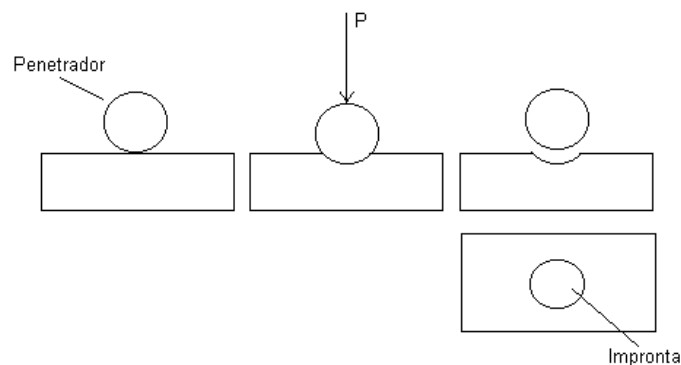
Se entiende por dureza a la capacidad que tiene un material de rayar a otro sin ser rayado por este.

El valor de dureza es un valor adimensional y es comparativo. Si bien existe una relación empírica entre el valor de dureza y el valor de tensión, no debe ser utilizado para realizar cálculos resistenciales, si no a los efectos de identificar tipos de materiales.

Existen diferentes tipos de métodos para determinar la dureza del material:

Dureza Brinell

Este método consiste en aplicar una carga sobre un penetrador esférico y luego de retirada la carga se mide la impronta que quedó en la pieza ensayada, producto de la deformación.



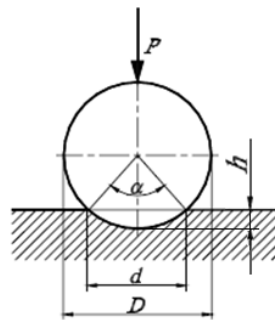
La dureza Brinell resulta de dividir la carga por la superficie del casquete esférico (impronta). La profundidad de la impresión (h) se determina directamente de la máquina.



Sin embargo es más conveniente calcular el número Brinell partiendo del diámetro de la impresión (d), se realizan dos mediciones del diámetro en forma perpendicular.

Por lo tanto:

$$H_B = \frac{P}{S} \quad S = \pi \cdot D \cdot h \quad H_B = \frac{P}{\pi \cdot D \cdot h}$$



Donde:

H_B = Dureza Brinell

P = Carga

S = Superficie de la impronta

$$HB = \frac{2P}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

La carga a aplicar se determina mediante la expresión:

$$P = C \cdot D^2$$

Donde:

C: Constante de ensayo y adopta valores en función del material a ensayar

D: Diámetro del penetrador. Los penetradores son esféricos y de distintos diámetros.

Para que el ensayo sea válido debe cumplirse que:

$$0,25d < \frac{d}{D} < 0,5D$$

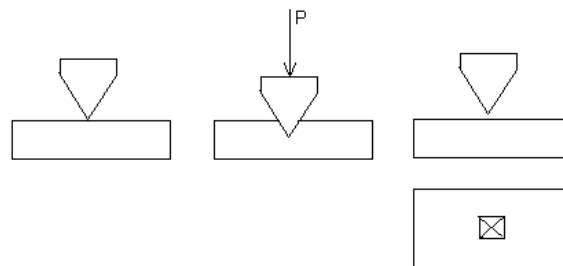
Este método no es aplicable para materiales muy duros ya que podrían deformarse los penetradores, para estos casos existen otros métodos que permiten ensayarlos y que se verán a continuación.



Es de mucha utilidad para determinar la dureza en materiales porosos y heterogéneos. Presenta la dificultad de no ser muy preciso ya que al tener que determinar la superficie de la impronta se pueden cometer errores en la lectura (se efectúa con microscopio, utilizando un ocular micrométrico) y además como existe una recuperación elástica del material luego de aplicada la carga, el valor de superficie determinado difiere respecto a la impronta existente con la carga aplicada.

Dureza Vickers

La determinación de la dureza Vickers es semejante a la Brinell, se calcula dividiendo la carga aplicada por la superficie de la impronta. Este método utiliza un único penetrador de diamante de forma piramidal de base cuadrangular con un ángulo en el vértice de 136 grados, lo que permite realizar ensayos en todo tipo de materiales.



La determinación de la superficie resultara del promedio de la medición de las dos diagonales.

El valor de Dureza se determina con la expresión:

$$H_V = P / S$$

Al igual que el método anterior presenta la dificultad que una vez retirada la carga el material presenta una recuperación elástica, por lo que la superficie de la impronta que se calcula presenta un pequeño error.

La ventaja respecto del ensayo Brinell está dado en que se utiliza un solo penetrador independizándose de la constante de ensayo C y de las condiciones de ensayo.



Dureza Rockwell

Este método permite realizar dos tipos de ensayo:

Rockwell Normal y Rockwell Superficial.

El primero es un método que permite determinar la dureza de distintos materiales y el segundo permite determinar dureza superficial.

Los penetradores utilizados son los mismos y la metodología es la misma con la salvedad de que se utilizan distintos valores de carga.

En función de la carga y penetrador utilizada se construyen las distintas escalas de dureza Rockwell.

Los penetradores utilizados son de dos tipos: esféricos y cono de diamante.

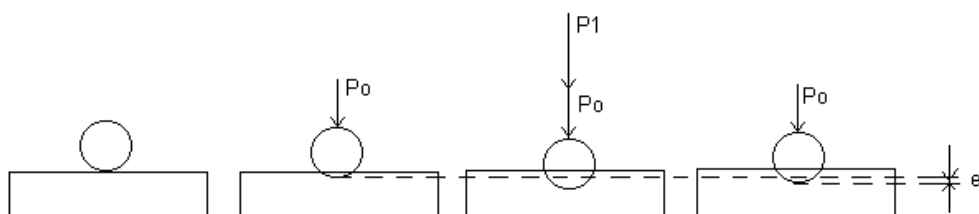
El método Rockwell difiere del de Brinell en que no determina la dureza en función de la superficie de la impresión producida, sino que en función de la profundidad de penetración.

En este método se aplica una carga inicial P_0 (definida según se trate de normal o superficial) a los efectos de asegurar un íntimo contacto entre el penetrador y la pieza. A continuación se aplica una carga adicional P_1 (definidas según el método), se la deja actuar y luego se retira quedando únicamente aplicada la carga inicial.

El valor de dureza se lee directamente en un reloj que presenta dos escalas según se utilice penetrador esférico o cono de diamante.

Este método presenta muchas ventajas, se pueden ensayar distintos tipos de materiales, ya que se dispone de penetradores de acero y de diamante. Además es de lectura directa, y su principio de funcionamiento se basa en la recuperación elástica del material, cosa que en los otros métodos es un condicionamiento en la precisión.

La secuencia de ensayo es la que se muestra en el siguiente esquema:





Donde:

P_0 = Carga inicial

P_1 = Carga adicional

e = Incremento de penetración

E = Escala total del dial indicador

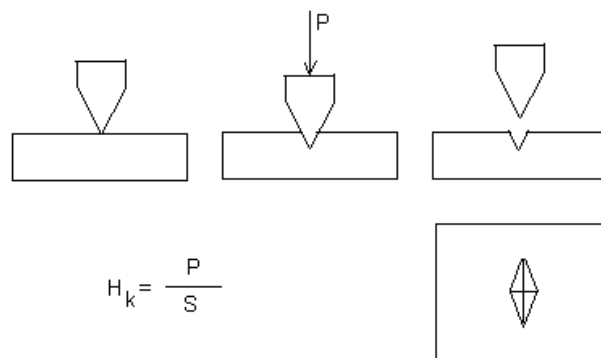
$$H_B = E - e$$

Dureza Knops

Este método se utiliza para determinar microdureza (dureza superficial), el principio de funcionamiento es similar al de dureza Vickers. La dureza se determina mediante el cociente de la carga aplicada y el área de la impronta

El penetrador que utiliza es un diamante de base romboidal, lo que permite una mayor precisión en la determinación de la superficie de la impronta.

En la figura se muestra un esquema del ensayo:



Para la medición de la superficie se requiere que se retire el penetrador y por lo tanto el material produce una recuperación elástica y la consecuente deformación de la impronta. Por esto, considerando que la diagonal mayor prácticamente no es afectada por la recuperación, el cálculo de la superficie se realiza en función de esta.

ENSAYOS NO DESTRUCTIVOS

Se trata de ensayos que permiten realizar el control de una pieza en servicio sin provocarle ningún tipo de daño de manera de poder seguir en servicio.



A continuación se realiza una breve descripción de algunos ensayos no destructivos.

Líquidos penetrantes

Este ensayo permite determinar discontinuidades superficiales, es decir que están abiertas a la superficie. Se puede aplicar en cualquier tipo de materiales.

El procedimiento consiste en la aplicación de un líquido sobre la superficie limpia de la pieza, dejándolo actuar un tiempo de manera que el mismo pueda ingresar en las posibles discontinuidades que afloran a la superficie debido al efecto capilar, de forma que, al limpiar el exceso de líquido de la superficie, quede solamente el líquido introducido en las discontinuidades. Al salir posteriormente ese líquido, ayudado normalmente por la acción de un agente denominado revelador, señala sobre la superficie las zonas en las que existen discontinuidades.

El campo de aplicación más frecuente de estos ensayos es la inspección de metales no ferromagnéticos (aluminio y sus aleaciones, aceros inoxidable, cobres, bronce, latones, etc) Los metales ferromagnéticos (aceros al carbono y aleados, etc) también se pueden inspeccionar por líquidos penetrantes pero normalmente suele ser más ventajoso emplear el método de ensayo no destructivo de partículas magnéticas, que es mucho más sensible en estos materiales.

Los pasos a seguir son los siguientes:

- Limpieza de la superficie a ensayar, de modo de eliminar restos de óxido, grasa y todo elemento extraño que pueda enmascarar una discontinuidad.
- Aplicación del líquido. Se debe distribuir uniformemente en toda la superficie y se lo deja actuar por un periodo de tiempo, dependiendo del tipo de líquido utilizado y el material a ensayar, de modo de permitir que ingrese por capilaridad dentro de las posibles discontinuidades.
- Limpieza del excedente de líquido. Se debe tener en cuenta de realizar una cuidadosa limpieza de la superficie, de manera de remover todo el líquido excedente.



- Aplicación del revelador. Este consiste en un polvo finamente dividido que permite que el líquido migre de la discontinuidad, por capilaridad, y le brinda un fondo para tener una mejor observación.
- Observación. Consiste en observar la indicación y en función de lo observado y la pericia del observador poder determinar el tipo de falla detectada.

Existen diferentes tipos de líquidos que se clasifican en:

➤ **Líquidos fluorescentes:**

- Autoemulsionables
- Postemulsionables
- Removibles con solventes
- De base acuosa

➤ **Líquidos coloreados:**

- Autoemulsionables
- Postemulsionables
- Removibles con solventes
- De base acuosa

Los líquidos fluorescentes requieren de luz negra para ser visibles, en cambio los coloreados se observan directamente.

El revelador es un polvo finamente dividido que permite que el líquido retenido en las discontinuidades emerja a la superficie.

Los reveladores se dividen en:

- Reveladores secos
- Reveladores Húmedos.

De acuerdo al tipo de pieza a ensayar se utilizan uno u otro.



Además de detectar discontinuidades superficiales, este método permite determinar la estanqueidad de un recipiente. Para ello lo que se hace es distribuir el líquido sobre la superficie interna del recipiente y el revelador en la superficie externa.

Ventajas:

- Es un ensayo no destructivo que permite ensayar toda la superficie de la pieza.
- No importa el tamaño o la forma de la pieza.
- No necesita equipos complejos o caros. En general, es un ensayo económico, de poco coste.
- Puede realizarse de forma automatizada o manual, en taller o en obra.
- Puede realizarse donde no hay suministro de electricidad o agua.
- Se puede aplicar a una amplia gama de materiales.

Desventajas:

- Sólo detecta discontinuidades abiertas a la superficie y no puede detectar discontinuidades subsuperficiales.
- No se puede aplicar a materiales porosos.
- Las superficies a ensayar tienen que estar completamente limpias (sin pinturas ni recubrimientos)

Partículas magnéticas

Este método permite determinar discontinuidades superficiales y subsuperficiales y es aplicable solo a materiales ferromagnéticos, aceros en general, no siendo aplicable a aluminio, cobre, zinc o aceros inoxidables austeníticos.

Consiste en magnetizar una pieza y esparcir partículas magnetizables sobre la superficie, de modo que donde exista una discontinuidad y a partir de la aparición de un campo de fuga, las partículas son atraídas generando la indicación.

La magnetización se puede efectuar haciendo circular una corriente por la pieza, la cual generará un campo magnético o introduciendo la pieza dentro de una bobina. Según sea el método aplicado se detectarán y ubicarán las discontinuidades.



Las partículas que se aplican sobre las superficies son de material magnetizables y las hay de distintas formas (alargadas y redondeadas) y tamaños. En función del método aplicable será la selección de las formas y tamaños, pero siempre es aconsejable la utilización de mezcla de formas y tamaños.

Según sea el método de aplicación de las partículas el método puede ser:

- Vía seca
- Vía húmeda

En el primer método las partículas se esparcen sobre la superficie magnetizada y en el segundo se encuentran en suspensión en un líquido.

En ensayo consiste de las siguientes etapas:

- Limpieza de la pieza a ensayar
- Magnetización de la pieza
- Aplicación de las partículas
- Observación e interpretación de las discontinuidades
- Registro de las indicaciones
- Desmagnetización de la pieza

El último paso se debe a que la pieza ensayada puede quedar con un cierto grado de magnetismo remanente, y en función de la utilización del elemento ensayado es necesario efectuarle una desmagnetización.

Ventajas:

- Generalmente es un método más rápido y económico.
- Requiere de un menor grado de limpieza, con respecto a la inspección por líquidos penetrantes.
- Puede revelar discontinuidades que no afloran a la superficie.

Desventajas:

- Son aplicables sólo en materiales ferromagnéticos.
- No tienen gran capacidad de penetración.
- El manejo del equipo en campo puede ser caro y lento.



- Generalmente requieren del empleo de energía eléctrica.
- Sólo detectan discontinuidades perpendiculares al campo.

Radiografía Industrial

La radiografía industrial es un método de ensayo no destructivo que permite la detección de discontinuidades tanto superficiales como internas en piezas de prácticamente todos los materiales empleados en la industria. Es una técnica tremendamente versátil, permitiendo radiografiar objetos de todos los tamaños y de prácticamente todos los materiales conocidos.

Este método de ensayo permite determinar discontinuidades en el interior de la pieza a ensayar.

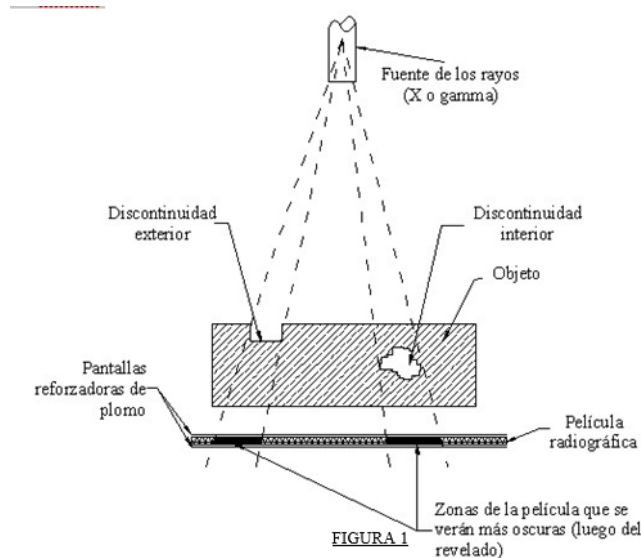
Consiste en exponer a la pieza a radiación X o radiación gama (γ), la radiación atraviesa la pieza y llega a una placa radiográfica, que luego de ser revelada, es sometida a análisis e interpretación.

La información que una radiografía puede brindar acerca de un objeto depende principalmente de tres factores, a saber:

- La composición del objeto.
- La densidad del material y el espesor del objeto.
- La energía de los rayos X o gamma que inciden sobre el objeto.

Este método se basa en el hecho que estas radiaciones son absorbidas por la materia de manera distinta para cada material. La absorción es directamente proporcional a la densidad y espesor del cuerpo irradiado (e inversamente proporcional a la energía del rayo).

La figura siguiente muestra un esquema de la aplicación del método.



Una discontinuidad en el material, tal como un hueco, una fisura, o un cambio de forma modificará el espesor efectivo del material y cambiará por consiguiente el grado de absorción de la radiación en dicha zona.

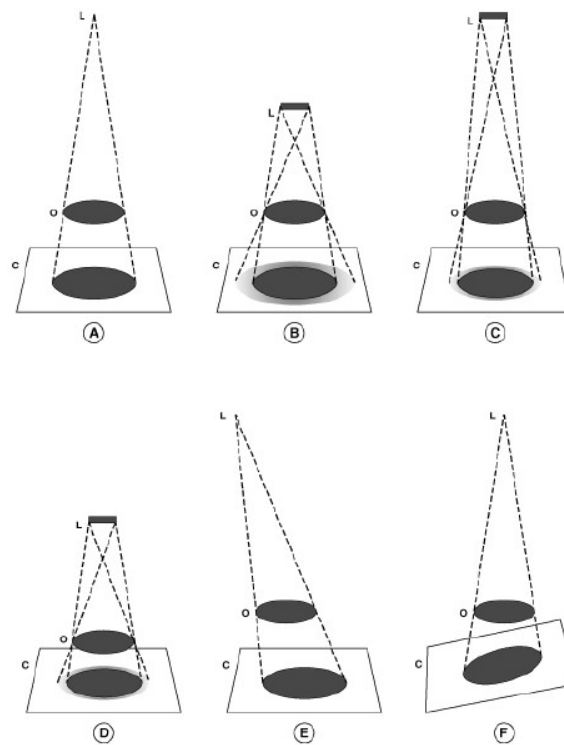
Principios geométricos de formación de imagen

Para obtener imágenes nítidas y próximas a las formas y tamaño del objeto:

- El foco o fuente de emisión debe ser lo más puntual posible.
- Foco lo más alejado posible del objeto, (éstas dos primeras condiciones son con el fin de evitar la formación de penumbra alrededor de la imagen del objeto).
- Película (o film) lo más cercana posible al objeto.
- Los rayos deben ser lo más perpendiculares posibles a la película.
- El plano del objeto y de la película deben ser lo más paralelos y próximos posibles.

Definimos DFP a la “distancia foco-película”; DFO a la “distancia foco-objeto”;

DOP a la “distancia objeto-película”.



Notación: L = foco - O = objeto - C = película.

Hay distintos parámetros que se deben considerar al momento de solicitar una radiografía:

- Densidad radiográfica
- Penumbra
- Contraste
- Definición.

Densidad: Es la medida del ennegrecimiento de una emulsión fotográfica expuesta a la radiación

Definición: Se denomina así a la nitidez que presentan los contornos de la imagen radiográfica. La falta de nitidez se corrige incrementando la DFP y reduciendo la DOP, con el fin de minimizar el espesor de penumbra o borrosidad geométrica

Contraste: Es una medida de la diferencia entre las densidades de dos zonas vecinas de una radiografía (debido obviamente a que recibieron diferentes cantidades de radiación).



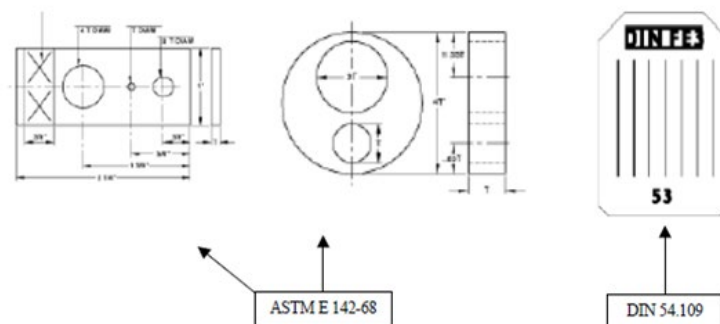
Penumbra: Es la distorsión que se genera en el contorno del objeto cuando se refleja en la película.

Evaluación de la calidad de la imagen - Indicador de calidad de imagen

Para obtener las mejores calidades de imagen será necesario elegir correctamente la película, las pantallas, el kilovoltaje, las distancias (DFP, DFO, DOP), y la exposición, que en conjunto permitan optimizar los resultados. No es un trabajo sencillo y suelen ser necesarias varias pruebas y reajustes antes de lograr un resultado satisfactorio. Para ayudar al operador en esta tarea existen elementos normalizados llamados indicadores de calidad de imagen o penetrómetros.

Los indicadores de calidad de imagen consisten en formas geométricas simples (alambres, escalerillas, placas con orificios, etc.) y están fabricados de un material similar al del objeto a inspeccionar. Su finalidad es la de introducir en la radiografía la presencia de discontinuidades ficticias y conocidas.

Al efectuarse la exposición del objeto bajo estudio, los indicadores de calidad de imagen se colocan de tal manera que aparezcan junto a la imagen de la pieza en la zona a inspeccionar. La presencia de imágenes nítidas de los penetrómetros en la radiografía será una evidencia indeleble de que la técnica radiográfica se ha realizado en condiciones adecuadas para los fines buscados.



Imágenes de distintos indicadores de calidad