

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN



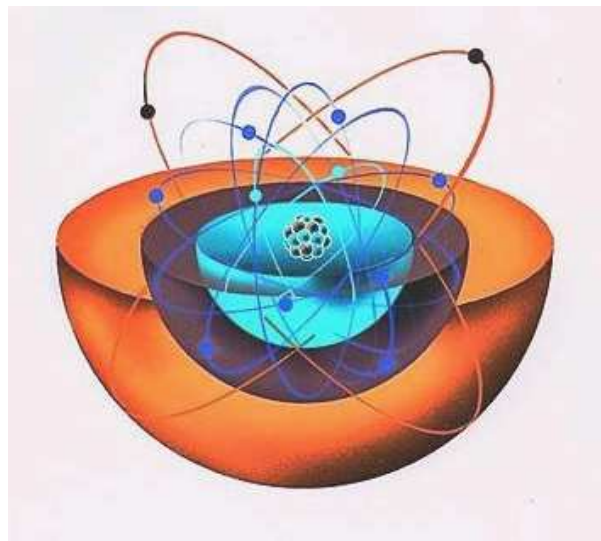
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LECTURAS DE INGENIERÍA 5

MATERIALES Y SUS PROPIEDADES



M. en I. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

CUAUTITLÁN IZCALLI 2008

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Ciencia y Tecnología actuales implican la generación y aplicación del conocimiento en muchas áreas y consecuentemente el estudiante de Ingeniería debe estar al tanto de los mismos, sin embargo, debido a la actualización poco frecuente de los programas y planes de estudio y por las limitaciones propias de semestres de apenas cuatro meses de actividades académicas, es difícil la actualización del estudiante en dichos conocimientos, además, dejar trabajos de investigación no funciona de la manera deseada, ya que en muchas ocasiones se descargan de Internet y se imprimen sin siquiera leerlos, de ese modo, surge la idea de crear una serie de apuntes de temas básicos para el ingeniero actual como son: el endurecimiento superficial del acero, las fundiciones de hierro, la tribología y el desgaste, la superplasticidad, los avances en la industria siderúrgica, superaleaciones, etc.

En esta entrega, se presenta un panorama general acerca de los materiales más utilizados en Ingeniería, así como sus características más importantes, igual que en las lecturas anteriores se espera que el material presentado sea de utilidad e interés para los alumnos y personas interesadas en el tema.

Como siempre cualquier comentario o corrección será bienvenido.

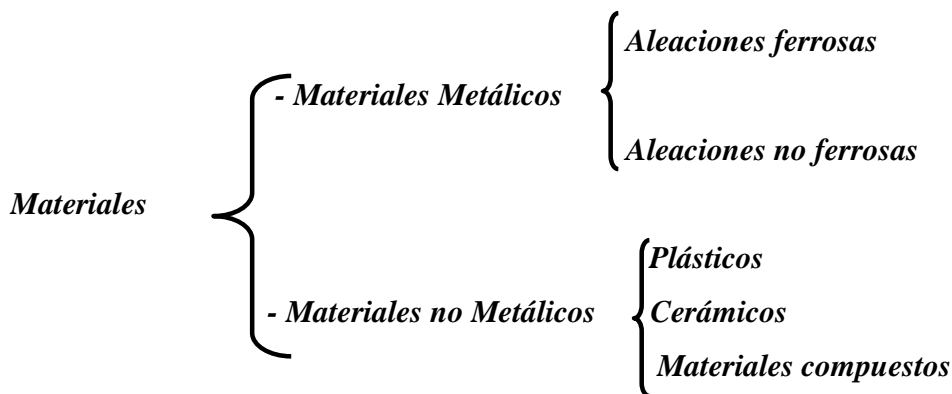
ATTE.

Mtro. Felipe Díaz del Castillo Rodríguez.

CAPÍTULO 1.

MATERIALES

Los materiales de uso corriente en Ingeniería se pueden clasificar en dos grandes grupos, a saber:



1.1.- ALEACIONES FERROSAS.

Las aleaciones ferrosas se pueden clasificar a su vez en:

Aceros y fundiciones de hierro (hierros colados).

Los aceros dependiendo de su contenido de carbono y de otros elementos de aleación se clasifican en:

- Aceros simples
- Aceros aleados
- Aceros alta aleación

Los aceros simples se pueden definir así.- Aleación hierro con carbono con un contenido de éste último en el rango de 0.02 hasta el 2% con pequeñas cantidades de otros elementos que se consideran como impurezas tales como P, S, Mn, Cu, Si, etc.

Los aceros simples se clasifican de acuerdo a su contenido de carbono en :

- Aceros de bajo carbono
- Aceros de medio carbono y
- Aceros de alto carbono

Cada uno de los grupos anteriores tienen características bien definidas como se muestra a continuación:

Aceros de bajo carbono ($0.02 < \%C < 0.3$)

- *Son dúctiles*
- *Soldables*
- *No se pueden tratar térmicamente*
- *Poseen una resistencia mecánica moderada*
- *Maquinables*
- *Baratos*

Aceros de medio carbono ($0.3 < \%C < 0.65$)

- *Son templables (Se pueden someter a temple y revenido)*
- *Poseen buena resistencia mecánica*
- *Ductilidad moderada*
- *Baratos*

Aceros de alto carbono ($\%C > 0.8$)

- *Son templables*
- *Duros y resistentes al desgaste*
- *Difíciles de soldar*
- *Poco tenaces*
- *Baratos*

Entre las principales aplicaciones de los aceros simples se pueden mencionar a las siguientes:

- *Estructuras*
- *Elementos de máquinas (Ejes, resortes, engranes, etc)*
- *Tornillos*
- *Herramientas de mano*

1.2.- ACEROS ALEADOS.

Los aceros aleados son aceros simples a los que se les agrega de manera intencional ciertos elementos de aleación, entre los que se pueden mencionar a los siguientes: cromo, molibdeno, níquel, tungsteno, vanadio, silicio, manganeso, etc., debiendo ser la suma de todos los elementos antes mencionados menor o igual al 5 %.

Los objetivos perseguidos son los siguientes:

- *Aumentar la resistencia mecánica*
- *Mejorar su templabilidad*
- *Aumentar su resistencia a la corrosión y a la oxidación*

Para designar a los aceros simples y aleados se utiliza un sistema de identificación de 4 dígitos desarrollado por AISI (American Iron and Steel Institute) y SAE (Society of Engineers Automotive) y que en México fue adoptado por NOM (Norma Oficial Mexicana).

Pongase por ejemplo al acero NOM - 1045; el primer dígito indica cual es el principal de aleación (carbono en este caso); el segundo dígito, la modificación del acero original y los dos últimos dígitos cual es el porcentaje de carbono en centésimas de punto, esto es, en el ejemplo el contenido de carbono es de 0.45%.

En la Tabla 1.1.- se muestra cual es principal elemento de aleación dependiendo de cual es el valor del primer dígito

Tabla 1.1.- Designación AISI-SAE-NOM para aceros simples y aleados

FAMILIA	PRINCIPAL ELEMENTO DE ALEACIÓN
1XXX	CARBONO
2XXX	NIQUEL
3XXX	NIQUEL-CROMO
4XXX	CROMO-MOLIBDENO
5XXX	CROMO
6XXX	CROMO-VANADIO
8XXX	CROMO-NIQUEL-MOLIBDENO
9XXX	CROMO-SILICIO

Los aceros de alta aleación se clasifican en dos grandes grupos, a saber:

- *Aceros Inoxidables*
- *Aceros para herramientas*

1.3.- LOS ACEROS INOXIDABLES

Son basicamente aleaciones Fe-Cr ó Fe-Cr-Ni con un contenido de al menos 10 % de cromo y el menor contenido posible de carbono y que poseen una buena resistencia a la corrosión y a la oxidación conferida por una capa de óxido de cromo que se forma sobre su superficie y que origina la pasivación de ésta.

Los aceros inoxidables se clasifican de acuerdo a la microestructura que se obtiene en ellos, tal y como se muestra enseguida:

- *Aceros inoxidables martensíticos*
- *Aceros inoxidables ferríticos y*
- *Aceros inoxidables austeníticos*

A continuación se mencionan las principales características de cada una de las familias de aceros antes mencionadas:

Aceros Inoxidables Martensíticos

- *Poseen un contenido de cromo entre el 12 y 14 %.*
- *El contenido de carbono no excede de 0.4 %.*
- *Son magnéticos*
- *Son tratables térmicamente (Temple y revenido).*
- *Poseen regular resistencia a la corrosión y a la oxidación.*
- *Son los más económicos dentro de los aceros inoxidables*
- *Según AISI-NOM se identifican mediante un 4 seguido de dos dígitos.*

Aceros Inoxidables Ferríticos.

- *Poseen un contenido de cromo entre el 15 y 25 %.*
- *El contenido de carbono no debe exceder de 0.1 %.*
- *Poseen buena resistencia a la corrosión y a la oxidación*

- *No son tratables térmicamente*
- *Endurecibles mediante trabajo en frío*
- *Son magnéticos.*
- *Según AISI- NOM se identifican mediante un 4 seguido de 2 dígitos.*

Aceros inoxidables Austeníticos

- *Poseen entre el 15 y 25 % de cromo*
- *También contienen níquel en un rango de 7 al 15 %.*
- *Y el contenido de carbono no debe exceder de 0.08 %*
- *Son no magnéticos*
- *No son tratables térmicamente*
- *Son endurecibles mediante trabajo en frío*
- *Son caros*
- *Se identifican mediante un 3 seguido de 2 dígitos, y los que contienen manganeso mediante un 2 seguido de 2 dígitos.*

Las principales aplicaciones de los aceros inoxidables son:

- *Tuberías*
- *Recipientes de proceso*
- *Válvulas*
- *Cuchillería*
- *Resortes*
- *Artículos de ornato, etc.*

1.4.- LOS ACEROS PARA HERRAMIENTA

Son otro grupo importante de aceros y como su nombre lo indica se utilizan fundamentalmente para la fabricación de herramientas que se utilizan para darle forma a otros materiales. Los principales elementos de aleación de los aceros para herramienta son : carbono, tungsteno, molibdeno, manganeso, vanadio, níquel, cobalto etc.

Los aceros para herramienta deben mostrar las siguientes cualidades:

- *Deben poseer una alta dureza y resistencia al desgaste.*
- *También deben mostrar una excelente templabilidad*
- *Deben sufrir una deformación mínima durante el tratamiento térmico.*
- *Deben retener su dureza a altas temperaturas (dureza al rojo)*

Al termino de la Segunda Guerra Mundial , en los Estados Unidos de Norteamérica , AISI se encargó de clasificar e identificar los aceros para herramienta tal y como se muestra a continuación:

Aceros para trabajo en frío.- *Los cuales a su vez se dividen en:*

- *Aceros templables en agua y que se identifican con la letra W*
- *Aceros templables en aceite identificables con la letra O*
- *Los aceros templables al aire que se identifican con la letra A*
- *Los aceros de alto cromo- alto carbono que se utilizan para la fabricación de troqueles que se identifican con la letra D.*

- *Aceros resistentes al impacto.* *identificables con la letra S.*

- *Aceros para trabajo en caliente* *que se se identifican con la letra H*

- *Los aceros rápidos o aceros alta velocidad* *que pueden ser al tungsteno y al molibdeno, idéntificandose los primeros con la letra W y los segundos con la letra M*

- *Los aceros para moldes* *que se identifican con la letra P*

- *Los aceros de propósito general* *que se identifican con las letras L y F.*

1.5.- FUNDICIONES DE HIERRO.

Son aleaciones de hierro y carbono con un contenido de este último en el rango de 2 hasta 6.7 % con cantidades adicionales de silicio o manganeso. Su principal diferencia con los aceros es que no se les puede dar forma mediante deformación plástica ni en frío ni en caliente.

Sus principales características son las siguientes:

- Buena resistencia a la compresión, pero no a la tensión
- Son maquinables
- Absorben vibraciones
- Buena resistencia bajo cargas variables
- Son baratos

Los hierros fundidos se clasifican en función de la forma en que se encuentra en carbono tal y como se menciona a continuación:

- Hierros fundidos blancos . El carbono se encuentra en forma de carburo de hierro
- Hierros fundidos grises .- El carbono de encuentra en forma de hojuelas de grafito
- Hierros fundidos nodulares o dúctiles.- El carbono se encuentra en forma de nódulos de grafito y
- Hierros fundidos maleables.- Donde el carbono se encuentra en forma de rosetas de grafito.

Los más resistentes son los hierros nodulares pero al mismo tiempo son los más caros ya que se precisa de un mayor control en su composición química. Los más usados son los hierros fundidos grises.

Las principales aplicaciones de los hierros fundidos son:

- Carcasas para bombas y transmisiones
- Bases y marcos para máquinas herramientas
- Engranajes
- Flechas
- Partes automotrices, etc.

1.6.- ALEACIONES NO FERROSAS.

El material no ferroso más usado en la actualidad es el aluminio y las aleaciones que forma con los siguientes elementos: Cu, Mg, Ni, Si, Zn, Li, etc. Mostrando las siguientes características:

- Buena resistencia a la corrosión debida a la formación de una capa protectora
- Ligero con una densidad de 2.7 g/cm^3
- Fácil de reciclar (principalmente el aluminio puro).
- Buena relación resistencia/peso

Sus principales aplicaciones son:

- Conductores eléctricos
- Componentes para avión
- Envases para alimentos
- Cancelería
- Diversos componentes automotrices

El cobre es otro importante metal de uso corriente en ingeniería, sus principales elementos de aleación son:

- Estaño, para constituir al bronce
- Zinc, formando el latón
- Níquel constituyendo los cuproniqueles

Sus principales características son:

- Es buen conductor eléctrico
- Posee buena resistencia a la corrosión
- Es dúctil y fácil de soldar
- Posee una resistencia mecánica moderada.

Sus principales aplicaciones son:

- Conductores eléctricos
- Resortes
- Tubería

- Artesanías
- Engranés
- Cerraduras

Otro metal con cada día mayor número de aplicaciones es el zinc, el cual es muy abundante en nuestro país; sus principales elementos de aleación son: aluminio, magnesio y el cobre. Sus principales características son:

- Buena resistencia a la corrosión
- Económico
- Funde a bajas temperaturas aleado con otros elementos

Se utiliza principalmente en forma de recubrimiento y como parte importante de dos aleaciones comerciales de gran importancia que son el Zamak y el Zinalco, el cual es producto de la investigación de académicos de la UNAM.

1.7.- MATERIALES NO METÁLICOS.

Los materiales no metálicos están constituidos principalmente por los siguientes grupos de materiales.

- Plásticos
- Cerámicos y
- Materiales compuestos.

1.7.1.- Los materiales plásticos

Los plásticos se dividen para su estudio en tres grandes grupos, a saber:

- Termoplásticos
- termofijos
- Elastómeros

Los primeros son aquellos que se pueden ablandar por medio de calor para darles forma muchas veces, esto significa que son fáciles de reciclar

Los plásticos termofijos no se pueden ablandar por medio calor, ya que si se aumenta mucho su temperatura sólo se conseguiría quemarlos y los elásticos son aquellos que pueden experimentar una gran cantidad de deformación elástica a temperatura ambiente.

De los plásticos se aprovechan las siguientes características:

- *Son ligeros*
- *Baratos*
- *No se corroen*
- *Se les puede dar forma fácilmente*
- *Buenos aislantes térmicos y eléctricos*
- *Son relativamente fáciles de reciclar*

Sin embargo muestran los siguientes inconvenientes:

- *Sólo pueden trabajar a temperaturas relativamente bajas (no más de 120 °C)*
- *Sus propiedades mecánicas son un tanto reducidas*
- *Se degradan*
- *Su reciclaje todavía es un tanto limitado.*

Sus principales aplicaciones son:

- *Fibras textiles*
- *Envases y envolturas*
- *Partes para automóvil*
- *Engranajes y carcasas*
- *Objetos diversos*

Los plásticos más usados hoy día son:

- *El polietileno, el poliestireno, el cloruro de polivinil (PVC), el tereftalato de polietileno (PET), el polipropileno, etc. Todos ellos son plásticos reciclables.*

Dentro de los termofijos los más usados son: los epóxicos, los silicones, poliésteres no saturados, poliuretano, fenólicos, etc. Todos ellos son muy difíciles de ser reciclables pero afortunadamente la suma de ellos sólo alcanza un 20 % del total consumido.

1.7.2 Los materiales cerámicos

Son los primeros materiales que tuvo a su alcance el hombre primitivo y que aún hoy siguen teniendo una gran cantidad de aplicaciones, por ejemplo, el barro, la porcelana, etc. Sin embargo en los últimos años han cobrado gran auge los llamados cerámicos de ingeniería, entre los que se pueden mencionar a los siguientes:

- *Oxidos (óxido de aluminio, óxido de magnesio, etc.)*
- *Carburos (Carburo de tungsteno, carburo de silicio, carburo de titanio, etc)*
- *Nitruros como puede ser en nitruro cúbico de silicio.*

Estos materiales de alta tecnología muestran las características siguientes:

- *Poseen una alta dureza*
- *Resistentes a temperaturas elevadas*
- *Aislantes térmicos y eléctricos*
- *Son resistentes a la corrosión*

Sin embargo, son frágiles, son poco resistentes al choque térmico y son todavía muy caros.

Estos materiales encuentran actualmente las siguientes aplicaciones:

- *Herramientas de corte*
- *Recubrimientos*
- *Válvulas e impulsores para bombas*
- *Ladrillos refractarios*
- *Componentes automotrices.*

1.7.3. Materiales compuestos.-

En términos generales, un material compuesto es aquel que está hecho de dos o mas elementos que le otorgan ciertas propiedades en combinación que no son posibles en ninguno separadamente. Los más importantes son los que se refieren a fibras resistentes de varios tipos , encapsuladas en plástico.

Estos, se clasifican en varias categorías según el tipo de fibras utilizadas en su fabricación tal y como se muestra a continuación:

- a) *Plásticos reforzados con fibras de carbono (CFPR)*
- b) *Plásticos reforzados con fibras Aramid (AFRP)*
- c) *Plásticos reforzados con fibras de vidrio.*

En los plásticos reforzados con fibras , éstas proporcionan la resistencia mecánica necesaria, y el material plástico o matriz proporciona la forma del componente. Las propiedades del material dependen del tipo de plástico y de fibra utilizados en su fabricación. Cuando las resinas utilizadas en los FRP son curadas y endurecidas forman una pieza de plástico, que por sí sola es débil y frágil. Por otra parte, las fibras utilizadas, son fabricadas de materiales frágiles y quebradizos como el vidrio ¿cómo es posible que un material frágil combinado con otro igual puedan crear un material tenaz ? El material con que están fabricadas las fibras se produce en forma de filamentos muy finos, y las cuarteaduras y fracturas en el material compuesto dejan de ser un problema mayor debido a las razones siguientes:

- *El diámetro de los filamentos de fibra es tan pequeño, que cuando son sometidas a carga, simplemente se doblan y se apartan de la dirección de la carga, en lugar de soportarla y como consecuencia fracturarse.*
- *Existe una carga mínima que el material con el que están fabricadas las fibras puede tolerar sin que su resistencia de vea afectada. Influyendo de manera determinante el diámetro de la fibra en la resistencia mecánica de ella.*

Las principales aplicaciones de los materiales compuestos son las siguientes:

- *Paneles de carrocerías para automóviles*
- *Artículos diversos*
- *Componentes para avión, etc.*

CAPÍTULO 2

PRUEBAS MECÁNICAS

2.1. APLICACIÓN DE LA PRUEBA DE TENSIÓN.

Cuando un material se somete a una carga o fuerza externa, sufrirá inicialmente una deformación de tipo elástica; si la carga sigue aumentando, la deformación pasará a ser de tipo plástica. Básicamente, se puede diferenciar la deformación elástica de la plástica, por el hecho de que la primera desaparece cuando deja de actuar la carga que la produjo, recuperando el metal sus dimensiones originales. Por otra parte, la deformación plástica es una deformación permanente, es decir, aun cuando se retire la carga que la produjo, el metal no recuperará sus dimensiones originales.

Para poder analizar dicho comportamiento y al mismo tiempo obtener las principales propiedades mecánicas de un material se aplica la prueba de tensión, la cual consiste en aplicar a una probeta de sección circular uniforme, una carga de tensión que se va incrementando gradualmente hasta que ocurre la falla, como se ve en la figura 1.1.

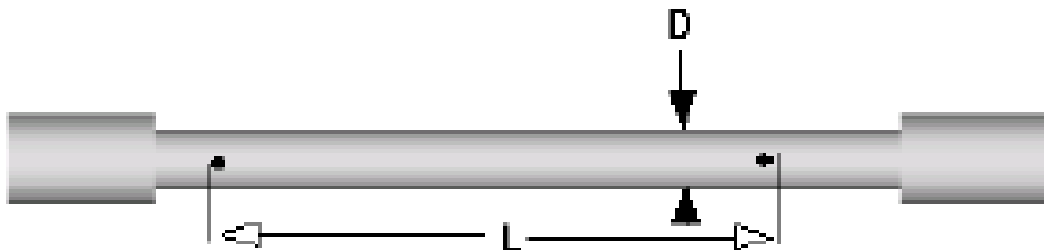


Figura 2.1. Probeta para prueba de tensión.

Dentro del rango de deformación elástica, existe una relación directa entre el esfuerzo y la deformación. El esfuerzo está dado por:

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots\dots\dots(2.1)$$

Donde:

σ = Esfuerzo expresado en N/mm², (psi)

F = La carga aplicada en N, (lb)

A = Al área de la sección transversal de la probeta en mm², (pulg²)

y la deformación producida por éste esfuerzo está dada por la relación:

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{L_0} = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots\dots(2.2)$$

Donde:

L₀ = Longitud inicial de la probeta en mm (pulg.)

L = Longitud de la probeta deformada elásticamente en mm (pulg.)

De aquí, se puede expresar la relación entre esfuerzo y deformación por medio de la ley de Hooke:*

$$\sigma = E \varepsilon \dots\dots\dots (2.3)$$

* La ley de Hooke Habla de la elasticidad (física). La teoría de la elasticidad (Ley de Hooke) establece que un cuerpo elástico se estira proporcionalmente a la fuerza que actúa sobre él.

Donde:

E = Módulo de elasticidad o módulo de Young, dado en N/mm² o Psi .

El módulo de Young también se conoce como módulo de elasticidad en tensión, para diferenciarlo del módulo de compresión(K) y del módulo de elasticidad al corte(G).

El módulo de elasticidad representa la resistencia del metal contra la deformación “elástica”. Para deformar elásticamente un material con alto módulo elástico se requiere un esfuerzo alto, mientras que un esfuerzo menor será suficiente para deformar elásticamente un material con módulo elástico bajo.

No es posible modificar en forma apreciable el módulo de elasticidad de un material dado, ya que E sólo varía sensiblemente en presencia de texturas (orientación preferencial de granos) o modificando apreciablemente la composición. Por ésta razón en el caso de los aceros, por ejemplo, el módulo de Young será el mismo así se trate de un acero aleado o un acero al carbono.

Sin embargo, se conoce que ciertos procesos que se llevan a cabo dentro del material, pueden disminuir el valor de E ; entre estos se puede mencionar: el endurecimiento por precipitación, descomposición eutectoide, deformación en frío, aumento de la temperatura de trabajo, etc.

2.2. DIAGRAMA ESFUERZO-DEFORMACIÓN DE INGENIERÍA.

La figura 2.2 representa en una gráfica, una curva típica esfuerzo-deformación (σ - ϵ) de ingeniería para un acero de bajo carbono (1020). Se observa la región elástica en la cual se cumple la Ley de Hooke denotada por la ecuación la deformación es proporcional al esfuerzo, hasta un valor de σ_E llamado “límite elástico”, a partir del cual empieza una deformación no recuperable, es decir, se entra a la región de deformación plástica, en la que ya no existe una relación directa entre esfuerzo y deformación.

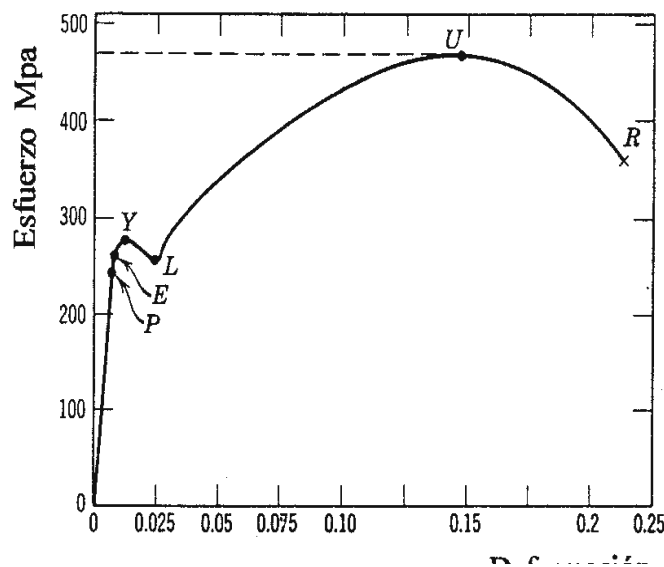


Figura 2.2.- “Diagrama esfuerzo - deformación para un acero de bajo contenido de carbono. En el diagrama, P es llamado Límite de Proporcionalidad, E Límite Elástico, Y punto de Fluencia Superior, L punto de Fluencia Inferior, U Resistencia máxima y R Resistencia a la Fractura.

El límite elástico de los materiales es un dato de suma importancia para el diseño, ya que el rebasar este valor conduciría a una deformación plástica, con pérdida de tolerancia y otros problemas.

Uno de los principales objetivos de los tratamientos térmicos es precisamente la elevación del límite elástico, lo que implica un aumento de la resistencia del material a la deformación plástica; esto es lo que se entiende por “aumentar la dureza” de un material.

También, a partir de dicho diagrama se pueden obtener las siguientes propiedades:

- *Límite proporcional: Es el mayor esfuerzo para el cual puede aplicarse la ley de Hooke. En otras palabras, es el esfuerzo en el extremo de la porción recta de la curva esfuerzo-deformación.*
- *Resistencia Máxima: Es el mayor esfuerzo, basado en la sección original, que puede soportar un material. También conocida como resistencia última.*
- *Resistencia a la ruptura: Es el esfuerzo en un material, basado en la sección transversal original en el instante en que se rompe. También conocido como resistencia a la fractura.*

- **Elasticidad:** Se refiere a la habilidad de un material para deformarse bajo una carga o esfuerzo y recuperar sus dimensiones originales cuando el esfuerzo se retira.
- **Plasticidad:** Es la cualidad de un material para deformarse bajo un esfuerzo o carga y retener esta deformación después de retirar la carga o esfuerzo.
- **Resistencia a la cedencia o a la fluencia:** Es aquel esfuerzo que causará en el material una cierta cantidad específica de deformación plástica. Usualmente se determina por el método de la mínima deformación permanente. La resistencia a la cadencia es el esfuerzo en donde se intersectan la línea curva y la línea recta en el diagrama de esfuerzo-deformación.
- **Porcentaje de alargamiento:** Se obtiene comparando el alargamiento total en la fractura, con la longitud calibrada de la probeta.

Las dos partes de la fractura se acoplan adecuadamente, y se mide la distancia entre las marcas de comparaciones; el alargamiento total es esta distancia menos la longitud inicial.

Matemáticamente se define así:

$$\% \varepsilon = \frac{l_f - l}{l} \times 100 \text{-----} \quad (2.4)$$

Donde :

l_f =Longitud Final

l =Longitud Inicial

ε = Elongación.

- **Porcentaje de reducción de área:** Cuando un material dúctil se esfuerza mas allá de su resistencia máxima, su área transversal, decrece apreciablemente hasta que sucede la fractura.

Este decremento del área es conocido como estrangulación y se obtiene comparando la reducción del área en la sección mas pequeña de la probeta fracturada con el área de la sección transversal original, figura 2.3.

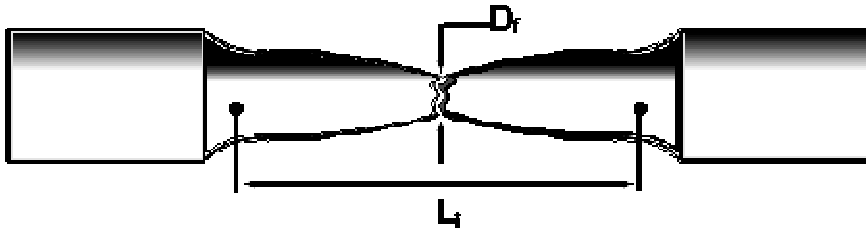


Figura 2.3. Probeta después de la fractura.

En forma de ecuación queda así:

$$\% \text{ REDUCCIÓN DE ÁREA} = \frac{A - A_F}{L} \times 100 \text{ ----- (2.5)}$$

Donde:

A= Área original de la sección transversal.

A_F= Área final de la sección transversal.

Debe mencionarse que los diagramas esfuerzo-deformación para diferentes materiales, varían considerablemente, y diferentes pruebas de tensión del mismo material pueden producir resultados diferentes, dependiendo de la temperatura de la muestra y la rapidez en la aplicación de la carga.

Sin embargo, es posible distinguir algunas características comunes entre los diagramas esfuerzo-deformación de varios grupos de materiales y dividirlos en dos amplias categorías sobre la base de estas características; a saber:

-Materiales Dúctiles y Materiales Frágiles.

El comportamiento típico de estos se observa en la figura 2.4.

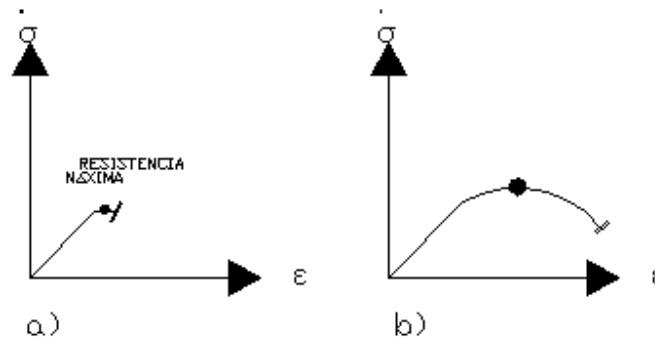


Figura 2.4. Diagramas esfuerzo-deformación
a) Materiales frágiles b) Materiales dúctiles

Los materiales dúctiles, que comprenden el acero estructural y muchas otras aleaciones, se caracterizan por su capacidad para fluir a temperaturas normales.

Cuando se somete la probeta a una carga creciente, su longitud aumenta, primero linealmente a una velocidad muy baja; pero después que alcanza un valor crítico de esfuerzo, la probeta sufre grandes deformaciones con un pequeño aumento en la carga aplicada. Esta deformación ocurre por deslizamiento del material en planos oblicuos y se debe a la presencia de esfuerzos cortantes.

Los materiales frágiles como el hierro fundido, cristal y piedra se caracterizan porque la ruptura ocurre sin que se presente antes un cambio importante en la velocidad de alargamiento.

Así para materiales frágiles no hay diferencia entre resistencia última y resistencia a la ruptura.

También, la deformación en el momento de la ruptura es mucho más pequeña para materiales frágiles que para materiales dúctiles.

Para la realización de esta prueba se utilizan máquinas universales como la que se observa en la figura 2.5.

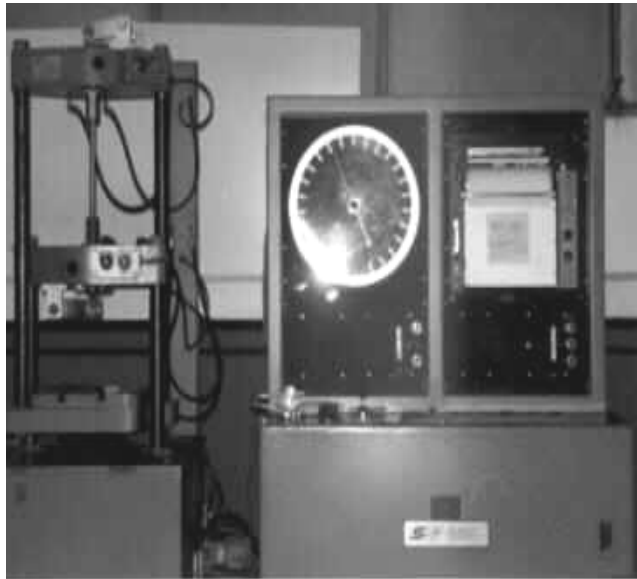


Figura 2.5. Máquina universal para prueba de tensión.

2.3.- RESISTENCIA ESPECÍFICA

No importando de que material éste hecho un componente, obviamente se puede hacer más resistente si se incrementan sus dimensiones. El problema con este tipo de solución es que la pieza al mismo tiempo se vuelve más pesada y en muchas máquinas, por ejemplo, aviones ó automóviles es el enemigo a vencer. La condición ideal buscada es la máxima resistencia con el menor peso posible. Por lo tanto, una de las cuestiones que más interesan al ingeniero mecánico es la relación resistencia-peso, que en ingeniería recibe el nombre de resistencia específica del material. Matemáticamente esto es:

$$\text{Resistencia específica} = \text{Resistencia a la fluencia} / \text{densidad}$$

Haciendo una comparación sobre esta base los materiales modernos compuestos figuran en los primeros lugares en comparación con otros materiales que son insignificantes en este aspecto, por ejemplo la resistencia específica para el acero NOM- 1010 es de 200, mientras que para la fibra de carbono es de 4600.

2.4.- RIGIDEZ, MÓDULO DE YOUNG

La resistencia mecánica y la relación resistencia-peso no son las únicas propiedades que se toman en cuenta para la elección de un material para la fabricación de un elemento o estructura mecánica. Existe otro factor importante, la rigidez. Retomando la definición de

resistencia, que es una medida de la cantidad de fuerza requerida para romper una muestra de material; la rigidez es una propiedad que muestra que tanto se deformará un material bajo la acción de una determinada carga, es decir, ¿ qué tan elástico es un material ?

El número que representa la rigidez es llamado “módulo de elasticidad ó módulo de Young” y es representado por la letra E en los manuales de materiales . El módulo de Young es el esfuerzo que sería requerido para deformar al doble la longitud de un espécimen, si esto fuera posible.

Al comparar la rigidez de diferentes materiales , la tabla 2.1 revela que existe una gran separación entre los valores y no existe un patrón común. La separación entre materiales compuestos y metales ha desaparecido. De hecho el acero presenta muy buenas propiedades comparadas con las de las fibras. Los metales más ligeros que el acero, como el titanio, el aluminio y el magnesio, el aramid y la fibra de vidrio presentan bajas propiedades mientras que la madera practicamente nada.

Tabla 2.1.- Módulo de elasticidad y rigidez de varios materiales

<i>MATERIAL</i>	<i>E (msi)</i>	<i>D (lb/plg³)</i>	<i>E/D</i>
<i>Madera</i>	<i>1.4</i>	<i>0.02</i>	<i>70</i>
<i>Titanio-6Al-4V</i>	<i>16</i>	<i>0.17</i>	<i>94</i>
<i>Acero SAE-1010</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100</i>
<i>Acero SAE -4340</i>	<i>30</i>	<i>0.3</i>	<i>100</i>
<i>Aluminio 2024</i>	<i>10.6</i>	<i>0.1</i>	<i>106</i>
<i>Magnesio AZ31B</i>	<i>6.5</i>	<i>0.06</i>	<i>108</i>
<i>Super aleaciones de Niquel</i>	<i>33.6</i>	<i>0.3</i>	<i>112</i>
<i>Fibra de vidrio E</i>	<i>10.5</i>	<i>0.09</i>	<i>117</i>
<i>Fibra de vidrio S-2</i>	<i>12.5</i>	<i>0.09</i>	<i>139</i>
<i>Fibra Aramid</i>	<i>16.3</i>	<i>0.05</i>	<i>326</i>
<i>Fibra de carbono HS</i>	<i>32</i>	<i>0.07</i>	<i>157</i>
<i>Fibra de carbono HM</i>	<i>100</i>	<i>0.07</i>	<i>1429</i>

Desde el punto de vista matemático el módulo de Young es la pendiente del diagrama esfuerzo- deformación en la región elástica.

2.5.- RIGIDEZ ESPECÍFICA.

La situación es la misma para rigidez que para resistencia, se puede ganar más rigidez incrementando la cantidad de material en un componente, pero el peso también se incrementa. Para poder comparar la utilidad estructural de diversos materiales, se necesita tomar en consideración otra vez el peso, por lo tanto la idea de introducir a la ingeniería una relación rigidez-peso, llamada también rigidez específica, resulta de gran ayuda. Cuando se comparan los materiales bajo estas bases, tabla 2.1. nos encontramos con la más extraña coincidencia de la ciencia de materiales: todos los metales estructurales comunes, las fibras de vidrio E, y la mayor parte de maderas tienen virtualmente los mismos valores de rigidez específica. "Una de las pequeñas bromas de Dios" (Profesor J.E. Gordon Michigan University)

2.6.- DUREZA .-

Es la resistencia del material a la penetración, a la deformación plástica y a la rayadura. Existen varios ensayos de dureza para encontrar su valor en distintos materiales, siendo lo más importantes los siguientes:

- Prueba Brinell, que utiliza cargas de 500 y 3000 kg de carga; se utiliza en hierros, aceros y aleaciones no ferrosas*
- Prueba Rockwell, la cual emplea cargas de 60,100 y 150 kg de carga, se puede emplear en material muy blandos y muy suaves.*
- Prueba Vickers, puede emplearse cargas desde unos cuantos gramos hasta los 10 kg, y su versatilidad es muy grande.*
- Prueba Knoop o Tukón.- Emplea cargas menores a 1 kg y se puede medir la dureza de casi todos los materiales.*

Las diferencias entre los diferentes tipos de ensayos de dureza radican en los siguientes factores:

- Magnitud de la carga empleada*

- El tipo de indentador utilizado
- El parámetro que se mide de la huella.

La dureza esta intimamente ligada con la resistencia máxima del material, por ejemplo para los aceros, en el sistema inglés la resistencia máxima del material en lb/ pulg² se puede aproximar con la siguiente fórmula:

$$\sigma_{max} = 500 \times BHN$$

Donde: BHN es el número de dureza Brinell

2.7. ENSAYO DE IMPACTO.

Cuando se somete un material a un golpe súbito e intenso, en el cual la velocidad de aplicación del esfuerzo es extremadamente grande, el material puede tener un comportamiento más frágil comparado con el que se observa en el ensayo de tensión. El ensayo de impacto a menudo se utiliza para evaluar la fragilidad de un material bajo estas condiciones. Se han desarrollado muchos procedimientos, incluyendo el ensayo Charpy y el ensayo Izod. Este último generalmente se utiliza para materiales no metálicos. La probeta puede o no tener muesca, la que tiene muesca en V mide mejor la resistencia del material a la propagación de grietas.

Durante el ensayo, un péndulo pesado, que inicia su movimiento desde una altura h_0 , describe un arco y posteriormente golpea y rompe la probeta; llega a una altura final h_f menor. Si se conocen las alturas inicial y final del péndulo, se puede calcular la diferencia en su energía potencial. Esta diferencia es la energía de impacto absorbida durante la falla o ruptura de la probeta. En el caso del ensayo Charpy, la energía por lo general se expresa en libra-pie (lb.-pie) o en Joules (J) donde $1 \text{ lb_pie} = 1.356 \text{ J}$. La capacidad de un material para resistir cargas de impacto, a menudo se conoce como tenacidad del material. La figura 2.6 muestra esquemáticamente la prueba de impacto.

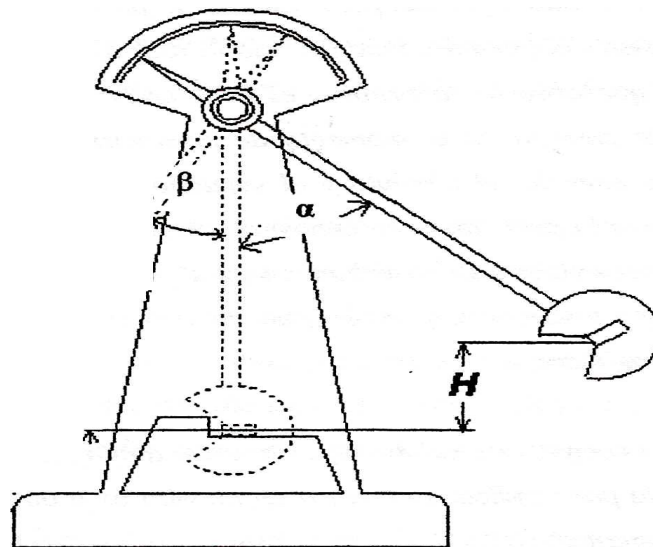


Figura 2.6. Esquema de la prueba de impacto Charpy

2.7.1 Propiedades obtenidas a partir del ensayo de impacto.

A partir de la prueba de impacto se pueden obtener las propiedades siguientes:

- *Temperatura de transición.*

La temperatura de transición es la temperatura a la cual un material cambia de un comportamiento dúctil a un comportamiento frágil. Esta temperatura puede definirse como la energía promedio entre las regiones dúctil y frágil, a una energía absorbida específica, o al tener ciertas características en la fractura. Un material sujeto a cargas de impacto durante las condiciones de servicio deberá tener una temperatura de transición por debajo de la temperatura de operación determinada por el ambiente que rodea el material.

No todos los materiales tienen una temperatura de transición bien definida. Los metales BCC tienen temperatura de transición, pero la mayoría de los FCC no la tienen. Los metales BCC absorben valores altos de energía durante las pruebas de impacto; esta energía disminuye gradualmente e incluso a veces se incrementa conforme se reduce la temperatura.

- *Sensibilidad a las muescas.*

Las muescas causadas por un maquinado, fabricación o diseño defectuoso son concentradoras de esfuerzos y reducen la tenacidad de los materiales. La sensibilidad a las muescas de un material puede evaluarse comparando las energías absorbidas por probetas con y sin muescas.

Las energías absorbidas son mucho menores en probetas con muesca si dicho material es sensible a éstas.

Relación con el diagrama esfuerzo-deformación.

La energía necesaria para romper un material está relacionada con el área bajo la curva esfuerzo real-deformación real. Aquellos metales con resistencia y ductilidad altas tienen buena tenacidad. Los materiales cerámicos y muchos compuestos, por otra parte, poseen poca tenacidad, a pesar de su alta resistencia, ya que virtualmente no tienen ductilidad.*

Aunque la prueba Charpy es muy simple desde el punto de vista mecánico, con ella se pueden diseñar varias pruebas de impacto donde se muestra de forma rápida y didáctica, la influencia que tienen determinados factores en el comportamiento mecánico de los materiales, la figura 2.7 muestra ejemplos de algunas de estas máquinas.



Figura 2.7. Máquinas Charpy con diferentes capacidades

Como se mencionó anteriormente la prueba, consiste en golpear mediante una masa una probeta que se sitúa en un soporte, ver figura 2.8.

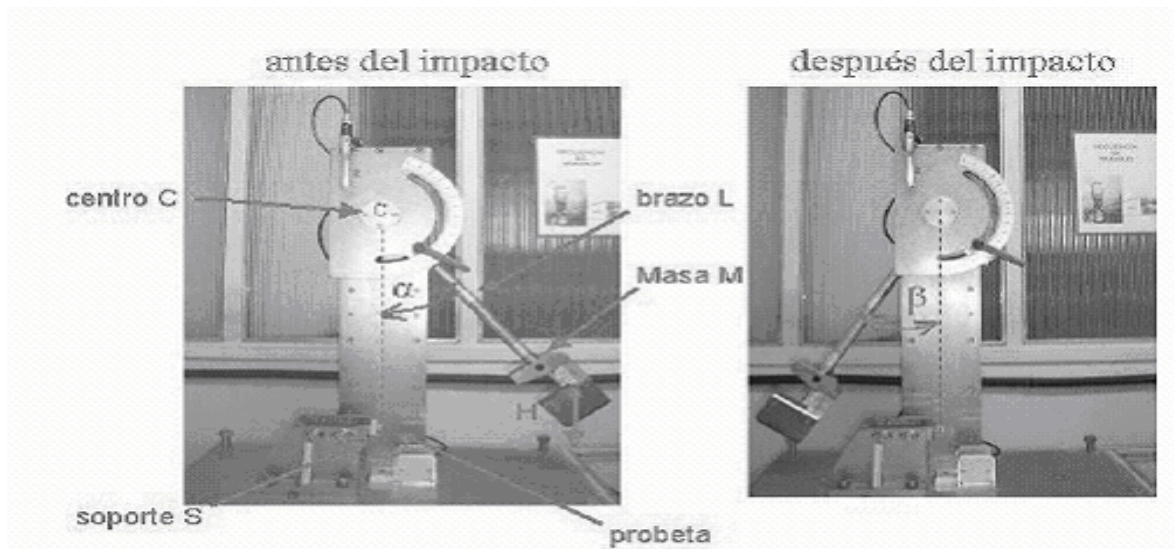


Figura 2.8. Prueba Charpy, a la izquierda antes del impacto, a la derecha después de este.

La masa M , la cual se encuentra acoplada al extremo del péndulo de longitud L , se deja caer desde una altura H , mediante la cual se controla la velocidad de aplicación de la carga en el momento del impacto.

La energía absorbida Δ_E por la probeta, para producir su fractura, se determina a través de la diferencia de energía potencial del péndulo antes y después del impacto. Una vez conocido el ángulo inicial de aplicación de la carga (α) y el ángulo final (β) al que se eleva el péndulo después de la fractura completa de la probeta; se puede calcular la energía Δ_E mediante la siguiente expresión (A):

$$\Delta_E = PL(\cos \beta - \cos \alpha)$$

Donde:

P es el producto de la masa M por la aceleración gravitacional

2.7.1. Normatividad ASTM

Las pruebas de impacto Charpy se realizan según normas internacionales en las cuales se detallan las dimensiones de las probetas empleadas en este tipo de ensayo, así como la forma de reportar los resultados de los mismos. De acuerdo con las normas ISO (International Standards Organization), los resultados de los ensayos de impacto, en probetas entalladas, se suelen expresar en (KJ / m^2) , para lo

cual se divide la energía absorbida para provocar la fractura de la probeta entre la sección transversal de la misma en la zona de la entalla ($h \times b_n$), figura 2.9, mientras que según las normas ASTM (American Society for Testing and Materials) se reportan los resultados en (J/m), donde se divide esa energía absorbida entre la remanente en la base de la entalla (b_n)

Las probetas para estas pruebas, tiene forma de paralelepípedos con una sección transversal de $1 \times 1 \text{ cm}^2$ y 55 mm. De longitud. Según las normas ASTM, en su especificación E 23; tanto el percutor (sección de la masa M que golpea a la probeta) como el soporte de la probeta, deben tener dimensiones normalizadas.

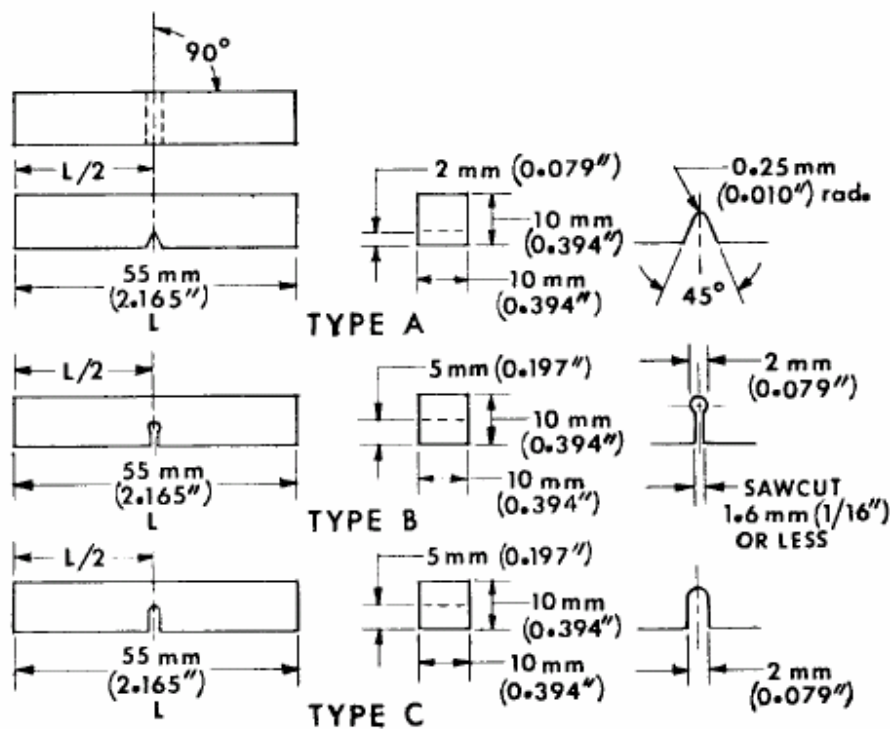


Figura 2.9 Probetas usadas en el ensayo Charpy, Dimensiones y detalle de la entalladura

Las entalladuras o muescas pueden variar en su radio pero suele usarse una profundidad de 3 mm . La figura 2.10 muestra diferentes muescas para un mismo material.

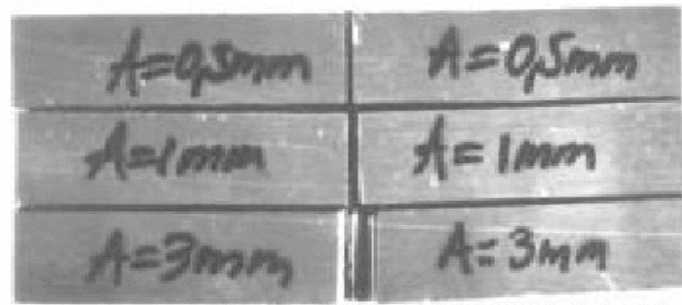


Figura 2.10 Probetas con muescas a diferentes radios.