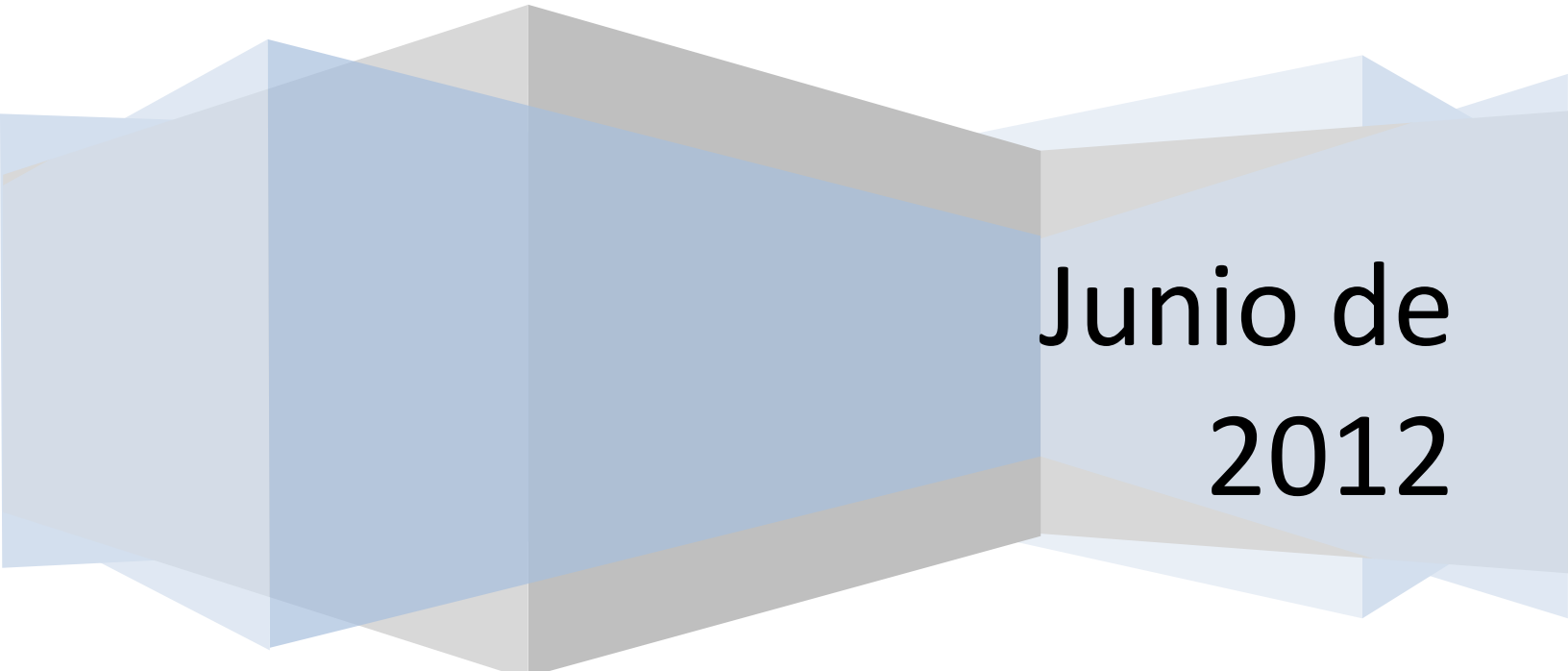


Prácticas de Ingeniería de los materiales

Para estudiantes de las carreras de Ing.
Mecánica, Aeroespacial, Energías renovables,
Industrial.

Elaboradas por: M. en C. Benjamin González Vizcarra, Dr.
Arturo Abundez Pliego, M. C. José Navarro Torres, Juan
Antonio Paz González, Ing. Miguel Ángel Ávila Puc, M.I. Yuridia
Vega.



Junio de
2012



Índice

Practica 1 Clasificación de materiales.	3
Practica 2 Estructuras cristalinas	13
Practica 3 Índices de Miller para puntos, planos y direcciones	22
Practica 4 Ensayo de Tensión	29
Practica 5 Preparación Metalografía	41



“Practica No1”





Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

PLAN DE ESTUDIOS	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
2009-2	xxxxxxx	Ciencia de los Materiales

PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DURACIÓN
1	Ciencias de los materiales	Clasificación de materiales	2 horas

1. OBJETIVO (COMPETENCIA)
<ul style="list-style-type: none">➤ Identificar las principales características físicas de los materiales➤ Discutir y clasificar en función a las propiedades físicas de los materiales➤ Elaborar un cuadro comparativo de los diferentes tipos de materiales analizados➤ Investigar y analizar todas las clasificaciones que existen de los materiales

2. INTRODUCCIÓN

¿Qué es la ciencia de los materiales?

La ciencia de los materiales es un campo interdisciplinario que se ocupa de inventar nuevos materiales y mejorar los ya conocidos, mediante el desarrollo de un conocimiento más profundo de las relaciones entre micro estructura, composición, síntesis y procesamiento. El termino **composición** indica la constitución química de un material. El termino **estructura** significa una descripción del arreglo atómico. Visto con distintos grados de detalle. Los científicos y los ingenieros en materiales no solo tienen que ver con el desarrollo de materiales, sino también con la **síntesis** y el **procesamiento** de materiales y con los procesos de fabricación correspondientes a la producción de los componentes. El termino *síntesis* indica la manera de fabricar los materiales a partir de elementos naturales o hechos por el hombre. El termino *procesamiento* indica el modo en que se conforman los materiales en componentes útiles y para causar cambios en las propiedades de distintos materiales. Una de las funciones más importantes de los científicos e ingenieros en materiales es establecer las relaciones entre las propiedades y el funcionamiento de un material o de un dispositivo, así como micro estructura, la composición y la forma en que el material se sintetiza y procesa. En la **ciencia de los materiales** se subrayan las relaciones subyacentes entre la síntesis y el procesamiento, la estructura y las propiedades de los materiales. En la **ingeniería de materiales** el enfoque es hacia como convertir o transformar los materiales en dispositivos o estructuras útiles.

Uno de los aspectos más fascinantes de la ciencia de materiales es la investigación de la estructura de un material. La estructura de los materiales tiene una influencia profunda en muchas de sus propiedades ¡aun cuando no cambie la composición general! Por ejemplo, si se toma un alambre de cobre puro y se dobla en forma repetida, el alambre no solo se endurece ¡sino también se vuelve cada vez más frágil! Al final, el alambre de cobre puro se vuelve tan duro y frágil ¡que se rompe! La resistencia del alambre también aumenta al doblar en forma repetida, en este ejemplo sencillo, obsérvese que no se cambio la composición del material, es decir, su constitución química. Los cambios en las propiedades del material se deben a un cambio en su estructura interna, si se examina el alambre después de doblarlo se volverá igual que antes; sin embargo, su estructura ha cambiado a una escala muy

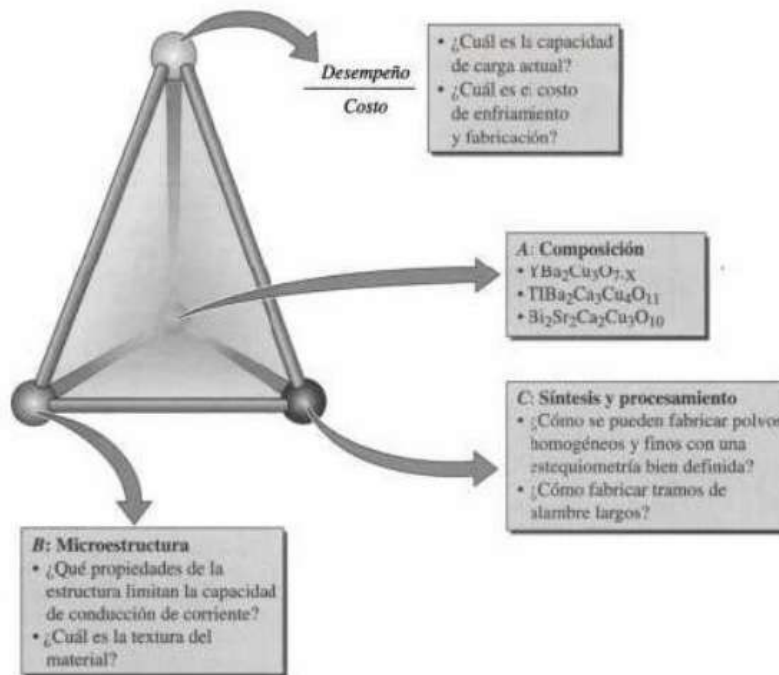


Figura 1-1 Aplicación del tetraedro de la ciencia e ingeniería de los materiales a los superconductores cerámicos. Obsérvese que la micro estructura y la síntesis, y el procesamiento y la composición se interconectan entre sí y afectan la relación entre el desempeño y el costo.

Pequeña o microscópica. A la estructura en esta escala microscópica se le llama **microestructura**. Si se puede comprender lo que cambió microscópicamente, se comenzara a descubrir formas para controlar las propiedades del material.

Veamos, con una perspectiva todavía mejor, el tetraedro de la ciencia e ingeniería de los materiales que se presenta en la página inicial del capítulo, examinando un producto de muestra: superconductores cerámicos inventados en 1986 (fig. 1-1). El lector sabe que los materiales cerámicos no suelen conducir la corriente eléctrica. Los científicos encontraron por casualidad que ciertos cerámicos a base de óxido de itrio, bario y cobre (llamados YBCO) en realidad pueden conducir la corriente eléctrica, sin ofrecerle resistencia, bajo ciertas condiciones. Con base en lo que entonces se conocía de los superconductores metálicos y las propiedades eléctricas de los cerámicos, no se consideraba que el comportamiento superconductor de estos tuviera grandes posibilidades. Así, en este caso, el primer paso fue el *descubrimiento* del comportamiento superconductor de los materiales cerámicos. Una de las limitaciones que se descubrieron fue que esos materiales solo pueden supe conducir a bajas temperaturas (< 150 K).

El siguiente paso fue determinar como mejorar esos materiales. Por “mejorar” se entiende la forma como se puede conservar el comportamiento superconductor en esos materiales, a temperaturas cada vez mayores, o como se puede transportar una gran cantidad de corriente a una gran distancia. Esto implica hacer estudios cuidadosos de procesamiento y propiedades estructurales. Los científicos en materiales deseaban saber cómo afecta la composición y la microestructura (el arreglo de la estructura atómica, etc.) al comportamiento superconductor; también deseaban saber si existían otros compuestos que presentaran una superconductividad similar. Mediante experimentos, los científicos desarrollaron la *síntesis* controlada de polvos ultra finos con los cuales crear un material cerámico superconductor.

Desde una perspectiva de *ingeniería de materiales*, se desea saber si se pueden fabricar motores, imanes muy poderosos (que se pudieran usar, por ejemplo, para obtener imágenes de resonancia magnética), alambres de superconductores cerámicos que se usen en aplicaciones electrónicas o dispositivos micro electrónicos diminutos.



Universidad Autónoma de Baja California CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

Digamos que, en la aplicación de transmisión de energía eléctrica, se desea conocer, en último término, si se pueden fabricar tramos largos, fiables y reproducibles, de alambres superconductores mejores que los actuales alambres de cobre y de aluminio. ¿Se pueden producir esos alambres en forma económica?

El siguiente desafío fue fabricar tramos largos de alambres superconductores cerámicos. Estos superconductores son frágiles, por lo que era todo un reto fabricar tramos largos de alambre. Entonces debieron desarrollarse las técnicas de *procesamiento de materiales* para crear esos nuevos alambres. Se encontraron buenas soluciones mediante prueba y error. Una forma eficaz de crear estos alambres superconductores fue llenar tubos huecos de plata con polvos de cerámica superconductora, para después treillarlos.

Aunque el descubrimiento de los superconductores cerámicos si causo gran expectativa, la ruta de la conversión de ese descubrimiento en productos útiles ha encontrado muchos desafíos relacionados con la síntesis y el procesamiento de esos materiales. [3-6] En fecha reciente se ha observado la superconductividad en un compuesto llamado di boruro de magnesio (MgB_2). Este compuesto parece no tener las limitaciones de algunos de los demás superconductores cerámicos usados antes, pero se necesitaran más pruebas y desarrollos para fabricar este material en forma económica.[7]

A veces se califican como *revolucionarios* los descubrimientos de nuevos materiales, fenómenos o dispositivos. Hoy, al ver hacia atrás, se considera revolucionario el descubrimiento del transistor de silicio que se usa en los chips de computadora. Por otra parte, los materiales que han evolucionado durante cierto tiempo pueden tener la misma importancia; a esos materiales se les llama *evolucionarios*. Muchas aleaciones basadas en hierro, cobre y elementos parecidos son ejemplos de materiales evolucionarios, hace muchos años fueron avances revolucionarios, no es raro que primero se descubran materiales o fenómenos y después de muchos años aparezcan en el mercado los productos o procesos. La transición del desarrollo de materiales o procesos nuevos, hasta las aplicaciones comerciales o industriales útiles, puede ser lenta y difícil. [8]

Clasificación de los materiales

Hay varias formas de clasificar los materiales. Una de ellas consiste en describir cinco grupos (tabla 1-1):

1. **Metales y aleaciones;**
2. **Cerámicos, vidrios y vitrocerámicos;**
3. Polímeros (plásticos);
4. Semiconductores y
5. Materiales compuestos.

Los materiales en cada uno de estos grupos poseen distintas estructuras y propiedades. Las diferencias de resistencia, que se comparan en la figura 1-4. Ilustran el amplio margen de propiedades de donde pueden seleccionar los ingenieros. Como los materiales metálicos se usan en aplicaciones de cargas dinámicas, sus propiedades mecánicas son de gran interés práctico. Aquí les presentaremos en forma breve. El término *esfuerzo* indica una carga o fuerza por unidad de área. *Deformación unitaria* se refiere al alargamiento o a un cambio de dimensión, dividido entre la dimensión original. La aplicación del *esfuerzo* causa la *deformación unitaria*. Si esa deformación unitaria desaparece después de haber quitado la carga o el esfuerzo aplicado, se dice que la deformación es *elástica*. Si la deformación unitaria permanece después de eliminar el esfuerzo, se dice que la deformación unitaria es *plástica*. Cuando la deformación es elástica y el esfuerzo y la deformación guardan una relación lineal, la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación unitaria se le llama módulo de elasticidad o módulo de Young. Al valor de esfuerzo necesario para iniciar la deformación plástica se le llama *resistencia de cedencia*. La deformación porcentual máxima que se puede alcanzar es una medida de ductilidad de un material metálico. Todos estos conceptos se describen con detalle en el capítulo 6.

Metales y aleaciones. Incluyen aceros, aluminio, magnesio, zinc, hierro colado, titanio, cobre y níquel. En general, los metales tienen buena conductividad eléctrica y térmica. Los metales y las aleaciones tienen resistencia relativamente alta, gran rigidez, ductilidad o tormabilidad y buena resistencia a los choques térmicos. Tienen utilidad especial en aplicaciones estructurales o bajo cargas dinámicas. Aunque a veces se usan metales puros, las mezclas de metales llamados aleaciones permiten mejorar determinadas propiedades o mejores combinaciones de propiedades. El corte



longitudinal de un motor de reacción que se ve en la figura 1-5 ilustra el uso de materiales metálicos en varias aplicaciones críticas.

Cerámicos, vidrios y vitroceramicas. Los cerámicos se pueden definir como materiales cristalinos inorgánicos. Es posible que sean materiales más “naturales”. La arena de la playa y las rocas son ejemplo de cerámicos naturales. Los cerámicos avanzados son materiales obtenidos refinando cerámicos naturales y con otros procesos especiales. Se usan en sustratos que albergan chips de computadora, sensores y actuadores, capacitores, comunicaciones inalámbricas, bujías de motores, inductores y aislantes eléctricos. Algunos cerámicos se usan como recubrimientos, actuando como barrera para proteger sustratos metálicos en motores de turbina. También se usan en productos para el consumidor como pinturas, plásticos y neumáticos, así como aplicaciones industriales como losetas para transbordadores espaciales, soporte de catalizador y en los sensores de oxígeno que usan los automóviles. Las cerámicas tradicionales se usan para fabricar ladrillos, vajillas, artículos sanitarios, refacciones (materiales resistentes al calor) y abrasivos. En general, debido a la presencia de porosidad (pequeños agujeros), no conducen bien el calor y deben calentarse a temperaturas muy altas para que se fundan. Los cerámicos son resistentes y duros, pero también muy frágiles. Normalmente, se preparan polvos finos de cerámico para moldearlos en diversas formas. Las nuevas técnicas de procesamiento obtienen cerámicos con la resistencia suficiente a la fractura como para usarlos en aplicaciones bajo cargas dinámicas, como por ejemplo, en impulsores de motores de turbina (fig. 1-6). Los cerámicos tienen una resistencia excepcional a la compresión. ¿Puede creer el lector que se puede soportar todo un camión de bomberos usando cuatro tazas de cerámica para café?

Vidrio. Es un material amorfo y se obtiene con frecuencia, pero no siempre, de la sílice fundida. El término *amorfo* se aplica a materiales que no tienen arreglo regular y periódico de sus átomos. Los materiales amorfos se describirán con detalle en el capítulo 3. La industria de fibras ópticas se basa en esas fibras, que son de vidrio de sílice de alta pureza. Los vidrios también se usan en las casas, los automóviles, pantallas de computadora y de televisión y cientos de otras aplicaciones. Los vidrios se pueden tratar térmicamente (templar) para hacerlos más resistentes. Al moldear los vidrios y nuclear (formar) pequeños cristales dentro de ellos con un proceso térmico especial, se producen materiales llamados vitroceramicas. El Zerodur™ es un ejemplo de material vitroceramico que se usa para fabricar los sustratos de los espejos de grandes telescopios (como, por ejemplo, los telescopios chandra y hubble). Los vidrios y las vitroceramicas suelen procesarse por fusión y colado.

Polímeros. Los polímeros son materiales orgánicos comunes. Se producen con un proceso llamado **Polimerización**. Entre los materiales poliméricos están el caucho (elastómeros) y muchas clases de adhesivos. Muchos polímeros tienen una resistividad eléctrica muy buena.

También pueden proporcionar un buen aislamiento térmico. Aunque tienen menos resistencia, tienen una **relación de resistencia a peso** muy buena. Normalmente no son adecuados para usos a altas temperaturas. Muchos polímeros tienen muy buena resistencia a las sustancias corrosivas. Tienen miles de aplicaciones: desde chalecos antibalas, discos compactos (CD), cuerdas y pantallas de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés), hasta ropa y tazas de café. Los polímeros **termoplásticos** cuyas largas cadenas moleculares no están unidas en forma rígida, tienen buena ductilidad y formabilidad; los polímeros termo fijos son más resistentes, pero más frágiles porque las cadenas moleculares están estrechamente enlazadas (Fig. 1-7). Los polímeros tienen muchos usos, que incluyen dispositivos electrónicos (Fig. 1-8). Los termoplásticos se fabrican conformándolo en estado fundido. Los termo fijos se cuecen en moldes. Los plásticos contienen aditivos.

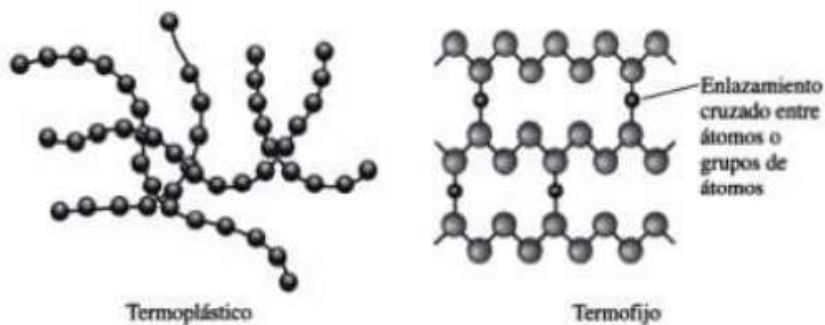


Fig. 1-7. La polimerización se produce cuando las moléculas pequeñas, representadas por las esferas, se combinan para producir moléculas más largas o polímeros. Las moléculas de polímero pueden tener una estructura formada por muchas cadenas, enredadas pero no unidas (termoplásticos) o pueden formar redes tridimensionales cuyas cadenas tienen enlaces cruzados (termofijos).

Semiconductores Los semiconductores base silicio, germanio y arseniuro de galio, como los que se usan en las computadoras y electrónica, son parte de una clase más amplia, la de los materiales electrónicos. La conductividad eléctrica de los materiales semiconductores es intermedia entre la de los aisladores cerámicos y los conductores metálicos. Los **semiconductores** han activado la Era de la información. En algunos de ellos, se puede controlar el valor de la conductividad lo que permite usarlos en dispositivos electrónicos como transistores, diodos y circuitos integrados (Fig. 1-9). En muchas aplicaciones, se necesitan mono cristales grandes de material semiconductor. Estos se cultivan de materiales fundidos. Con frecuencia, también se fabrican películas delgadas de materiales semiconductores mediante procesos especializados.

Materiales compuestos (o compositos). La idea principal del desarrollo de **materiales compuestos** es combinar las propiedades de materiales distintos. Se forman a partir de dos o más materiales y se obtienen propiedades que no posee un solo material. El concreto, la madera terciada y los plásticos reforzados con fibras de vidrio son ejemplos de materiales compuestos. Estos últimos se fabrican dispersando fibras de vidrio en un matriz de polímero. Las fibras de vidrio hacen más rígido al polímero sin aumentar mucho su densidad. Con materiales compuestos se pueden obtener materiales ligeros, resistentes, dúctiles, resistentes a altas temperaturas, o también se pueden fabricar herramientas de corte duras, pero resistentes al choque, que se romperían de no alear esos materiales. Los vehiculos aéreos y aeroespaciales dependen mucho de materiales compuestos como, por ejemplo, los polímeros reforzados con fibra de carbono (Fig. 1-10). Los equipos deportivos como bicicletas, palos de golf, raquetas de tenis y otros por el estilo también usan distintos tipos de materiales compuestos que son ligeros y rígidos. [9,10]

Clasificación de los materiales

Una clasificación de los materiales puede ser de gran utilidad. Se pueden clasificar con base en si su función más importante es mecánica (estructural), biológica, eléctrica, magnética u óptica. Esta clasificación de los materiales se ve en la figura 1-11. Se muestran algunos ejemplos de cada categoría, y estas pueden seguir subdividiéndose en subcategorías.

Aeroespaciales. En su vuelo histórico, los hermanos Wright usaron materiales ligeros, como madera y una aleación de aluminio (que por accidente reforzó el motor porque se contaminó con cobre del molde que usaron en su colado). [11] Hoy, el transbordador espacial de la NASA usa polvo de aluminio en los cohetes de respaldo. A esta categoría pertenecen algunas alteraciones de aluminio, plástico, sílice para las losetas y muchos otros materiales.



Universidad Autónoma de Baja California CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

Biomédicos. Nuestros huesos y dientes están formados, en parte, de una cerámica natural llamada hidroxiapatita. Varios órganos artificiales, reemplazos de hueso, injertos cardiovasculares, abrazaderas de ortodoncia y otras partes se fabrican usando distintos plásticos, aleaciones de titanio y aceros inoxidable no magnéticos. Los sistemas de imágenes ultrasónicas usan los cerámicos llamados PZT (titanato de plomo y zirconio). Los electroimanes que se usan en la obtención de imágenes de resonancia magnética usan superconductores metálicos de niobio con base de estaño.

Materiales electrónicos. Como se dijo anteriormente, los semiconductores, como los hechos de silicio, se usan para fabricar circuitos integrados para chips de computadora. Se usan titanio de bario (BaTiO_3), óxido de tantalio (Ta_2O_3) y muchos otros materiales dieléctricos para fabricar capacitores cerámicos y otros dispositivos. Los superconductores se usan en la fabricación de poderosos electroimanes. El cobre, aluminio y otros metales se usan como conductores en la transmisión de electricidad y en microelectrónica.

Tecnología energética y tecnología ambiental. En la industria nuclear se usan materiales como dióxido de uranio y plutonio como combustible. Para manejar los materiales nucleares y administrar los desechos radiactivos, se usan muchos otros materiales, como vidrios y aceros inoxidable. En las nuevas tecnologías que se relacionan con las baterías y las celdas de combustible se usan muchos materiales cerámicos, como la circonia (ZrO_2) y los polímeros. La tecnología de las baterías ha adquirido mucha importancia, por necesidad, en muchos dispositivos electrónicos, de energía duradera y portátil. También las celdas de combustible se usan en los automóviles eléctricos. [12] la industria del crudo y el petróleo usan ampliamente las zeolitas, alúmina y otros materiales como sustratos catalizadores. Los catalizadores son de Pt (platino), Pt/Rh (platino rodio) y muchos otros metales. Muchas tecnologías de membrana para purificar líquidos y gases usan cerámicos y los plásticos. La energía solar se genera usando materiales como silicio amorfo (a; Si; H).

Materiales magnéticos. Los discos duros de las computadoras y las cintas de videocasetas usan muchos materiales cerámicos, metálicos y polímeros que son magnéticos. Por ejemplo, sobre un sustrato de polímero se depositan partículas de una forma especial del óxido de hierro, llamada óxido de hierro gama ($\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) para fabricar las cintas de audio. Para fabricar las cintas de video, se usan partículas de hierro de gran pureza. Los discos duros de las computadoras se fabrican con aleaciones a base de cobalto, platino, tantalio y cromo (Co-Pt-Ta-Cr). Muchas ferritas magnéticas se usan para fabricar inductores y componentes para comunicaciones inalámbricas. Los aceros a base de hierro y silicio se usan para fabricar núcleos de transformadores.

Materiales fónicos u ópticos. Se usa mucho la sílice para fabricar fibras ópticas. En todo el mundo se han instalado casi diez millones de kilómetros de fibra óptica. [13]. Los materiales ópticos se utilizan en los detectores y láseres de semiconductor, que se usan en los sistemas de comunicaciones con fibras ópticas y en otras aplicaciones. Para hacer láseres se usan granates de alúmina (Al_2O_3) y de itrio y aluminio (YAG, *yttrium aluminium garnet*). Con la sílice amorfa se hacen celdas solares y módulos fotovoltaicos. Hay polímeros que se usan en la fabricación de pantallas de cristal líquido.

Materiales inteligentes. Un material inteligente puede sentir un estímulo interno, como un cambio de temperatura, la aplicación de un esfuerzo o cambio de humedad o de ambiente químico, y responder a él. En general, un sistema basado en material inteligente consiste en sensores y actuadores que detectan cambios e inician una acción. Como ejemplo de un material inteligente pasivo está el titanato de plomo y zirconio (PZT) y las aleaciones con memoria de forma. Cuando se procesa en forma adecuada, el PZT se puede someter a un esfuerzo y se genera un voltaje. Este efecto se emplea en la fabricación de dispositivos como generadores de chispas para parrillas de gas y sensores que pueden detectar objetos bajo el agua, como peces o submarinos. Entre otros ejemplos de materiales inteligentes, se encuentran los fluidos magnetorreológicos (o MR). [14] son pinturas magnéticas que responden a campos magnéticos. Se usan en los sistemas de suspensión de automóviles como el cadillac™ 2003. Hay otros ejemplos de materiales y sistemas inteligentes, como vidrios foto crómicos y los espejos de opacidad automática.



Materiales estructurales. Son los que se diseñan para soportar alguna clase de esfuerzo. Para construir edificios y puentes, se usan aceros, concreto y materiales compuestos. Los aceros, vidrios, plásticos y materiales compuestos también se usan mucho en la fabricación de automóviles. Con frecuencia, en esas aplicaciones se necesita tener combinaciones de resistencias, rigidez y tenacidad bajo distintas condiciones de temperatura y carga.

Clasificación de los materiales con base en su estructura

Como se dijo anteriormente, el termino *estructura* indica el arreglo atómico de un material; la estructura a escala microscópica se llama *microestructura*. Podemos considerar esos arreglos en distintas escalas; desde algunas unidades angstrom hasta un milímetro. En el capítulo 3 aprenderemos que algunos materiales pueden ser **crystalinos** (los átomos del material se ordenan en forma periódica) o pueden ser amorfos (donde los átomos del material no tienen orden en gran escala). Algunos materiales cristalinos pueden estar en forma de un cristal y se llaman **mono cristales**. Otros están formados por muchos cristales o granos y se llaman policristalinos. Las características de los cristales o granos (tamaño, forma, etc.) y la de las regiones entre ellos, llamadas límites de grano, influyen también sobre sus propiedades. En capítulos posteriores seguiremos describiendo estos conceptos. En la figura inicial de este capítulo se ve una micrografía de acero inoxidable que muestra los granos y los límites de grano.

Efectos ambientales y de otra índole

Las relaciones entre estructura y propiedades de los materiales fabricados en forma de componentes se ven influidas con frecuencia por el entorno al que esta expuesto el material durante su uso. Puede ser una exposición a temperaturas altas o bajas, esfuerzos cíclicos, impacto súbito, corrosión u oxidación. Se deben tener en cuenta estos efectos en el diseño, para asegurar que los componentes no fallen en forma inesperada.

Temperatura. Los cambios de temperatura modifican profundamente las propiedades de los materiales (Fig. 1-12). Los metales y las aleaciones que se hayan endurecido con ciertos tratamientos térmicos o técnicas de formado pueden perder repentinamente sus resistencia al calentarlos. Un recordatorio trágico de que esto puede suceder es el colapso de las torres del World Trade Center el 11 de septiembre de 2001.

Las temperaturas elevadas cambian la estructura de las cerámicas y funden o carbonizan los polímeros. En el otro extremo, las temperaturas muy bajas pueden hacer que un metal o un polímero fallen por fragilidad, aun cuando las cargas aplicadas sean bajas. Esta fragilización a bajas temperaturas fue uno de los factores que causo la ruptura del casco del *titanic*. [15, 16] De manera parecida, el accidente del *challenger* en 1986 se debió, en parte, a la fragilización de los sellos "O" de hule. [17] Son diversas las razones por las cuales algunos polímeros y algunos materiales metálicos se vuelven frágiles. Describiremos estos conceptos en capítulos posteriores.

El diseño de materiales con mejor resistencia a temperaturas extremas es esencial en muchas tecnologías, como se ve en el aumento de las temperaturas de funcionamiento de los aviones y los vehículos aeroespaciales (Fig. 1-13). A medida que se alcanzan mayores velocidades, hay mas calentamiento en la cubierta del vehículo, debido a la fricción con el aire, además, los motores funcionan con mayor eficiencia a mayores temperaturas. Entonces, para alcanzar mayor velocidad y mejor rendimiento de combustible, se han venido aumentando en forma gradual las temperaturas de la cubierta y de los motores con nuevos materiales, pero los ingenieros en materiales se enfrentan continuamente con nuevos desafíos. Los vehículos.

Corrosión. La mayoría de los metales y los polímeros reaccionan con oxígeno u otros gases, en especial a temperaturas elevadas. Los metales y las cerámicas se pueden desintegrar, y los polímeros y las cerámicas sin óxidos se pueden oxidar. El ingeniero afronta el reto de seleccionar materiales o recubrimientos que eviten esas reacciones y permitan el funcionamiento en ambientes extremos. En las aplicaciones espaciales se debe tener en cuenta el efecto de la presencia de radiaciones y de oxígeno atómico.

Fatiga. En muchas aplicaciones se deben diseñar los componentes de forma tal que la carga en el material no sea suficiente para causar su deformación permanente. Sin embargo, cuando un material se carga y descarga miles de veces, pueden comenzar a formarse pequeñas grietas y, cuando estas crezcan, dicho material falla. A esto se le llama **falla por fatiga**. Al diseñar componentes sujetos a



Universidad Autónoma de Baja California

CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

cargas dinámicas, se debe tener en cuenta la posibilidad de que haya fatiga.

Rapidez de deformación. Muchas personas saben que *silly putty®*, un plástico basado en la silicona, se puede estirar mucho si se tensa con lentitud (pequeña rapidez de deformación). Si se tensa con rapidez (mayor rapidez de deformación), se rompe. Muchos materiales metálicos pueden tener un comportamiento parecido. Así, en muchas aplicaciones, se deben tener en cuenta la rapidez de deformación y su valor.

En muchos casos, pueden estar interrelacionados los efectos de la fatiga, el esfuerzo y la corrosión, y otros efectos externos pueden afectar el funcionamiento del material.

3. PROCEDIMIENTO (DESCRIPCIÓN)

EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Ladrillo, plásticos, papel, metales, vidrio, madera, etc. <p style="margin-left: 40px;">NOTA. El estudiante tendrá que traer materiales para su clasificación.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Soplete, gas butano, martillo, imanes, multimetro.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

- Observe y clasifique los materiales de acuerdo a sus usos.
- Evalúe y clasifique en función a pruebas de resistencia el impacto, calor, apariencia y otras características (propuestas por los estudiantes) los materiales de punto 1.
- Diseñe un cuadro comparativo de los materiales estudiados y sus propiedades evaluadas
- Discuta los resultados y clasifique los materiales en grupos con base a los resultados del cuadro comparativo.

NOTA.-se recomienda que el estudiante desarrolle de manera puntual las actividades realizadas en la práctica.

4. RESULTADOS

Resultados

Análisis de resultados

- Describa las observaciones y hallazgos observados durante la práctica, procurando asociarlos con

Tabla 1.- cuadro comparativo (ejemplo).

Material	Resistencia a la flama	Resistencia al impacto	Transparente	Magnético
Cobre	Si	Si	X	N
Madera	X		X	
plástico	X		X	

los conocimientos adquiridos en la lectura previa.

- Clasifique y enumere las características de los materiales con base a las características medidas.

Cuestionario

1. diga por que es necesario clasificar los materiales y describa al menos una clasificación de estos.
2. mencione la clasificación de los materiales que esta en función del tipo de enlace atómico.
3. para el diseño y selección de un material ¿Qué factores se deben considerar (tetraedro de los materiales).
4. que es un material amorfo y un material cristalino.



5. EVIDENCIAS DE DESEMPEÑO

Elaboración de reporte de practica individualmente.

- Portada, (Con información de la materia, fecha nombre de la práctica, etc.)
- Objetivo.
- Material
- Desarrollo experimental.
- Resultados.
- Cuestionario
- Análisis y/o conclusiones.
- Bibliografía



“Practica No 2”





Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

PLAN DE ESTUDIOS	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
2009-2	xxxxxx	Ciencia de los Materiales

PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DURACIÓN
2	Ciencias de los materiales	Estructuras cristalinas	4 horas

1. OBJETIVO (COMPETENCIA)

- Definir que es una estructura cristalina.
- Que son las redes de bravais.
- Realizar un prototipo de un arreglo cristalino compacto y tridimensional.

2. INTRODUCCIÓN

Orden de corto alcance versus orden de largo alcance

En los distintos estados de la materia se pueden encontrar cuatro clases de arreglos atómicos o iónicos (fig. 3-1).

Sin orden. En los gases monoatómicos como el argón (Ar) o el plasma que se forma en un tubo de luz fluorescente, los átomos. O los iones no tienen arreglo ordenado. Estos materiales llenan todo el espacio disponible que tienen.

Orden de corto alcance (SRO). Un material tiene **orden de corto alcance (SRO, shortrange order)** si el arreglo especial de los átomos solo se extiende a su vecindad inmediata. Cada molécula de agua en el vapor tiene un orden de corto alcance debido a los enlaces covalentes entre los átomos de hidrogeno y los de oxigeno; esto es, cada átomo de oxigeno esta unido a dos átomos de hidrogeno formando 104.5° entre los enlaces. Sin embargo, las moléculas de agua en el vapor no tienen un arreglo especial con respecto a sus posiciones mutuas.

Una situación parecida se observa en los materiales llamados inorgánicos. En el capítulo 2 describimos la estructura tetraédrica de sílice, que satisface el requisito de que cuatro iones de oxigeno estén unidos a cada ion de silicio (Fig. 3-2). Sin embargo, como se describirá después, en un vidrio, las unidades tetraédricas se unen entre si en una forma aleatoria. Estos tetraedros pueden compartir vértices, aristas o caras. Así, mas allá de la unidad básica de un tetraedro de $(SiO_4)^{4-}$, no hay periodicidad en los arreglos de los átomos. En contraste, en el cuarzo o en otras formas de sílice cristalina, los tetraedros de $(SiO_4)^{4-}$ si se conectan y forman distintos arreglos periódicos.

Muchos polímeros muestran también arreglos atómicos de corto alcance que se parecen mucho a la estructura del vidrio silicato. El polietileno esta formado por cadenas de átomos de carbono con dos átomos de hidrogeno fijos a cada uno de los carbonos. Como el carbono tiene valencia cuatro y los átomos de carbono e hidrogeno están unidos con enlaces covalentes, de nuevo se produce una estructura tetraédrica (Fig. 3-3). Las unidades tetraédricas se pueden unir en forma aleatoria para producir las cadenas de polímero.

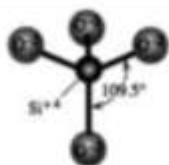


Figura 3-2
Tetraedro básico de Si-O en el vidrio de silicato.

Orden de largo alcance (LRO) la mayoría de los metales y aleaciones, los semiconductores, los cerámicos y algunos polímeros tienen una estructura cristalina donde los átomos o iones **muestran orden de largo alcance (LRO, long-range order)**; el arreglo atómico especial abarca escala de longitud muchos



mayores de 10 mm. Los átomos o iones en esos materiales se les llaman **materiales cristalinos**. Si un material cristalino está formado por un solo cristal grande, se le llama **material monocristalino o monocristal**. Los monocristales se usan en muchas aplicaciones electrónicas y ópticas, por ejemplo, los chips de computadora se fabrican con monocristales grandes de Si (hasta de 30 cm de diámetro) [Fig. 3-4(a)]. De igual manera, muchos de los dispositivos electroópticos útiles se fabrican a partir de cristales de niobato de litio, LiNbO_3 . También se pueden procesar los monocristales en forma de películas delgadas, que se usan en muchas aplicaciones electrónicas y de otra índole. Ciertos tipos de alabes de turbina también se fabrican con monocristales de superaleaciones a base de níquel.

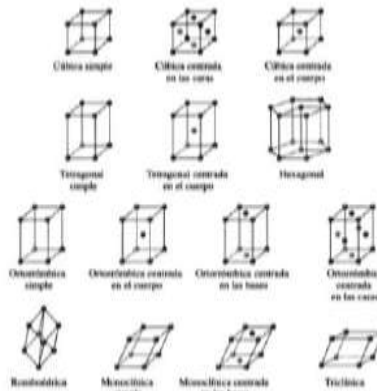
Un material policristalino. Está formado por muchos cristales pequeños con diversas orientaciones en el espacio. Estos cristales más pequeños se llaman **granos**. Un material policristalino se parece a un collage de varios monocristales diminutos. Los bordes entre cristales diminutos, donde los cristales están desalineados entre sí, se llaman **límites de grano**. La figura 3-4(b) muestra la microestructura de un material de acero inoxidable policristalino. Muchos materiales cristalinos que se manejan en aplicaciones técnicas son policristalinos (como los aceros que se usan en la construcción, las aleaciones de aluminio para aviones, etc.) en capítulos posteriores aprenderemos que muchas de las propiedades de los materiales policristalinos dependen de las características físicas y químicas de los granos y también de los límites de grano. Las propiedades de los materiales monocristalinos dependen de su composición química y de las direcciones específicas dentro del cristal (llamadas direcciones cristalográficas). El orden de largo alcance en los materiales cristalinos se puede detectar y medir con técnicas como la **difracción de rayos X** o la **difracción de electrones** (sección 3-9).

Cristales líquidos. Los cristales son materiales poliméricos que tienen un orden especial. En cierto estado los polímeros de cristal líquido se comportan como materiales amorfos (semejantes a líquidos). Sin embargo, cuando se les aplica un estímulo externo (como un campo eléctrico o un cambio de temperatura) algunas moléculas de polímero se alinean y forman pequeñas regiones que son cristalinas; de ahí el nombre de cristales líquidos. Estos materiales tienen muchas aplicaciones en la tecnología de pantallas de cristal líquido (LCD, por sus siglas en inglés) (Fig. 3-5). [1]

Redes, celdas unitarias, bases y estructuras cristalinas.

Una **red** es una colección de puntos, llamados **puntos de red**, ordenados en un patrón periódico de tal modo que los alrededores de cada punto de la red son idénticos. Una red puede ser uni, bi o tridimensional. En la ciencia e ingeniería de los materiales se usa el concepto de red para describir los arreglos de átomos o de iones. Un grupo de uno o más átomos ubicados en forma determinada entre sí, y asociados con cada punto de red, se llama **motivo, motif** o **base**. Se obtiene una **estructura cristalina** sumando la red y la base; es decir: estructura cristalina = red + base.

La **celda unitaria** es la subdivisión de una red que sigue conservando las características generales de toda la red. En la figura 3-11 se muestran celdas unitarias. Al aplicar celdas unitarias idénticas se puede construir toda la red. Hay siete arreglos únicos, llamados **sistemas cristalinos**, que llenan la asociación tridimensional. Son los sistemas cúbico, tetragonal, ortorrómbico, romboédrico (que también se llama trigonal), hexagonal, monoclinico y triclínico. Aunque existen estos siete sistemas cristalinos, hay un total de 14 arreglos distintos de puntos de red. Son arreglos



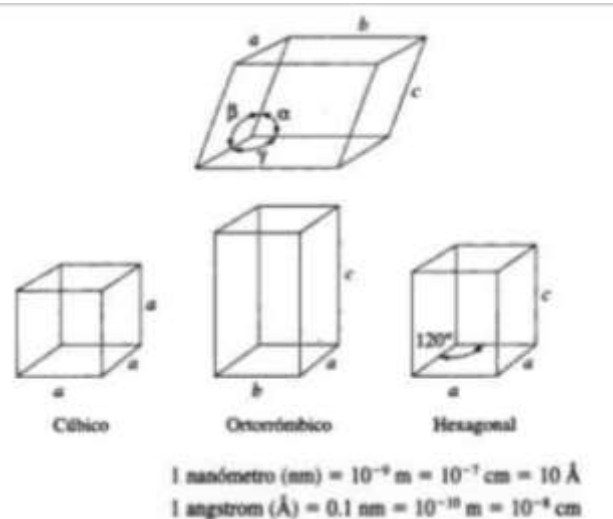


Universidad Autónoma de Baja California CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

Únicos que se llaman **redes de bravais**, en honor del francés auguste bravais (1811-1863), uno de los primeros cristalógrafos. Se identifican 14 tipos de redes de bravais agrupados en siete sistemas cristalinos (Fig. 3-11). Los puntos de red están en las esquinas de las celdas unitarias y, en algunos casos, en las caras o en el centro de la celda unitaria. Obsérvese que para el sistema cristalino cubico existen redes de bravais cubica simple (SC, simple cubic), cubica centrada en las caras (FCC, face-centered cubic) y cubica centrada en el cuerpo (BCC, body-centered cubic). En forma parecida, para el sistema cristalino tetragonal existen las redes tetragonales simples y tetragonales centradas en el cuerpo, se puede expresar cualquier otro arreglo de átomos con las 14 redes de bravais. Obsérvese que el concepto de red es matemático y que no se mencionan átomos, iones o moléculas. Solo cuando se toma una red de bravais y se comienza a definir la base—es decir uno o más átomos asociados con cada punto de red—, se puede describir una estructura cristalina. Por ejemplo, si se toma la red cubica centrada en las caras y se supone que cada punto de red tiene un átomo, se obtiene la estructura cristalina cubica centrada en las caras.

Obsérvese que aunque solo hay 14 redes de bravais, se pueden tener muchas bases mas, como la estructura cristalina se obtiene sumando red y base, se tienen cientos de estructuras cristalinas distintas. Muchos materiales distintos pueden tener la misma estructura cristalina. Por ejemplo, el cobre y el níquel tienen la estructura cubica centrada en las caras. En este libro, para simplificar, supondremos que cada punto de red tiene solamente un átomo — es decir, que la base es uno—, a menos que se mencione otra cosa. Esta hipótesis permite decir red y estructura cristalina en forma equivalente. Ahora describiremos algunas características de una red o celda unitaria.

Parámetros de red. Los **parámetros de red**, que describen el tamaño y la forma de la celda unitaria, incluyen las dimensiones de las aristas de la celda unitaria y los ángulos entre estas (Fig. 3-12). En un sistema cristalino cubico, solo se necesita la longitud de uno de los lados del cubo para describir en la forma completa la celda (se suponen ángulos de 90° , a menos que se diga otra cosa). Esta longitud es el parámetro de red a (que a veces se le llama a_0). La longitud se expresa en nanómetros (nm) o en unidades angstrom (Å), donde:

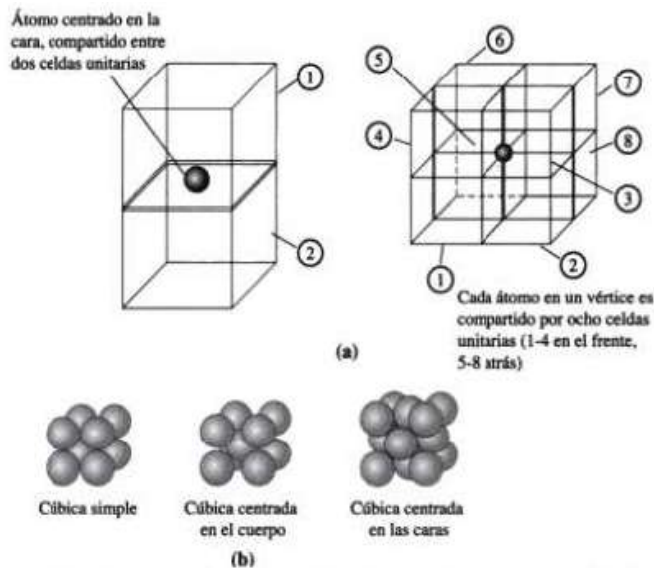


Se requieren varios parámetros de red para definir el tamaño y la forma de celdas unitarias complicadas. Para una celda unitaria ortorrómbica se deben especificar las dimensiones de sus tres lados: a_0, b_0, c_0 . Las celdas unitarias hexagonales requieren dos dimensiones, a_0 y c_0 , y el Angulo de 120° entre los ejes a_0 . La celda más complicada es la triclinica, que se describe con tres longitudes y tres ángulos.

Cantidad de átomos por celda unitaria. Cada una de las celdas unitarias se define con una cantidad específica de puntos de red. Por ejemplo, los vértices de las celdas se identifican con facilidad, así como las posiciones centradas en el cuerpo (centro de la celda) y centrada en las caras (centro de los seis lados de la celda) (Fig.3-11). Cuando se cuenta la cantidad de puntos de red que pertenece a cada celda, se debe tener en cuenta que esos puntos de red pueden estar compartidos por más de una celda unitaria. Un punto de red en un vértice de una celda unitaria esta compartido con siete celdas unitarias adyacentes —y, en consecuencia, compartido por un total de ocho celdas—; solo un octavo de cada vértice pertenece a determinada celda unitaria. Así, la cantidad de puntos de red de todas las posiciones en vértices de una celda unitaria es:



$$\left(\frac{1 \text{ puntodered}}{8 \text{ vertice}}\right) \left(8 \frac{\text{vertices}}{\text{celda}}\right) = 1 \frac{\text{puntodered}}{\text{celdaunitaria}}$$



Obsérvese que desde el punto de vista matemático no se puede dividir un punto. Esto significa que el átomo que está en un punto de red se puede considerar como compartido entre celdas unitarias. Los vértices equivalen a $1/8$ de un punto. Las caras a $1/2$ y las posiciones centradas en el cuerpo contribuyen con un punto completo.

La cantidad de átomos por celda unitaria es igual al producto de la cantidad de átomos por punto de red por la cantidad de puntos de red por celda unitaria. En la mayoría de los metales, hay un átomo ubicado en cada punto de red. Las estructuras de las celdas unitarias cúbica simple (SC), cúbica centrada en el cuerpo (BCC) y cúbica centrada en las caras (FCC), que tienen un átomo ubicado en cada punto de red, se ven en la figura 3-13(b). En estructuras más complicadas, en especial en materiales poliméricos, cerámicos y biológicos, se pueden asociar varios átomos con cada punto de red – es decir, la base es mayor que uno—y se forman celdas unitarias muy complicadas. En el ejemplo 3-1 se ilustra como determinar la cantidad de puntos de red en sistemas cristalinos cúbicos.

Radio atómico versus parámetro de red. En la celda unitaria, las direcciones a lo largo de las cuales los átomos están en contacto continuo son direcciones de empaquetamiento compacto o direcciones compactas. En las estructuras simples, en especial en las que solo hay un átomo por punto de red, se utilizan esas direcciones para calcular la relación entre el tamaño aparente del átomo y el tamaño de la celda unitaria. Al determinar geoméricamente la longitud de la dirección con base en los parámetros de red, y a continuación incluyendo el número de radios atómicos a lo largo de esta dirección, se puede determinar la relación que se desee. En el ejemplo 3-2 se demuestra cómo se determinan las relaciones entre los parámetros de red y el radio atómico.

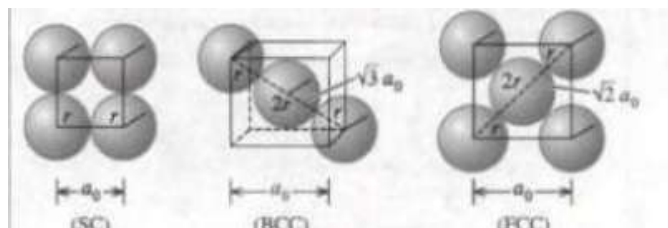


Figura 3-14. Relaciones entre el radio atómico y el parámetro de red en sistemas cúbicos.



Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

Numero de coordinación. El número de coordinación es la cantidad de átomos que tocan a determinado átomo, o sea la cantidad de vecinos más cercanos a ese átomo en particular. Es una medida de que tan compacto y eficiente es el empaquetamiento de los átomos.

Para los sólidos iónicos, el núm. de coordinación de los cationes se define como la cantidad de aniones más cercanos. El número de coordinación de los aniones es la cantidad de los cationes más cercanos. En la sección

3-7 se describirán las estructuras cristalinas solidos iónicos y otros materiales.

En las estructuras cúbicas que solo contienen un átomo por un punto de red, los átomos tienen un número de coordinación que se relaciona con la estructura de la red. Al inspeccionar las celdas unitarias de la figura 3-15, se observa que cada átomo en la estructura SC tienen un número de coordinación seis, mientras que en la estructura BCC cada átomo tiene ocho vecinos más próximos. En la sección 3-5, se mostrara que cada átomo en la estructura FCC tiene un número de coordinación de 12, que es el máximo.

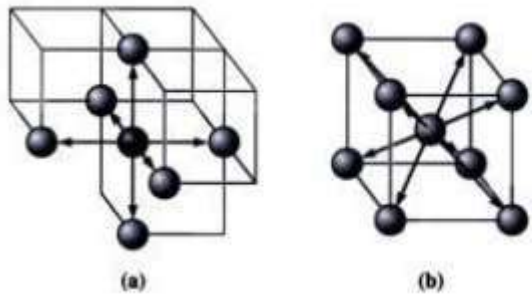


Figura 3-15.
Ilustración de los números de coordinación en celdas unitarias (a) SC y (b) BCC. En la SC seis átomos tocan a cada átomo, mientras que en la celda unitaria BCC ocho átomos tocan a cada átomo.

Factor de empaquetamiento. El factor de empaquetamiento es la fricción de espacio ocupada por átomos, suponiendo que son esferas duras que tocan a su vecino más cercano. La ecuación general del factor de empaquetamiento es:

$$\text{factor de empaquetamiento} = \frac{(\text{cantidad de atomos/celda})(\text{volumen de atomos})}{\text{volumen de celda unitaria}} \quad (3-4)$$

En el ejemplo 3-3 se ilustra como calcular el factor de empaquetamiento para una celda FCC.

El arreglo FCC representa una **estructura con empaquetamiento compacto** (CP, por sus siglas en inglés): es decir, la fracción de empaquetamiento es la máxima posible con átomos de un tamaño. Las estructuras SC y BCC son relativamente abiertas. En la siguiente sección veremos que es posible tener una estructura hexagonal con la misma eficiencia de empaquetamiento que la FCC. Esta última se llama **estructura hexagonal compacta** (HCP, por sus siglas en inglés). Los metales con enlaces metálicos únicamente se empaquetan con la máxima eficiencia posible. Los que tienen enlaces mezclados, como el hierro, pueden tener celdas unitarias con un factor de empaquetamiento menor que el máximo. Ninguno de los metales o aleaciones comunes diseñados tienen la estructura SC, pero esta estructura si se encuentra en los materiales cerámicos.

Densidad. La **densidad** teórica de un material se puede calcular con las propiedades de su estructura cristalina. La formula general es :

$$\text{Densidad } \rho = \frac{(\text{cantidad de atomos/celda})(\text{masa atomica})}{(\text{volumen de la celda unitaria})(\text{numero de avogadro})} \quad (3-5)$$

Si un material es iónico y consiste en distintas clases de átomos o iones, habrá que modificar esta fórmula para reflejar esas diferencias. En el ejemplo 3-4 se ilustra como determinar la densidad del hierro BCC.



TRANSFORMACIONES ALOTRÓPICAS O POLIMORFAS

Los materiales que pueden tener más de una estructura cristalina se llaman alotrópicos, polimorfos o polimórficos. El término **alotropía** suele reservarse para este compartimiento en los elementos puros, mientras que **polimorfismo** se usa para los compuestos. El lector habrá notado que en la tabla 3-2 hay algunos metales, como el hierro y el titanio, que tienen más de una estructura cristalina. A bajas temperaturas, el hierro tiene la estructura BCC, pero a mayores temperaturas se transforma en una estructura FCC. Estas transformaciones dan como resultado cambios en las propiedades de los materiales y son la base del tratamiento térmico de los aceros y de muchas otras aleaciones.

Muchos materiales cerámicos, como la sílice (SiO_2) y la zirconia (anhídrido de zirconia, dióxido de zirconio u óxido de zirconio, ZrO_2), también son polimórficos. Durante su calentamiento o enfriamiento, la transformación puede acompañarse de un cambio de volumen; si no se controla en forma adecuada, este cambio de volumen hace que el material cerámico, que es frágil, se agriete y fracture. Por ejemplo, la zirconia (ZrO_2), la forma estable a temperatura ambiente es $\sim 25^\circ C$ es la monoclinica. Al aumentar la temperatura, hay estructuras cristalinas más simétricas que se vuelven estables. A $1170^\circ C$, la zirconia monoclinica se transforma a una estructura tetragonal. La forma tetragonal es estable hasta $2370^\circ C$, punto en el cual se transforma de fusión de $2680^\circ C$. [7]. La zirconia también puede tener una forma ortorrómbica, cuando se aplican grandes presiones.

Los componentes cerámicos hechos de zirconia pura suelen fracturarse al bajar su temperatura, cuando la zirconia se transforma de tetragonal a monoclinica, debido a la expansión volumétrica (el cambio de fase cubica a tetragonal no causa mucho cambio en volumen). El resultado es que no se usan polimorfos monoclinicos o tetragonales puros de zirconia. En su lugar, los científicos y los ingenieros en materiales han encontrado que agregando dopantes como itria (Y_2O_3) es posible estabilizar la fase cubica de la zirconia, aun a temperatura ambiente. La zirconia estabilizada con itria (YSZ) contiene hasta el 8% mol de Y_2O_3 . Se obtiene un efecto estabilizador parecido usando CaO, y a la resultante se le llama zirconia estabilizada con calcia (CSZ). [8] las formulaciones con zirconia total o parcialmente estabilizada tienen muchas aplicaciones, como recubrimientos de barrera térmica para alabes de turbina y electrolitos para sensores de oxígeno, así como celdas de combustible de óxido sólido. Casi todo automóvil que se fabrica hoy usa un sensor de oxígeno fabricado con formulaciones de zirconia estabilizada. La zirconia conduce la electricidad por el movimiento de los iones de oxígeno. En un sensor de oxígeno se produce una señal de voltaje a través de la zirconia usando presiones parciales de oxígeno: una presión parcial patrón de oxígeno y una presión parcial variable de oxígeno en la mezcla aire-combustible. El voltaje producido indica pobreza o la riqueza de la mezcla aire-combustible. Esto permite usar el combustible de la manera más eficiente. El sensor de zirconia es solo un ejemplo de la forma en que los científicos e ingenieros en materiales desarrollan materiales y dispositivos para beneficio de la sociedad y al mismo tiempo optimizan el uso de los recursos naturales y limitan la contaminación ambiental. También es muy posible que algunos de los automóviles que están por venir tengan sistemas de celda de combustible a base de zirconia.

La transformación de zirconia tetragonal a monoclinica se aprovecha para aumentar la tenacidad de los materiales cerámicos. Tenacidad significa la capacidad que tiene un material de absorber una cantidad considerable de energía antes de romperse. En esos materiales, la dilatación relacionada con el cambio de zirconia tetragonal a monoclinica ayuda a generar un esfuerzo de compresión enfrente de la punta de una grieta. Esto ayuda a aumentar la tenacidad de un material cerámico que contenga partículas o granos de zirconia de tamaño adecuado. El polimorfismo también tiene importancia central en varias aplicaciones. Las propiedades de algunos materiales pueden depender mucho del tipo de polimorfo. Por ejemplo, las propiedades dieléctricas de materiales como PZT (zirconio-titanato de plomo) y $BaTiO_3$ (titanato de bario) dependen de la forma polimórfica de que se trate. En el ejemplo 3-5 se observa como calcular los cambios de volumen en los polimorfos de zirconia. El ejemplo 3-6 describe el grado de los cambios de volumen que se pueden presentar durante las transformaciones.

*Texto sustraído del libro de ciencia de los materiales
Donald R Askeland Capítulo 1 4ª Edición, p.p. 76 -86*



Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

3. PROCEDIMIENTO (DESCRIPCIÓN)

EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Esferas de unicel ➤ Colores ➤ Palillos ➤ Hilo transparente ➤ Pegamento para unicel. ➤ Creatividad 	

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Parte 1 (2 horas clase y 2 horas extra clase)

1. Elaborar con las esferas de unicel 4 modelos de estructuras cristalinas del modelo compacto y 4 modelos de estructuras cristalinas del modelo tridimensional.

Parte 2 (2 horas clase y 2 horas extra clase)

1. Calcular el núm. de átomos por celda unitaria
2. Calcular el número de coordinación atómica.
3. Determinar la relación del radio atómico y el parámetro de red.
4. Determinación del factor de empaquetamiento atómico FEA.

Nota: se recomienda que el estudiante desarrolle de manera puntual las actividades realizadas en la práctica.

4. RESULTADOS

Resultados

- 8 modelos de estructuras (entregar en equipos de 3 personas)

Tabla 1.- cuadro comparativo (ejemplo).

Estructura	Numero de átomos	Numero de coordinación	r/a	FEA	Densidad	Ejemplos de materiales.
CS						
BCC						
FCC						
HCP						

Cuestionario

1. Defina que es un punto de red.
2. Defina que es un parámetro de red.
3. Defina que es una estructura cristalina.
4. Defina que es una celda unitaria.
5. Defina que es el factor de empaquetamiento atómico.
6. Que son las redes de Bravais, descríbalas y bosquéjelas.



5. EVIDENCIAS DE DESEMPEÑO

Elaboración de reporte de practica individualmente.

- Portada, (Con información de la materia, fecha nombre de la práctica, etc.)
- Objetivo.
- Material
- Desarrollo experimental.
- Resultados.
- Cuestionario
- Análisis y/o conclusiones.
- Bibliografía



“Practica No 3”





Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

PLAN DE ESTUDIOS	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA		
2009-2	xxxx	Ciencia de los Materiales		
PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	NOMBRE DE LA PRÁCTICA		DURACIÓN
3	Ciencias de los materiales	Índices de Miller para puntos, planos y direcciones		6 horas

1. OBJETIVO (COMPETENCIA)

- Conocer y utilizar la nomenclatura de los índices de Miller para puntos, direcciones y planos.

2. INTRODUCCIÓN

Puntos, direcciones y planos en la celda unitaria

Coordenadas de puntos. Se pueden localizar ciertos puntos en la red o celda unitaria, como por ejemplo las posiciones de los átomos, definiendo el sistema de coordenadas de mano derecha de la figura 3-18. La distancia se mide en términos de la cantidad de parámetros de red que hay que recorrer en cada una de las direcciones x , y , z para ir del origen al punto en cuestión. Las coordenadas se escriben como las tres distancias, y los números se separan con comas.

Direcciones en celda unitaria. Hay ciertas direcciones en la celda unitaria que tienen interés especial. Los **índices de Miller** de las direcciones son la notación abreviada para describir esas direcciones. El procedimiento para determinar los índices de Miller de las direcciones es el siguiente:

1. Usar un sistema coordenado de mano derecha y determinar las coordenadas de dos puntos que estén en la dirección.
2. Restar las coordenadas del punto "cola" de las coordenadas de las del punto "cabeza" para obtener la cantidad de parámetros de red recorridos en la dirección de cada eje del sistema de coordenadas.
3. eliminar las fracciones y/o reducir los resultados obtenidos de la resta, hasta los enteros mínimos.
4. Encerrar los números entre corchetes []. Si se produce un signo negativo, representarlo con un abarra o raya sobre el numero.

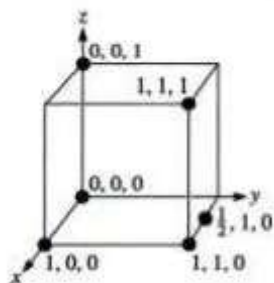


Figura 3-18.

Coordenadas de puntos seleccionados en la celda unitaria. El número indica la distancia al origen, en términos de parámetros de red.

Se deben resaltar algunos puntos acerca del uso de índices de Miller para direcciones:

1. Como las direcciones son vectores, una dirección y su negativa no son idénticas; $[100]$ no es igual que $[\bar{1}00]$; representan la misma línea, pero en direcciones opuestas.
2. Una dirección y su múltiplo son *idénticos*; $[100]$ es igual que $[200]$. Simplemente olvidamos reducir hasta los enteros mínimos.
3. Ciertos grupos de direcciones son *equivalentes*; tienen sus índices particulares por la forma en que se definen las coordenadas. Por ejemplo, en un sistema cubico, una dirección $[100]$ es una dirección; $[010]$ si redefinimos el sistema de coordenadas como se observa en la figura 3-20. Se pueden indicar los grupos de direcciones equivalentes como direcciones de una **forma (o familia)**.

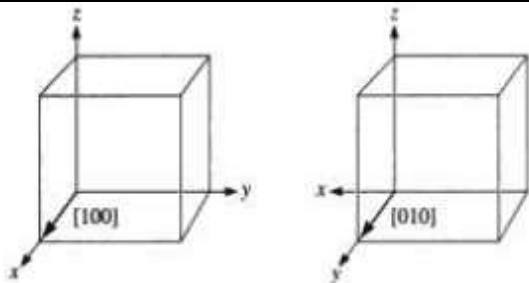


Figura 3-20. Equivalencia de las direcciones cristalográficas de una forma, en sistemas cúbicos.

Tabla 3-3. Direcciones de la familia (110) en sistemas cúbicos.	
(1	$\left\{ \begin{array}{l} [110] [\bar{1}\bar{1}0] \\ [101] [\bar{1}0\bar{1}] \\ [011] [0\bar{1}\bar{1}] \\ [1\bar{1}0] [\bar{1}10] \\ [10\bar{1}] [\bar{1}01] \\ [01\bar{1}] [0\bar{1}1] \end{array} \right.$

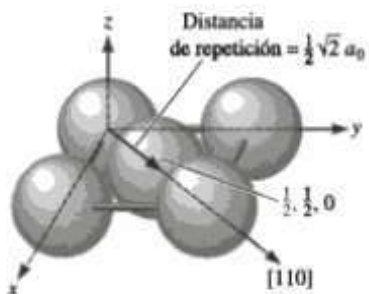
Se usan los paréntesis especiales $\langle \rangle$ para indicar este conjunto de direcciones. Todas las direcciones de la forma $\langle 100 \rangle$ se observan en la tabla 3-3. Cabe esperar que un material tenga las mismas propiedades en cada una de estas 12 direcciones de la forma $\langle 110 \rangle$.

Importancia de las direcciones cristalográficas. Las direcciones cristalográficas se usan para indicar determinada orientación de un solo cristal o de un material policristalino. En muchas aplicaciones, es útil describirlas. Por ejemplo, los metales se deforman con más facilidad en direcciones a lo largo de las cuales los átomos están en contacto mas estrecho. Otro ejemplo del mundo real es la dependencia de las propiedades magnéticas del hierro y de otros materiales magnéticos respecto a las direcciones cristalográficas. Es mucho más fácil magnetizar al hierro en la dirección [100] que en las direcciones [111] o [110]. Es la razón por la que los granos en los aceros Fe-Si que se usan en aplicaciones magnéticas (por ejemplo, en núcleo de transformadores) estén orientados en las direcciones [100] o en sus equivalentes. En el caso de los materiales magnéticos que se usan para medios de grabación, se debe estar seguro de que los granos estén alineados en determinada dirección cristalográfica, de tal modo que la información almacenada no se borre con facilidad. Así mismo, los cristales con los que se fabrican las aspas o alabes de turbinas estén alineados en ciertas direcciones para aprovechar sus mejores propiedades mecánicas.

Distancia de repetición, densidad lineal y fracción de empaquetamiento. Otra forma de caracterizar las direcciones es con la **distancia de repetición**: es la distancia entre puntos de red a lo largo de la dirección. Por ejemplo, se podrá examinar la dirección [110] en una celda unitaria FCC (figura 3-21); si se comienza en el lugar de 0, 0,0, el siguiente punto de red esta en el centro de una cara; es un sitio $\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0$. La distancia entre puntos de red, en consecuencia, es la mitad de la diagonal de la cara, $\frac{1}{2}\sqrt{2a_0}$. En el cobre, cuyo parámetro de red es 0.36151nm, la distancia de repetición es 0.2556nm.

Figura 3-21.

Determinación de la distancia de repetición, densidad y fracción de empaquetamiento para una dirección [110] en el cobre FCC.



La **densidad lineal** es la cantidad de puntos de red por unidad de longitud a lo largo de la dirección. En el cobre hay dos distancias de repetición a lo largo de la dirección [110] en cada celda unitaria; como esa distancia es $\sqrt{2}a_0 = 0.51125 \text{ nm}$, entonces :

$$\text{Densidad lineal} = \frac{\text{Distancia de}}{0.51125 \text{ nm}} = 3.91 \text{ puntos de red/nm}$$

Observe que la densidad lineal también es el recíproco de la distancia de repetición.

Por ultimo, se puede calcular la fracción de empaquetamiento de determinada dirección, que es la fracción realmente ocupada por átomos. Para el cobre, en el que un átomo esta en cada punto de red, esta fracción es igual al producto de la densidad lineal por el doble del radio atómico. Para la dirección [110] en el cobre FCC, el radio atómico es $r = \sqrt{2}a_0/4 = 0.12781 \text{ nm}$. En consecuencia, la fracción de empaquetamiento es :

$$\begin{aligned} \text{Fracción de empaquetamiento} &= (\text{densidad lineal}) (2r) \\ &= (3.91) (2) (0.12781) \\ &= (1.0) \end{aligned}$$

Los átomos se tocan a lo largo de la dirección [110], porque es una dirección compacta en los metales FCC.

Planos en la celda unitaria. Ciertos planos de átomos en un cristal también tienen importancia especial. Por ejemplo, los metales se deforman a lo largo de planos de átomos que estén empaquetados de la manera más compacta. La energía superficial de las distintas caras de un cristal depende de los planos cristalográficos particulares. Esto tiene importancia en el crecimiento de los cristales. En el crecimiento de los ciertos materiales electrónicos en forma de películas delgadas (como Si o GaAs), se necesita estar seguro de que el sustrato este orientado de tal manera que la película delgada pueda crecer en determinado plano cristalográfico. Para identificar estos planos de importancia, se usan índices de Miller, como notación abreviada, como se observa en el siguiente procedimiento.

1. Identificar los puntos en donde el plano cruza los ejes x, y, z en función de los parámetros de red. Si el plano pasa por el origen, ¡hay que mover el origen del sistema de coordenadas!
2. Sacar los recíprocos de esas intersecciones.
3. Simplificar fracciones, pero no reducir a enteros mínimos.
4. Encerrar entre paréntesis () los números que resulten. De nuevo, los números negativos se deben escribir con una raya sobre ellos.

En el siguiente ejemplo se demuestra cómo obtener los índices de Miller de planos.

1. Los planos y sus negativos son idénticos (este no fue el caso con las direcciones). En consecuencia $(020) = (0 \bar{2} 0)$.
2. Los planos y sus múltiplos no son idénticos (de nuevo, es lo contrario de lo que se vio en las direcciones). Esto se puede demostrar definiendo las densidades planares y las fracciones de empaquetamiento planares. La **densidad planar** es la cantidad de átomos cuyos centros están en el plano por unidad de área; la fracción de empaquetamiento es la fracción del área de ese plano que realmente esta cubierta por esos átomos. En el ejemplo 3-9 se muestra como se pueden



Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

(2 horas clase y 2 horas extraclase) NOTA.- Se recomienda que dibuje tres direcciones en cada celda unitaria.

calcular estas cantidades.

3. En cada celda unitaria, los **planos de una forma (o familia)** representan grupos de planos equivalentes que tienen sus índices particulares debido a la orientación de las coordenadas. Se representan estos grupos de planos similares con la notación de llaves { }. Los planos de la forma {110} en los sistemas cúbicos se muestran en la tabla 3-4.
4. En los sistemas cúbicos, una dirección que tiene los mismos índices que un plano es perpendicular a ese plano.

Tabla 3-4. Planos de la familia {110} en los sistemas cúbicos.

$$\{1 \left\{ \begin{array}{l} (110) \\ (101) \\ (011) \\ (1\bar{1}0) \\ (10\bar{1}) \\ (01\bar{1}) \end{array} \right.$$

Nota: los negativos de los planos no son planos únicos.

Construcción de direcciones y planos. Para construir una dirección o un plano en la celda unitaria, tan solo se procede en reversa. En el ejemplo 3-10 se muestra como hacerlo.

Texto sustraído del Libro de ciencia de los materiales Donald R Askeland Capítulo 1 4ª Edición, p.p 87-96

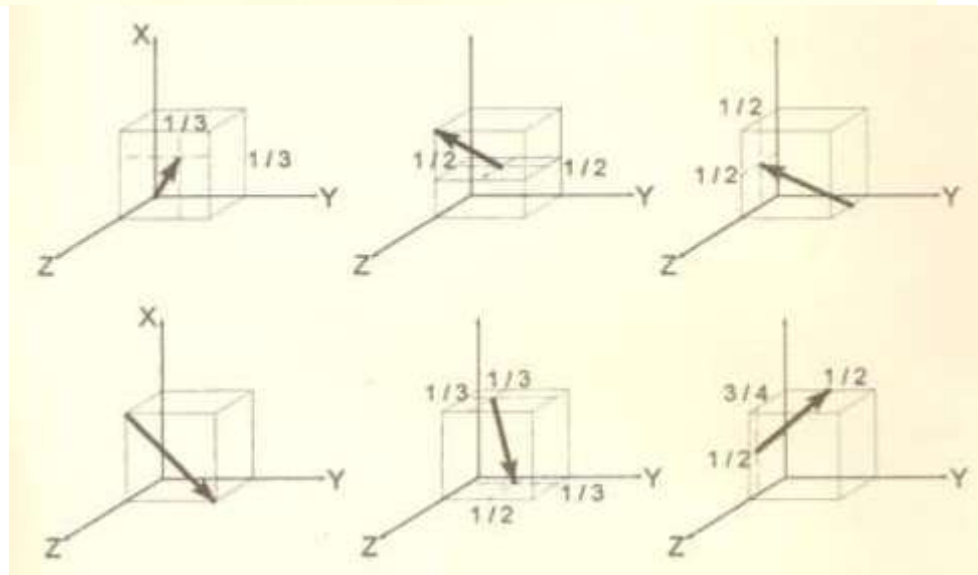
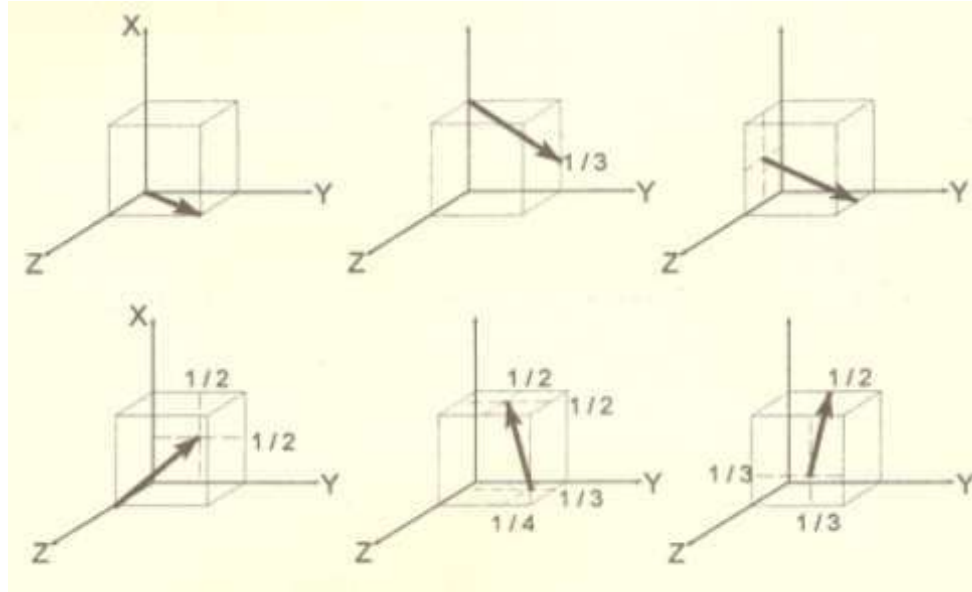
3. PROCEDIMIENTO (DESCRIPCIÓN)

EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Papel milimétrico o cuadrático. ➤ Lápiz y colores ➤ Regla 	

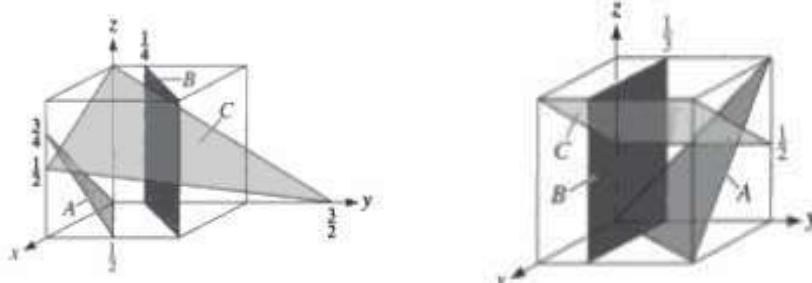


Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

1. Dibujar una celda unitaria cubica y las direcciones que se indican. Calcule la longitud de cada una de ella. Recomendación haga solo tres direcciones por celda unitaria.
[001] [011] [212] [100] [011] [431] [021] [110] [111] [010] [352]
2. Calcule los índices de Miller y las longitudes de las direcciones que se ilustran en las celdas siguientes



3. Dibuje una celda unitaria cubica y calcule la longitud de los valores negativos del ejercicio 1.
4. Calcule los índices de Miller para los siguientes planos.



5. Dibujar los planos de los siguientes índices de Miller (100) (010) (110) (220) (221).

4. RESULTADOS

Resultados

Celdas unitarias con las direcciones y planos requeridos en el punto anterior.

Cuestionario

1. Describa los pasos para obtener los índices de Miller para un punto.
2. Describa los pasos para obtener los índices para Miller para una dirección.
3. Describa los pasos para obtener los índices de Miller para un plano.
4. Cuál es la nomenclatura para los índices de Miller para una "Familia" de puntos, direcciones y planos.
5. Escriba las direcciones que corresponden a la familia de direcciones $\langle 100 \rangle$ $\langle 111 \rangle$

5. EVIDENCIAS DE DESEMPEÑO

Elaboración de reporte de practica individualmente.

- Portada, (Con información de la materia, fecha nombre de la práctica, etc.)
- Objetivo.
- Material
- Desarrollo experimental.
- Resultados.
- Cuestionario
- Análisis y/ó conclusiones.
- Bibliografía



“Practica No 4”





Universidad Autónoma de Baja California
CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

PLAN DE ESTUDIOS	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
2009-2	xxxx	Ciencia de los Materiales

PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DURACIÓN
4	Ciencias de los materiales	Ensayo de Tensión	2 horas

1. OBJETIVO (COMPETENCIA)

- Presenciar un ensayo de tensión.
 - Comprender la importancia del ensayo y las propiedades que se puede obtener de éste.
- Elaborar una curva de esfuerzo - deformación ingenieril y real.
- Determinar, identificar e interpretar los resultados obtenidos de la prueba de tensión.

2. INTRODUCCIÓN

EL ENSAYO DE TENSION: uso del diagrama esfuerzo-deformación unitaria.

El ensayo de tensión esta muy difundido, por que las propiedades que se obtienen pueden aplicarse en el diseño de distintos componentes. Este ensayo mide la resistencia de un material a una fuerza estática o aplicada lentamente. Las velocidades de deformación en un ensayo de tensión suelen ser muy pequeñas ($\dot{\epsilon} = 10^{-4}$ a 10^{-2} s^{-1}). En la figura 6-7 se muestra un arreglo del ensayo; un espécimen o "probeta" estándar (0.505 pulg de diámetro y longitud calibrada de 2 pulg) se coloca en la maquina de prueba y se aplica una fuerza F, llamada carga. En la figura 6-8 se muestra un a maquina universal de prueba, en la que se pueden ejecutar tensión y compresión. Para medir la cantidad que se estira el espécimen entre las marcas de calibración cuando se aplica la carga, se usa un extensómetro o galga extensiométrica. Así , lo que se mide es el cambio de longitud del espécimen, Δl , en una longitud determinada, l_0 en s

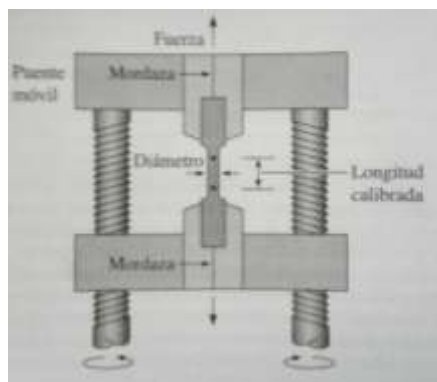


Figura 6-7 se aplica una fuerza unidireccional a un espécimen en el ensayo de tensión, mediante el puente o cabezal móvil. El movimiento del puente puede generarse con tornillo sinfín o con un

Ensayo de tensión se puede obtener información acerca de la resistencia, el modulo de Young y la ductilidad de un material. Comúnmente, el ensayo de tensión se hace con metales, aleaciones y plásticos. Se pueden hacer ensayos de tensión a cerámicos; sin embargo, no son muy frecuentes, por que la muestra se puede fracturar mientras se esta alineando. La siguiente descripción se aplica principalmente al ensayo de tensión de metales y aleaciones. También se describirá en forma breve el comportamiento de polímeros en esfuerzo-deformación.



Universidad Autónoma de Baja California

CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

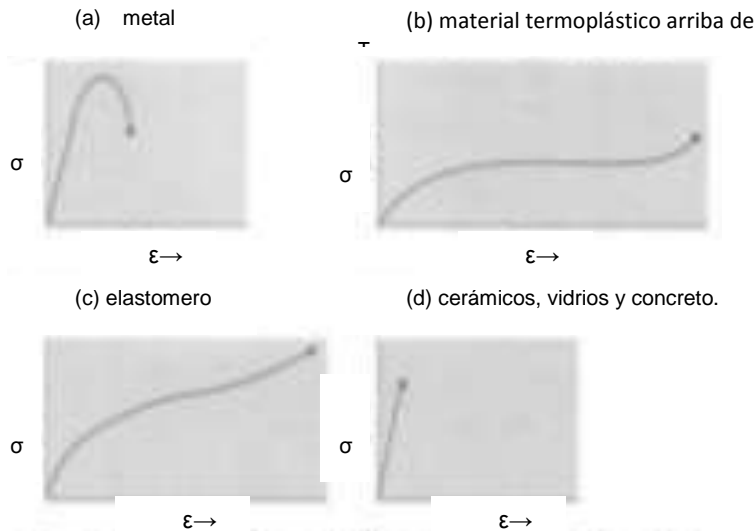


Figura 6-9 curvas de esfuerzo-deformación a la tensión, para distintos materiales. Obsérvese que son cualitativas.

La figura 6-9 muestra en forma cualitativa las curvas de esfuerzo-deformación unitario normales para (a) un metal, (b) un material termoplástico, (c) un elastómero y (d) cerámicos (o vidrios) bajo velocidades de deformación relativamente pequeñas. En esta figura, las escalas son cualitativas y distintas para cada material. En la práctica, las magnitudes reales de los esfuerzos y las deformaciones pueden ser muy distintas entre sí. Se supone que el material plástico está arriba de su **temperatura de transmisión vítrea** (T_g), mientras que los materiales metálicos se asume que está a temperatura ambiente. Los materiales metálicos y termoplásticos muestran una región inicial elástica, seguida por una región plástica no lineal. También se incluye una curva aparte para elastómeros (es decir, hules o siliconas), ya que el comportamiento de esos materiales es distinto del de otros materiales poliméricos. Para los elastómeros, una gran parte de la deformación es elástica y no lineal. Por otra parte, los cerámicos y los vidrios solo muestran una región elástica lineal y casi no muestran deformación plástica a temperatura ambiente.

Cuando se hace un ensayo de tensión, entre los datos que se anotan están los de carga o fuerza en función del cambio de longitud (Δl). Ese cambio de longitud o elongación, se suele medir con una galga extensiométrica.

Esfuerzo y deformación ingenieriles. Los resultados de un solo ensayo se aplican a todos los tamaños y secciones transversales de especímenes de determinado material, siempre que se convierta la fuerza en esfuerzo, y la distancia entre marcas de calibración se conviertan a deformación. El **esfuerzo ingenieril** y la **deformación ingenieril** se define como las siguientes ecuaciones.

$$\text{Esfuerzo ingenieril} = \sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$\text{Deformación ingenieril} = \epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$$

En donde A_0 es el área de la sección transversal *original* del espécimen antes de que comience el ensayo, l_0 es la distancia *original* entre las marcas de la calibración y Δl es el cambio de longitud y elongación después de ver aplicado la fuerza F .

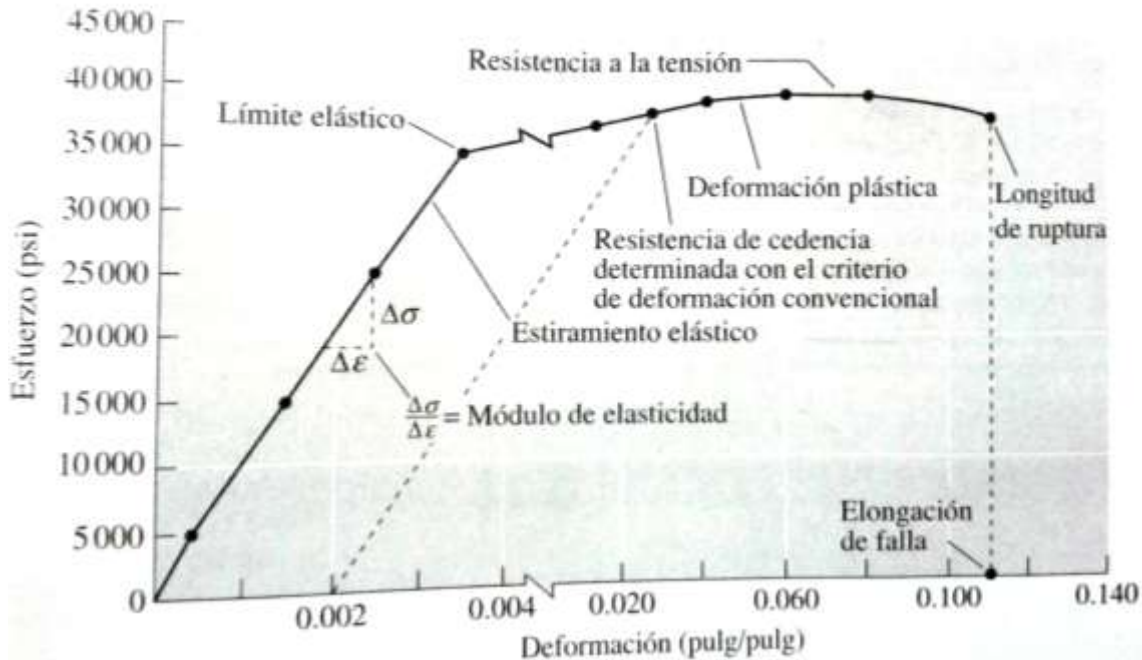


Figura 6-10. Curva esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril para una aleación de aluminio.

Unidades. Para presentar los resultados de un ensayo de tensión se usan muchas unidades diferentes. Las unidades más frecuentes para el esfuerzo son mega pascales (MPa) y libras por pulgada cuadrada (psi, por sus siglas en inglés). Entre las unidades de deformación están pulgadas/pulgadas, centímetro/centímetro y metro/metro. Los factores de conversión del esfuerzo se resumen en la tabla 6-2. Como la deformación es adimensional, no se requieren factores de conversión para cambiar de sistemas de unidades.

Tabla 6-2 unidades y factores de conversión.

1 libra (lb)=4.448 newton (N)
1 psi = 1 libra por pulgada cuadrada
1 MPa = 1 mega pascal = 1 mega newton por metro cuadrado (MN/m ²) =1 newton por milímetro cuadrado(N/mm ²)=1 000 000 pa
1 GPa = 1000 MPa = 1 giga pascal
1 ksi = 1000 psi = 6.895 MPa
1 psi = 0.006895 MPa
1 MPa = 0.145 ksi =145 psi

Según la figura 6-10, el esfuerzo aproximado es 16670 psi, menor que el máximo de 25000 psi. Entonces, el área transversal mínima es:

$$A_0 = \frac{F}{\sigma} = \frac{45000 \text{ psi}}{16670 \text{ lb}} = 2.70 \text{ pulg}^2$$

Para satisfacer los requisitos de esfuerzo máximo y de alargamiento mínimo al mismo tiempo, el área transversal de la varilla debe ser: 2.7 pulg² como mínimo, o sea que debe tener un diámetro mínimo de 1.85 pulg.



PROPIEDADES OBTENIDAS EN EL ENSAYO DE TENSION.

Resistencia de sedancia. Al aplicar esfuerzo a un material, este muestra primero una deformación elástica. La deformación que se produce desaparece por completo cuando se elimina el esfuerzo aplicado. Sin embargo, al continuar aumentando el esfuerzo aplicado, el material comienza a mostrar deformación tanto elástica como plástica. Al final, el material “cede” al esfuerzo aplicado. El valor crítico del esfuerzo necesario para iniciar la deformación plástica se llama **límite elástico** del material. En los materiales metálicos, este es normalmente el esfuerzo necesario para iniciar el movimiento de las dislocaciones o deslizamientos. En los materiales poliméricos, este esfuerzo corresponde al desenredo de las cadenas moleculares del polímero o al deslizamiento de las cadenas entre sí. El **límite de proporcionalidad** se define como el valor del esfuerzo arriba del cual la relación entre el esfuerzo y deformación ingenieriles no es igual.

En la mayoría de los materiales, el límite elástico y el límite de proporcionalidad están bastante cercanos. Sin embargo, ni el valor del límite elástico ni el límite de proporcionalidad se pueden determinar con precisión. Los valores medidos dependen de la sensibilidad del equipo que se usa. En consecuencia, se define un valor convencional de deformación plástica (normalmente 0.02 o 0.2%, pro no siempre). A continuación, se traza una recta comenzando en este valor desplazado, paralela ala parte lineal de la curva esfuerzo-deformación ingenieril. El valor de esfuerzo que corresponde al cruce de esa recta y la curva de esfuerzo-deformación ingenieril se le define como la **resistencia ala sedancia** y el procedimiento que se ha descrito para determinarlo se le conoce como criterio” Offset” o de deformación plástica convencional. En la figura 6-11 (a) se muestra la resistencia de sedancia al 0.02% de deformación convencional del hierro colado gris, que es de 40000 psi. En ingeniería se prefiere usar el esfuerzo de sedancia para fines de diseño.

En algunos materiales, la transición de deformación elástica a flujo plástico es abrupta. Esta transición se llama **fenómeno de punto de fluencia**. En esos materiales, al comenzar la deformación plástica, el valor del esfuerzo baja primero desde el *punto de fluencia superior* (σ_2) [figura 6-11(b)]. El valor del esfuerzo sigue decreciendo y oscila entorno a un valor promedio que se define como *punto de fluencia inferior* (σ_1).

La curva esfuerzo-deformación para ciertos aceros al bajo carbono muestra dos puntos de fluencia (o sedancia) [figura 6-11(b)]. Se espera que el material se deforme plásticamente en el esfuerzo σ_1 . Sin embargo, los átomos intersticiales agrupados entorno alas dislocaciones interfieren con el deslizamiento y elevan el punto de sedancia a σ_2 . Solo después de aplicar el esfuerzo σ_2 mayor, se deslizan las dislocaciones. Después de que comienza el deslizamiento σ_2 , las dislocaciones se alejan de los grupos de átomos pequeños y continúan moviéndose con mucha rapidez en el esfuerzo menor σ_1 .

Cuando se diseñan partes para aplicaciones sujetas a cargas dinámicas, es preferible que halla poca o ninguna deformación plástica. En consecuencia, se debe seleccionar un material tal que el esfuerzo de diseño sea bastante menor que la resistencia de sedancia ala temperatura ala que deberá usarse el material. También se puede hacer mayor la sección transversal del material, para que la fuerza aplicada produzca un esfuerzo bastante menor que la resistencia de sedancia. Por otra parte, cuando se desea conformar los materiales en componentes (por ejemplo, tomar una lamina de acero y formar un chasis de automóvil), se deben aplicar esfuerzos bastante mayores que la resistencia de sedancia.

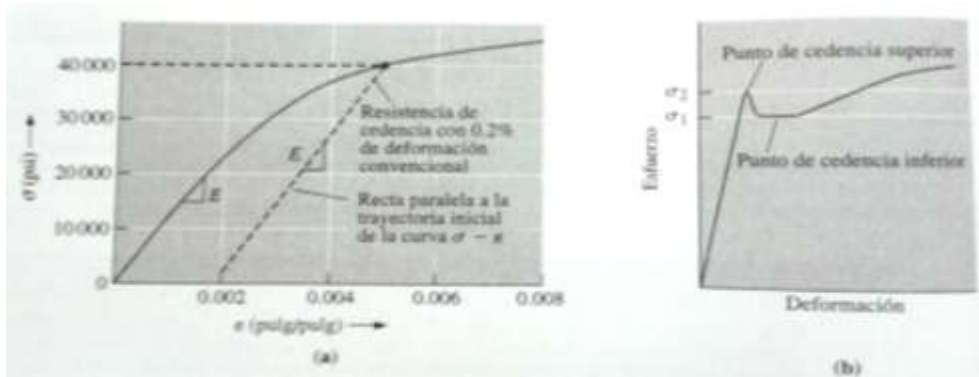


Figura 6-11. (a) determinación de la resistencia de cedencia con 0.2% de deformación convencional en el hierro colado gris y (b) puntos de cedencia superior e inferior de un acero al bajo carbono.

Resistencia a la tensión. El esfuerzo obtenido con la máxima fuerza aplicada es la **resistencia a la tensión** o **resistencia a la tracción** (σ_{TS}), que es el esfuerzo máximo en la curva esfuerzo-deformación ingenieril. En muchos materiales dúctiles, la deformación no permanece uniforme. En algún punto, una región se deforma más que otras y se presenta una reducción local grande de la sección transversal en dicho punto (fig. 6-12). Esta región de deformación lo se llama "cuello". A este fenómeno se le llama **estricción** o **formación de cuello**. Como el área transversal es menor en ese punto, se necesita una fuerza menor para continuar la deformación, y el esfuerzo ingenieril, calculando con el área *original* A_0 , decrece. La resistencia a la tensión es el esfuerzo en el cual comienza la estricción en los materiales dúctiles. Muchos metales y polímeros dúctiles

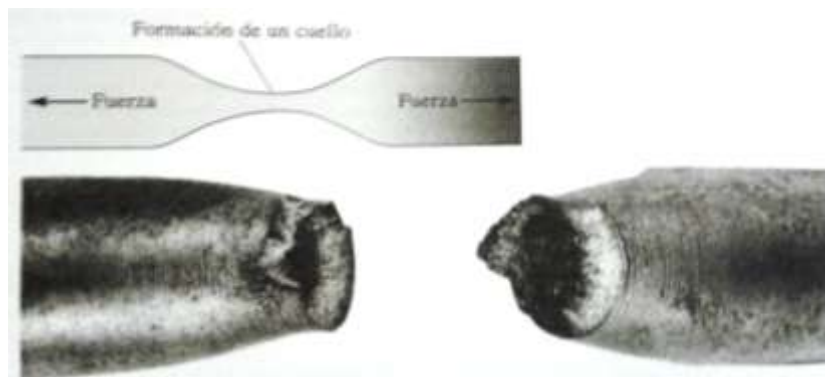


Figura 6-12. Deformación localizada de un material dúctil durante un ensayo de tensión; se produce una región de cuello. En la fotografía se observa la parte del cuello en una muestra fracturada.



Universidad Autónoma de Baja California CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

Muestran el fenómeno de formación de cuello. En el ensayo de compresión, los materiales se escuchan; por consiguiente, la estricción solo se observa en los ensayos de tensión.

La figura 6-13 muestra valores normales de resistencia de sedancia para distintos materiales diseñados. La resistencia de sedancia de los metales puros es menor. Por ejemplo, los metales ultra puros tienen una resistencia de sedancia aproximada de $\sim(1-10\text{MN/m}^2)$. Por otra parte, la resistencia de sedancia de las aleaciones es mayor.

El reforzamiento de las aleaciones se logra con los distintos mecanismos que ya se describieron, como el refinamiento del tamaño de grano, formación de solución sólida, endurecimiento por deformación, etc. La resistencia de sedancia de los plásticos y elastómeros en general es menor que la de los metales y aleación hasta de $(10-100\text{MN/m}^2)$. Los valores para los cerámicos son de resistencia a la compresión, obtenida mediante un ensayo de dureza. La resistencia a la tensión de la mayoría de los cerámicos es mucho menor, aproximadamente de $(\sim 100-200\text{MPa})$. La resistencia de los vidrios a la tensión es de unos $\sim 70\text{MPa}$, y depende de sus imperfecciones en la superficie.

Propiedades elásticas. El módulo de elasticidad, o *módulo de Young* (E), es la pendiente de la curva esfuerzo-deformación unitaria en la región elástica. Esta relación es la ley de Hooke: [6]

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \quad (6-6)$$

El módulo tiene una relación estrecha con la energía de enlace atómico (fig. 2-26). Una pendiente pronunciada de la gráfica fuerza-distancia a la distancia de equilibrio (o interatómica) indica que se requieren grandes fuerzas para separar los átomos y hacer que el material se estire en forma elástica. Así, el material tiene un módulo de elasticidad grande.

Las fuerzas de enlace y, por consiguiente, el módulo de elasticidad, suelen ser mayores para los materiales de punto de fusión alto (tabla 6-3). En los materiales metálicos, se considera que el módulo de elasticidad es una propiedad *insensible* a la microestructura, porque el valor está muy influido por la fuerza de los enlaces atómicos. El tamaño de grano u otras propiedades microestructurales no tienen un efecto muy grande sobre el módulo de Young. Obsérvese que el módulo de Young depende de factores como orientación de un material monocristalino (es decir, depende de la dirección cristalográfica). Para los cerámicos, el módulo de Young depende de la magnitud de la porosidad. El módulo de Young de un material compuesto depende de la rigidez de los componentes individuales.

El módulo de Young es una medida de la rigidez de un componente. Un componente rígido con módulo de elasticidad grande presenta cambios dimensionales mucho menores cuando el esfuerzo aplicado es relativamente pequeño y, en consecuencia, solo causa deformación elástica. En la figura 6-4 se compara el comportamiento elástico del acero con la del aluminio. Si se aplica un esfuerzo de 30 000psi cada material, el acero se deforma elásticamente 0.001 pulg/pulg, mientras que el aluminio se deforma 0.003 pulg/pulg. En general, la mayoría de los ingenieros consideran que la rigidez es una función del módulo Young y también de la geometría de un componente.

El **módulo de poisson** μ es el cociente de la deformación elástica longitudinal producida por un esfuerzo de tensión o compresión simple, entre la deformación lateral que sucede simultáneamente:

$$\mu = \frac{-\varepsilon_{lateral}}{\varepsilon_{longitudinal}} \quad (6-7)$$

Para muchos metales en la región elástica, el módulo de poisson suele ser 0.3, aproximadamente (tabla 6-3). Durante un ensayo de tensión, la relación aumenta más allá de la elasticidad hasta 0.5, aproximadamente, porque durante la deformación plástica el volumen permanece constante. Algunas estructuras interesantes muestran una relación de Poisson negativa. [7]



Universidad Autónoma de Baja California CENTRO DE INGENIERIA Y TECNOLOGÍA VALLE DE LAS PALMAS

El **modulo de resiliencia** (E_r), o área contenida bajo la parte elástica de una curva de esfuerzo-deformación ingenieril, es la energía elástica que absorbe un material durante la carga y que después se desprende, cuando se quita la carga. Para el comportamiento elástico lineal:

$$E_r = \left(\frac{1}{2}\right)(\text{resistencia de cedencia})(\text{deformación de cedencia}) \quad (6-8)$$

Tenacidad a la tensión. La energía absorbida por un material antes de fracturarse se llama **tenacidad a la tensión**, y a veces se determina como el área bajo la curva de esfuerzo-deformación ingenieril; también se llama **trabajo de fractura**. En la sección 6-5 se definirán el esfuerzo y la deformación reales. Como es más fácil determinar el esfuerzo y la deformación ingenieriles, los ingenieros suelen igualar la tenacidad a la tensión con el área bajo la curva el esfuerzo-deformación ingenieril.

Ductilidad. La **ductilidad** mide la cantidad de deformación que puede resistir un material sin romperse. Se puede medir la distancia entre las marcas de calibración en el espécimen antes y después del ensayo. La **elongación porcentual** describe la deformación plástica permanente antes de la falla (es decir, no se incluye la deformación elástica que desaparece después de la fractura). Obsérvese que la deformación a la falla es menor que la deformación en el punto de ruptura.

$$\% \text{alargamiento} = \frac{l_f - l_o}{l_o} \times 100 \quad (6-9)$$

Donde l_f es la distancia de entre las marcas de calibración después de que se ha roto el espécimen.

Un segundo método consiste en medir el cambio porcentual en el área de la sección transversal en el punto de fractura, antes y después del ensayo. La **reducción porcentual de área** describe la cantidad de adelgazamiento que sufre el espécimen durante el ensayo en dicho punto:

$$\% \text{ reducción en área} = \frac{A_o - A_f}{A_o} \times 100 \quad (6-10)$$

Donde A_f es el área transversal final en la superficie de fractura, la ductilidad es importante tanto en los diseñadores de componentes sujetos a cargas (dinámicas) como para los fabricantes de semiproductos (barras, varillas, alambres, placas, vigas I, fibras, etc.) Que usan procesamiento de materiales. El diseñador de un componente prefiere un material que muestre por lo menos cierta ductilidad, de modo que si el esfuerzo aplicado es demasiado alto, el componente pueda tomar algo del mismo deformándose, y no fallar por fractura frágil. Los fabricantes de componentes ingenieriles (metálicos y poliméricos) desean que el material sea dúctil para moldear formas complicadas sin romper los materiales en el proceso. La ductilidad de los materiales depende de la temperatura y de la velocidad de deformación.

ESFUERZO REAL Y DEFORMACIÓN REAL.

La disminución del esfuerzo ingenieril al rebasar el punto correspondiente a la resistencia a la tensión de la curva esfuerzo-deformación ingenieril se relaciona con la definición del esfuerzo ingenieril. En los cálculos, se uso el área original A_o , pero eso no es exacto, por que el área cambia en forma continua. Se definirán el **esfuerzo real** y la **deformación real** con las siguientes ecuaciones:

$$\text{Esfuerzo real} = \sigma_t = \frac{F}{A} \quad (6-11)$$

$$\text{Deformación unitaria real} = \int \frac{dl}{l} = \ln\left(\frac{l}{l_o}\right) = \ln\left(\frac{A_o}{A}\right), \quad (6-12)$$

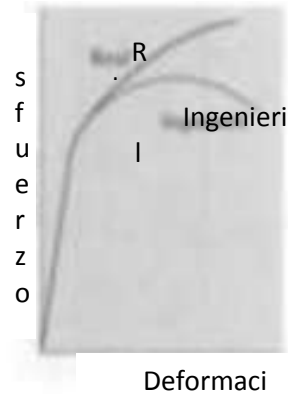


Figura 6-17. Relación entre los diagramas de esfuerzo real-deformación unitaria real y esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril. Las curvas son idénticas hasta el punto de cedencia

Donde A es el área real a la que se aplica la fuerza F . la expresión $In\left(\frac{A_0}{A}\right)$ solo se puede usar antes de comenzar la formación de cuello, cuando el volumen permanece constante y

$$\frac{A_0}{l_0} = \frac{A}{l}$$

En la figura 6-17 se comparan las curvas de esfuerzo-deformación reales y esfuerzo-deformación ingenieriles. El esfuerzo real continua aumentando después de la formación de cuello por que, aunque la carga necesaria disminuya, el área disminuye aun mas.

Para aplicaciones estructurales, con frecuencia no se requieren esfuerzos ni deformaciones reales. Cuando se rebaza la resistencia de cedencia, el material se deforma. El componente fallo por que ya no tiene la forma que se pretendía al principio. Además, se desarrolla una diferencia apreciable entre las dos curvas solo cuando comienza la formación de cuello. Pero, cuando eso sucede, el componente ya esta muy deformado y ya no sirve para el uso que se pretende. Los ingenieros que trabajan con el procesamiento de materiales necesitan los datos acerca del esfuerzo y la deformación reales.

**Texto sustraído del libro ciencia e ingeniería de materiales
Donald R. Askeland Capitulo 6, 4ta edición. P.p. 240-253.**

3. PROCEDIMIENTO (DESCRIPCIÓN)

EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none">➤ Probetas de acero (A33)➤ Máquina de tensión➤ Micrómetro➤ Vernier	<ul style="list-style-type: none">➤ Software para determinar la carga aplicada en la máquina de tensión➤ Papel, lápiz y USB para la obtención de datos importantes.

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1.- Mediciones

- Primero se realizaron las mediciones con el vernier a la probeta que se utilizaría para conocer su área transversal, por eso se marco una medida de 1 pulgada en el centro de la probeta (área reducida).

Función de la máquina

- Después de obtener las mediciones estas se capturan en el software.
- Verificar que el equipo esté listo y con sus parámetros en cero (la manipulación de la máquina la realizara son el técnico o encargado del laboratorio).
 - . Aguja de lector de carga máxima en cero.
 - . Computadora con escalas calibradas elongación y carga idóneas (0.1 mm y 300 kN).
 - . Otros.
- Posteriormente se enciende la máquina; en donde se mueve la palanca roja para poder colocar bien las mordazas a una distancia adecuada de tal modo de que la zona entallada este centrada (que exista la misma distancia entre la zona entalla y cada mordaza). Para trabajar, a este paso se le llama (mecanismo de sujeción).
- Verificar que este todo calibrado (escalas y el Nombre del archivo).
- De ahí se libera una plancha en donde se da el paso a la bomba hidráulica para el paso del aceite y con eso pueda trabajar los pistones de la máquina y dar inicio a la prueba
- Enseguida de eso se mueve el control de velocidad para que se vaya generando actividad en la máquina, en donde los pistones se moverán en direcciones contrarias para que la pieza se estire dependiendo de la velocidad aplicada.
- Para poder analizar la velocidad que se esta generando en el momento que esta trabajando la máquina, se encontrara en la parte superior de la máquina en donde tendrá dos agujas en la cual las dos marcaran, pero una será la testigo de la velocidad que se le aplico en la máquina. (Leer el valor del lector analógico el valor de la carga máxima a la ruptura.)
- Retirar la muestra (cuidando que no se golpee la zona de fractura).
- Medir las dimensiones de la muestra ancho y largo de la zona calibrada posterior a la fractura. (Se recomienda tomar fotos a la fractura)
- Después de la actividad en la máquina, se pasaran la información a la computadora en donde arrojará los datos obtenidos durante el trabajo realizado.
- Convertir los datos de carga y elongación a esfuerzo y deformación respectivamente.

4. RESULTADOS

Resultados

Tabla 1.- Resultados del ensayo de tensión.

Carga (kN) (lbf)	Elongación (mm)	Esfuerzo Ingenieril (MPa)	Deformación Ingenieril (mm/mm)	Esfuerzo real (MPa)	Deformación real (mm/mm)

Tabla 2.- Resultados Obtenidos de la grafica de esfuerzo - deformación.

Muestra / Material	Magnitud	Unidades		Magnitud	Unidades
Longitud inicial			Modulo de young		
Longitud Final			Esfuerzo de cedencia		
Diámetro / espesor Inicial			Esfuerzo al 0.2% proporcional		
Diámetro / espesor final			Esfuerzo máximo		
Área inicial			Esfuerzo a la ruptura		
Área final			% de alargamiento		
Carga a la ruptura			% de reducción de área		
			Resiliencia		

Questionario

1. Que es el ensayo de tensión.
2. Que propiedades podemos obtener y para que nos sirven.
3. Que diferencias existen entre las grafica esfuerzo – deformación ingenieril y esfuerzo – deformación real.
4. Describa el tipo de fractura que presentó la muestra ensayada.

5. EVIDENCIAS DE DESEMPEÑO

Elaboración de reporte de practica individualmente.

- Portada, (Con información de la materia, fecha nombre de la práctica, etc.)
 - Objetivo.
 - Material
 - Desarrollo experimental.
 - Resultados.
 - Cuestionario
 - Análisis y/o conclusiones.
 - Bibliografía
-

“Practica No 5”



PLAN DE ESTUDIOS	CLAVE ASIGNATURA	NOMBRE DE LA ASIGNATURA
2009-2	XXXXX	Ciencia de los Materiales

PRÁCTICA No.	LABORATORIO DE	NOMBRE DE LA PRÁCTICA	DURACIÓN
5	Ciencias de los materiales	<u>Preparación Metalografía</u>	2 horas

1. OBJETIVO (COMPETENCIA)
<ul style="list-style-type: none"> • Conocer las diferentes técnicas para la preparación de muestras metalografías. • Revelar la microestructura de un acero, mediante la técnica de ataque químico

2. INTRODUCCIÓN
<p>METALOGRAFIA</p> <p>1.13 Introducción. La metalografía o microscopia estudia microscópicamente las características estructurales de un metal o de una aleación. Sin duda, el microscopio es la herramienta más importante del metalurgista tanto desde el punto de vista científico como desde el técnico. Es posible determinar el tamaño de grano, y el tamaño, forma y distribución de varias fases o infusiones que tienen gran efecto sobre las propiedades mecánicas del metal. La microestructura revela el tratamiento mecánico y termico del metal y, bajo un conjunto de condiciones dadas, podrá predecirse su comportamiento esperado.</p> <p>La experiencia ha demostrado que el éxito en el estudio microscópico depende en mucho del cuidado que se tenga para preparar la muestra. El microscopio más curioso no revelara la estructura de una muestra que haya sido preparada en forma deficiente. El procedimiento que se sigue en la preparación de una muestra es comparativa sencillo y requiere de una técnica desarrollada solo después de practica constante. El ultimo objetivo es obtener una superficie plana, sin ralladuras, semejante a un espejo. Las etapas necesarias para preparar adecuadamente una muestra metalografía se explican de la sección 1.14 ala 1.19.</p> <p>1.14 muestreo. La selección de una muestra para estudio microscópico puede ser muy importante. Si lo que se va a investigar es una falla, se debe escoger la muestra más próxima al área de la falla y comparársele con una tomada de la sección normal o sana.</p> <p>Si el material es suave, como metales o aleaciones no ferrosas y aceros no tratados térmicamente, la sección puede obtenerse por corte manual con una segueta. Si el material es duro, la sección puede obtenerse mediante un disco contador abrasivo, el cual es un plano delgado fabricado de un abrasivo de tipo adecuado, que gira a alta velocidad. La muestra debe mantenerse fría durante la operación de corte.</p> <p>1.15 esmerilado burdo o losco. Siempre que sea posible, la muestra debe ser de un tamaño fácil de manipular. Una muestra blanda se puede aplanar si se mueve lentamente hacia arriba y hacia abajo a traves de la superficie de una lima plana poco áspera. La muestra blanda o dura puede esterilizarse burdamente sobre una lija de banda (rotatoria), manteniendo la muestra fría sumergiéndola frecuentemente en agua durante la operación de esterilizado. En todas las operaciones de esterilizado y pulido, la muestra debe moverse en sentido perpendicular a las ralladuras existentes.</p> <p>Esto facilitara darse cuenta del momento en que las ralladuras mas profundas hayan sido sustituidas por las menos profundas, características del abrasivo más fino. El esterilizado continúa hasta que la superficie quede plana y libre de mellas, rebabas, etc..., y todas las ralladuras debidas al corte manual o al disco cortador no son visibles. (La figura 1.10^a muestra la superficie después del esterilizado.)</p> <p>1.16 montaje las muestras pequeñas o de forma incomoda deben montarse de alguna manera para facilitar el pulido intermedio y final. Alambres, varillas pequeñas, muestras de hoja metálica,</p>

secciones delgadas, etc..., deben montarse en un material adecuado o sujetarse rígidamente en una monta mecánica.

Los materiales plásticos sintéticos que se acoplan a la muestra en una prensa para montar especial proporcionan las bases de un tamaño uniforme conveniente (generalmente de 2, 5,3 o 4 cm de diámetro) para manipular las muestras en ulteriores operaciones de pulido. Estas bases, cuando se han hecho en forma adecuada, son muy resistentes a la acción de los reactivos de ataque, que se emplean comúnmente. La resina termo fijadora que más se emplea para montar muestras es la baquelita. Los polvos para moldear baquelita se fabrican en colores de este material, lo cual simplifica la identificación de las muestras montadas. La muestra y la cantidad correcta de polvo de baquelita, o una preforma de baquelita, se colocan en el cilindro de la prensa de montar. La temperatura aumenta gradualmente hasta 150°C y se aplica una presión de moldeo de unos 4000 lbs. /pulg² simultáneamente. Una vez que la baquelita está adherida y curada cuando se alcanza esta temperatura, la base con la muestra puede extraerse del dado moldeado mientras está caliente.

La lucita es la resina más termoplástica más común; es completamente transparente cuando se moldea en forma adecuada, como se ve en la figura 1.9b. Esta transparencia resulta útil cuando es necesario observar la sección exacta que se pule o cuando por cualquier otra razón se desea ver por completo la muestra en la base. Al contrario de los plásticos termo fijados, las resinas termoplásticas no sufren cura a la temperatura de moldeo si no que adquieren estabilidad al enfriarse. La muestra y la cantidad de polvo de lucitas adecuadas se colocan en la prensa para montar y se someten a la misma temperatura y presión que para que la baquelita (150°C y 4000 lbs. /pulg²). Una vez alcanzada esta temperatura, se quita la bobina de calentamiento y las aletas de enfriamiento se colocan alrededor del cilindro para enfriar la base hasta 75°C en unos 7 min al tiempo que se mantiene la presión del moldeo. Si se saca la base todavía caliente o si se deja enfriar lentamente en el cilindro de moldeo a la temperatura ambiente sin sacarla, se opacará.

Las muestras pequeñas pueden montarse en forma conveniente para prepararlas mecanográficamente en un dispositivo de sujeción hecho en el laboratorio, como el de la figura 1.9c. Las muestras laminares delgadas, cuando se montan en tal dispositivo de sujeción, suelen alternarse con hojas metálicas rellenas de metal que tienen aproximadamente la misma dureza que las muestras. Si se usan hojas rellenas, se conservará la superficie libre de las irregularidades de la muestra y se evitará, de alguna manera, que los bordes de la muestra se redondeen durante el pulido.

1.17 pulido intermedio. Después de montada, la muestra se pule sobre una serie de hojas de esmeril o lija con abrasivos más finos, sucesivamente. El primer papel es generalmente No. 1, luego 1/0, 2/0, 3/0 y finalmente 4/0. La figura 1.10b muestra la superficie después del pulido intermedio con lija de 4/0. Por lo general, las operaciones de pulido intermedio con lijas de esmeril se hacen en seco; sin embargo en ciertos casos, como el de preparación de materiales suaves, se puede usar un abrasivo de carburo de silicio. Comparado con el papel esmeril, el carburo de silicio tiene mayor rapidez de remoción y, como su acabado es a base de resina, se puede utilizar con un lubricante, el cual impide el sobrecalentamiento de la muestra, minimiza el daño cuando los metales son blandos y también proporciona una acción de enjuague para limpiar los productos removidos de la superficie de la muestra, de modo que el papel no se ensucie.

1.18 pulido fino el tiempo utilizado y el éxito del pulido fino dependen en mucho del cuidado puesto durante los pasos del pulido previo. La última aproximación a una superficie plana libre de ralladuras se obtiene mediante una rueda giratoria húmeda cubierta con un paño especial cargado con partículas abrasivas cuidadosamente seleccionadas en su tamaño. Existe gran disponibilidad de abrasivos para efectuar el último pulido. En tanto que muchos harán un trabajo satisfactorio, parece haber preferencia por la forma gamma del óxido de cerio para pulir aluminio, magnesio y sus aleaciones. Otros abrasivos para pulido final que se emplean a menudo son la pasta de diamante, óxido de cromo y óxido de magnesio.

La selección de un paño para pulir depende del material que va a pulirse y el propósito del estudio metal gráfico. Se pueden encontrar paños de lanilla o pelillo variable, desde aquellos que no tienen pelillo (como la seda) hasta aquellos de pelillo intermedio (como paño ancho, paño de billar y lonilla) además son aquellos de pelillo profundo (como el terciopelo). También se pueden encontrar paños sintéticos para pulir con fines de pulido general, de los cuales el Gamal y el Micro paño son los que se utilizan más ampliamente. Una muestra pulida en forma adecuada mostrará únicamente las inclusiones no metálicas; además, estará libre de ralladuras (fig. 1.10c).

1.19 ataque el propósito del ataque químico es hacer visibles las características estructurales

del metal o aleación. El proceso debe ser tal que queden claramente diferenciadas las partes de la microestructura. Esto se logra mediante un reactivo apropiado que somete a la superficie pulida a una acción química.

En las aleaciones compuestas de dos o más fases, las componentes se revelan durante la acción química, al atacar preferencialmente, el reactivo, a una o más de estas constituyentes debido a la diferencia en composición química de las fases (fig. 1.11a). En las aleaciones uniformes de una sola fase o metales puros, se obtiene contraste y fronteras de grano se hacen visibles debido a las diferencias en la rapidez a que los diversos granos son atacados por el reactivo (fig. 1.11b). Esta diferencia en la rapidez de ataque está asociada principalmente con el ángulo que guardan las diferentes secciones de grano con el plano de la superficie pulida. Debido al ataque químico por el reactivo de ataque, las fronteras de grano aparecerán como valles en la superficie pulida. Al chocar con la orilla de estos valles, la luz del microscopio se reflejará fuera del microscopio haciendo que las fronteras de grano aparezcan como, valles en la superficie pulida líneas oscuras. Esto se muestra en la fig. 1.11c. La selección del reactivo de ataque está determinada por el metal o aleación y la estructura específica que se desea ver. La tabla 1.3 enumera algunos de los reactivos de ataque comunes.

1.20 Microscopios metalúrgicos. En este punto es apropiado analizar brevemente los principios del microscopio metalúrgico. En comparación con uno de tipo biológico, el microscopio metalúrgico difiere en la manera en que la muestra es iluminada. Como una muestra metalúrgica es opaca a la luz, la misma debe ser iluminada por luz reflejada. Como se ve en la figura 1.12, un haz de luz horizontal de alguna fuente de luz es reflejado, por medio de un reflector de vidrio plano, hacia abajo a través del sistema inferior de lentes, el objetivo, y continuará hacia arriba a través del reflector de vidrio plano; luego, una vez más lo amplificará el sistema superior de lentes, el ocular. El poder de amplificación inicial del objetivo y del ocular está generalmente grabado en la base del lente. Cuando se utiliza una combinación particular del objetivo y ocular y la longitud adecuada de tubo, la amplificación total es igual al producto de las amplificaciones del objetivo y del ocular,

La figura 1.13^a muestra un microscopio metalúrgico de mesa.

Tabla 1.3 reactivos de ataque para examen microscópico

Reactivo de ataque	Composición
Acido nítrico (nital)	Acido nítrico blanco 1.5 ml alcohol metílico o etílico (98% o absoluto) también alcohol amílico 100 ml
Acido pícrico (picral)	Acido pícrico 4g etil o alcohol de metilo (95% o absoluto) 100 ml
Cloruro férrico y Acido hidroclicóric	Cloruro férrico 5g Acido hidroclicóric 50 ml Agua 100 ml
Hidróxido de amonio y peróxido de hidrogeno	Hidróxido de amonio 5 partes Agua 5 partes Peróxido de hidrogeno 2 -5 partes
Persulfato de amonio	Persulfato de amonio 10 g agua 90 ml
Reactivo de palmerston	Oxido crómico 200 g Sulfato de sodio 15 g Agua 1 000 ml
Molibdato de amonio	Acido molibdic (85%) 100 g Hidróxido de amonio (gr. esp. 109) 140 ml Agua 240 ml Filtrar y añadir al acido nítrico (gr. esp . 1.32) 60 ml

Acido hidroclicrico	Acido hidrofluorico (conc) H ₂ O	0.5 ml 99.5 ml
Usos	observaciones	
En acero al carbon: a) para oscurecer perlita y dar contraste entre colonias de perlita, b) para revelar fronteras de perlita, c) para diferenciar la ferrita de la martensita	La rapidez de ataque aumenta; la selectividad disminuye y se incrementan los porcentajes de HNO ₃ . El reactivo 2 (acido picrico) generalmente es superior. El tiempo de ataque es de unos cuantos segundos a un minuto.	
Para todos los grados de aceros al carbon reconocidos, normalizados, templados y revenidos, esferoidizados, austerizados. Para todos los aceros de baja aleacion atacados por este reactivo.	Ocasionalmente utiles para soluciones mas diluidas. No revela las fronteras de grano de ferrita tan facilmente como el nital. Tiempo de ataque de unos cuantos segundos a un minuto o mas.	
Aceros inoxidable al niquel y aceros inoxidable.		
Generalmente empleado para cobre y muchas de sus aleaciones	El contenido de peroxido varia directamente con el contenido de cobre de la aleacion que sera atacada, inmersión o frotamiento por casi un minuto. Usar peroxido fresco para buenos resultados.	
Cobre, laton, bronce, plata, niquel, bronce aluminio.	Utilizarlo frio o hirviendo; inmersión.	
Reactivo general para zinc y sus aleaciones	Inmersión con agitacion moderada.	
Ataque rapido para plomo y sus aleaciones; muy apropiado para remover la capa gruesa de metal trabajado.	Frotar la muestra y lavar bajo chorro de agua de manera alternada	

- De "metals handbook". 1948. American society for metals park. Ohio

Es posible montar un fuelle de cámara sobre el ocular y usar el microscopio de mesa para fotomicrografía; sin embargo, el metalografía tipo banco de la figura 1.13b, creado específicamente tanto para examen visual como para registro permanente de estructuras metalografías por métodos fotográficos, dará fotomicrografías de mayor calidad y precisión.

La amplificación máxima obtenida con el microscopio óptico es de unos 2000 x. la limitación principal es la longitud de onda de la luz visible, la cual limita la resolución de los detalles finos de la muestra metalografía. La amplificación puede ser aumentada en cierta medida con el uso de radiación de longitud de onda menor, tal como radiación ultravioleta, pero la técnica para preparar la muestra es más complicada.

El mayor avance en el poder de resolución lo obtuvo el microscopio electrónico. En ciertas circunstancias, los electrones de alta velocidad se comportan como luz de longitud de onda muy corta. El haz de electrones tiene asociada una longitud de onda aproximadamente 100000 veces menor que la longitud de onda de la luz visible, incrementando considerablemente el poder de resolución. La figura 1.14 a muestra un microscopio electrónico.

Aunque en el microscopio electrónico es similar al óptico su apariencia resulta muy diferente. Es mucho más grande debido a los suministros de potencia altamente regulada necesarios para producir y controlar el haz de electrones. El sistema completo debe mantenerse a un alto vacío, ya que de otro modo el aire interferiría con el movimiento de los electrones.

Los lentes del microscopio electrónico son los potentes campos magnéticos de las bobinas, y

la imagen es enfocada al cambiar la intensidad del campo de las bobinas mientras estas permanecen en una posición fija. En el microscopio óptico, la imagen es enfocada al cambiar la separación de los lentes.

Como las muestras metalográficas son opacas a un haz de electrones, es necesario preparar, mediante técnicas especiales, una réplica delgada de la superficie a estudiar. La muestra se pule y ataca según, la práctica común metalográfica. Luego se coloca una placa caliente con una pequeña gota de plástico adecuado sobre la superficie atacada. Conforme la temperatura aumenta, el plástico empieza a fluir y se aplica presión para asegurar un estrecho contacto entre el plástico y la superficie. Después del enfriamiento, se separa cuidadosamente la réplica. Para mejorar el contraste, se evapora sobre la muestra una capa delgada de carbono o tungsteno angularmente y desde una orilla. Como la réplica sombreada es frágil, se coloca sobre un disco de malla de alambre de cobre muy fino. Entonces, el disco se coloca sobre la abertura del sostén de la muestra, que a su vez es insertado en la columna del instrumento.

Los electrones emitidos por el cátodo caliente (filamento de tungsteno) son acelerados por el ánodo, para formar un haz de alta velocidad. Este haz es concentrado en la réplica por las lentes del condensador. Dependiendo de la densidad y espesor de la réplica en cada punto; algunos electrones son absorbidos o dispersados en tanto el resto pasa a través de ella. El campo magnético de la lente del objetivo enfoca y amplifica el haz de electrones que ha pasado a través de la réplica. Algunas de los electrones que forman esta imagen son enfocadas por segunda vez por las lentes proyectoras sobre una pantalla fluorescente. El microscopio electrónico mostrado en la figura 1.14 a tiene un intervalo básico de amplificación de 1400 a 32000x, que puede aumentarse a 200000x con lentes adicionales.

*Texto sustraído del libro Introducción a la metalurgia física, Sydney H Avner
Capítulo 1 2ª Edición, p.p. 27 -38*

3. PROCEDIMIENTO (DESCRIPCIÓN)

EQUIPO NECESARIO	MATERIAL DE APOYO
<ul style="list-style-type: none">➤ Muestras de aceros.➤ Papel abrasivo 60, 80, 120, 240, 320, 400, 600, 1200, 2000➤ Paño para pulir.➤ Alúmina y/o pasta de diamante➤ Desbastadoras (lavaderos).	

DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

2 horas clase y 2 horas extraclase).

1. Seleccione una muestra de material con una sección de 1 pulgada cuadrada.
2. Desbaste (lije) el material con el papel abrasivo más grueso hasta el papel abrasivo más fino, teniendo en cuenta:
 - a. Que las líneas de desbaste estén paralelas otra usando como lubricante agua.
 - b. Que cada vez que cambie de papel abrasivo gire la muestra de tal manera que las líneas nuevas de desbaste sean perpendiculares a las anteriores.
3. Una vez que se haya desbastado la muestra se procede al pulido de la muestra la cual se realiza con el paño y la alúmina con movimiento circular hasta eliminar el 90% de las rayas de desbaste fino (usar agua de garrafón como lubricante).
 - a. En el dado que se utilice pasta de diamante, se utilizará como lubricante alcohol.
4. Atacar con Nital al 5% para revelar la micro estructura del material.
5. Evaluar en el microscopio metalográfico su microestructura y hacer un bosquejo de esa microestructura.

4. RESULTADOS

Resultados

Bosquejos de la microestructura observada

Cuestionario

1. Que es un análisis metalográfico.
2. Que información podemos obtener a partir de un análisis metalográfico.
3. Investigue la norma de la ASTM relacionada con el análisis metalográfico.
4. Que es un límite de grano.
5. Que es clivaje.
6. Que fases microestructurales están presentes en un material ferroso.

5. EVIDENCIAS DE DESEMPEÑO

Elaboración de reporte de practica individualmente.

- Portada, (Con información de la materia, fecha nombre de la práctica, etc.)
 - Objetivo.
 - Material
 - Desarrollo experimental.
 - Resultados.
 - Cuestionario
 - Análisis y/o conclusiones.
 - Bibliografía
-