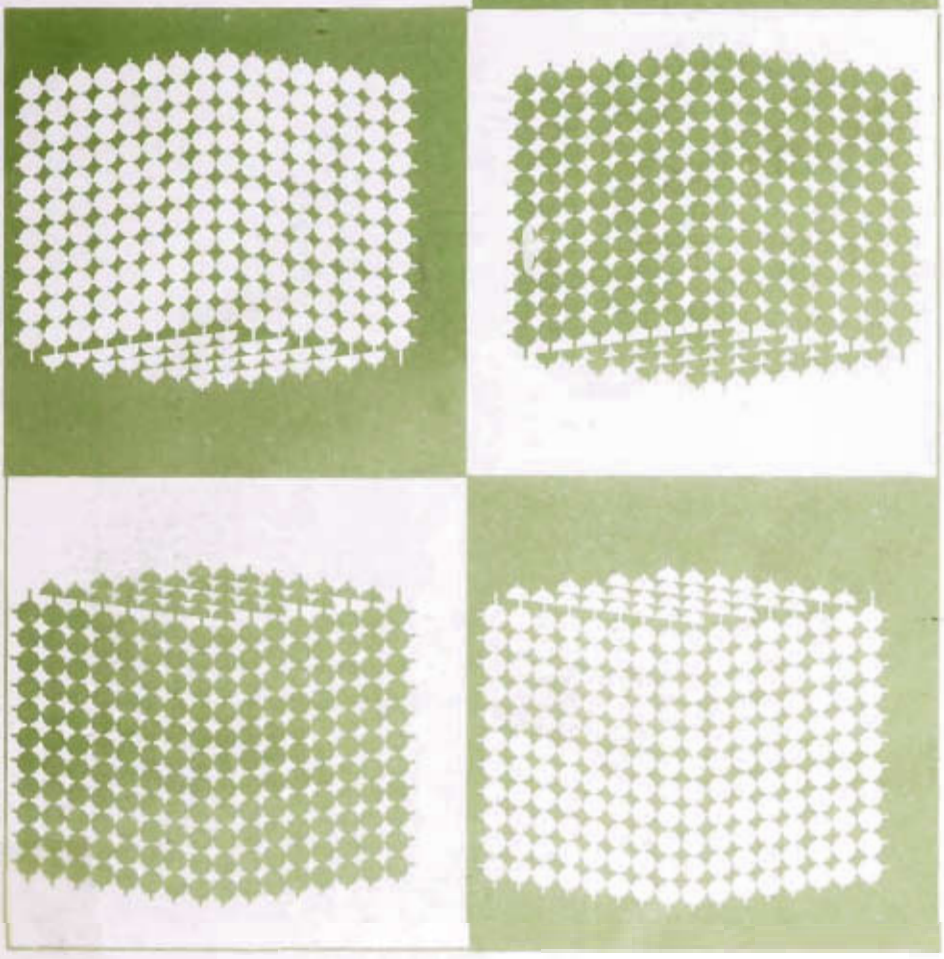
- 42

Prácticas para el laboratorio de introducción a los materiales



Francisca Franco Velázquez
Antonio de Ita de la Torre

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

UAM
TA404.3
.F7.26
2001

Prácticas para el laboratorio de introducción a los materiales

Prácticas para el laboratorio de introducción a los materiales

Este material fue dictaminado y aprobado por el Consejo Editorial de la División de Ciencias Básicas e Ingeniería, el 10 de diciembre de 1996.

217453
C.B. 2892932

Prácticas para el laboratorio de introducción a los materiales

Francisca Franco Velázquez
Antonio de Ita de la Torre

AZCAPOTZALCO
COSEI BIBLIOTECA

2892932

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Azcapotzalco
División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Materiales
Área de Ciencia de Materiales

UAM-AZCAPOTZALCO

RECTOR
Dr. Adrián Gerardo de Garay Sánchez

SECRETARIA
Dra. Sylvie Jeanne Turpin Marion

COORDINADORA GENERAL DE DESARROLLO ACADÉMICO
Dra. Norma Rondero López

COORDINADOR DE EXTENSIÓN UNIVERSITARIA
DI Jorge Armando Morales Aceves

JEFE DE LA SECCIÓN DE PRODUCCIÓN Y DISTRIBUCIÓN EDITORIALES
Lic. Francisco Javier Ramírez Treviño

ISBN-970-654-898-X

©UAM-Azcapotzalco

Francisca Franco Velázquez
Antonio de Ita de la Torre

Corrección:
Mariscla Juárez Capistrán
Ilustración de portada.
Consuelo Quiroz Reyes
Diseño de portada.
Modesto Serrano Ramírez

Sección de producción
y distribución editoriales
Tel. 5318-9222/9223
Fax. 5318-9222

Universidad Autónoma Metropolitana
Unidad Azcapotzalco
Av. San Pablo 180
Col. Reynosa Tamaulipas
Delegación Azcapotzalco
C.P. 02200
México, D.F.

Prácticas para el laboratorio
de introducción a los materiales
1a. edición 1997
2a. edición 2001
3a. reimpresión 2005
4a. reimpresión 2008

Impreso en México

PRESENTACIÓN

DE LA PRIMERA EDICIÓN

El objetivo de este trabajo es mostrar al lector el amplio espectro de la Ciencia de los Materiales y por esto se han seleccionado prácticas que permitan tener una idea general de las estructuras, propiedades y aplicaciones de los tres grupos de materiales ingenieriles: metales, cerámicos y polímeros. La lectura de la introducción de cada práctica muestra una parte del material, el maestro de laboratorio cubrirá otra y el curso de Introducción a los Materiales proporciona la mayor parte del material, de tal manera que al final se tenga una amplia visión de cada tema.

Estas prácticas de laboratorio de Introducción a los Materiales son el resultado de muchos años de trabajo de profesores, ayudantes y alumnos que en su oportunidad la impartieron o tomaron la materia, añadíendole, quizá algo de lo que ahora presentamos. Desgraciadamente no sabemos, el grado de participación de cada uno de ellos, por lo que sólo podemos agradecer a todos, su aportación cualquiera que ésta haya sido.

Esta versión tiene varios años de haberse terminado y se está utilizando constantemente en la carrera de ingeniería metalúrgica donde es materia obligatoria y en otras carreras donde es optativa. Probablemente cuando estas prácticas estén a disposición de los alumnos, ya se hayan hecho algunas modificaciones. Por ello agradecemos de antemano cualquier sugerencia que nuestros amables lectores nos hagan, a fin de mejorarlas.

Agradecemos especialmente a Verónica Mojica por su invaluable ayuda para producir la mayoría de las figuras.

F. Franco y A. de Ita

Enero de 1997

PRESENTACIÓN

DE LA SEGUNDA EDICIÓN

Después de que han pasado tres años de la primera edición y de cerca de 500 ejemplares vendidos, hemos decido hacer esta segunda edición.

Revisamos con mucho cuidado el manuscrito, primero corregimos los pequeños errores de tipografía que existían. Realizamos algunos cambios en los textos para hacer más clara su redacción y mejorando muchos detalles.

Posteriormente aumentamos material donde se ha observado que se presentan problemas, así mismo incluimos nuevas tablas: del tamaño de grano y algunas conversiones de unidades para la práctica del ensayo de tensión. Mejoramos también las gráficas de ésta última.

Se escribió un juego completo de guías para todas las prácticas, las anteriores son las anotadas como "A" y las nuevas son las nombradas como "B". Por cierto, varias de las guías anteriores fueron modificadas y se les aumentaron preguntas. Finalmente añadimos dos prácticas nuevas: Crecimiento de Cristales de Alumbre e Identificación Rápida de Metales, con sus respectivas dobles guías.

Esperamos que estas modificaciones sean adecuadas, pero como siempre estamos dispuestos a hacer una nueva revisión cuando sea necesario.

Como siempre agradecemos a los profesores y ayudantes sus sugerencias y contribuciones, los errores si hay, son nuestros.

F. Franco y A. de Ita

Marzo del 2001

CONTENIDO

PRÁCTICA		PÁGINA
No 1.	Empaquetamiento compacto y modelo de burbujas de Bragg	1
No 2.	Comparación entre materiales amorfos y cristalinos	9
No 3.	Ensayo de tensión	15
No 4.	Dureza y tamaño de grano	25
No 5.	Aceros al carbono	35
No 6.	Tratamientos térmicos	47
No 7.	Determinación de densidad y porosidad en materiales refractarios	55
No 8.	Polímeros	61
No 9.	Cristalización del alumbre	67
No 10.	Identificación rápida de metales	75
Bibliografía		79
Guías para las prácticas		81

PRÁCTICA NO. 1

EMPAQUETAMIENTO COMPACTO Y MODELO DE BURBUJAS DE BRAGG

OBJETIVOS:

- Estudiar el acomodo de átomos en cristales simples con la ayuda de un modelo de esferas.
- Observar el apilamiento de los átomos y sus imperfecciones como vacancias, dislocaciones y límites de grano.

MATERIAL:

Esferas de unicel o poliuretano
Caja de palillos
Recipiente plano para contener las burbujas
Suministro de aire
Capilar para dirigir el flujo de aire
Solución jabonosa para producir burbujas

INTRODUCCIÓN:

El comportamiento y las propiedades de los materiales utilizados en ingeniería dependen estrechamente de su estructura interna, las interacciones a nivel atómico y molecular rigen los posibles estados de agregación de la materia, es decir, las características de los materiales quedan determinadas, a nivel microscópico, por la disposición de átomos y moléculas en el espacio.

La estructura de los sólidos puede variar desde los más simples cuerpos cristalinos hasta los más complejos y pueden presentarse como amorfos. El rasgo fundamental de un sólido cristalino es la periodicidad de su estructura, esto significa que un cristal presenta un arreglo de átomos o grupos de átomos con algún patrón

regular y repetitivo. Este patrón resulta de la repetición regular y casi infinita, en el espacio, de unidades estructurales idénticas. Para que se pueda realizar una clara descripción de las estructuras, es conveniente como una primera aproximación, considerar a las partículas que forman los materiales: átomos, moléculas o iones, como esferas duras e incompresibles.

En esta práctica se tratarán los cristales que presentan un empaquetamiento compacto, ésto es, donde las esferas están en contacto unas con otras ocupando el menor espacio posible, este empaquetamiento se encuentra en casi todos los sólidos que tienen enlaces tipo metálico y en algunos con enlaces iónico o de Van der Waals. Para facilitar aún más el entendimiento de la geometría del empaquetamiento compacto se considerarán estructuras con un sólo tipo y tamaño de átomo.

Para la formación de una estructura de empaquetamiento compacto se recurre al concepto del plano compacto, cuya forma se ilustra en la figura 1. Ésto es, que las partículas o átomos se encuentren lo más cerca unos de otros y cada átomo tiene 6 primeros vecinos en el plano. Además se debe observar que presentan dos tipos de hueco: triángulos hacia arriba y triángulos hacia abajo.

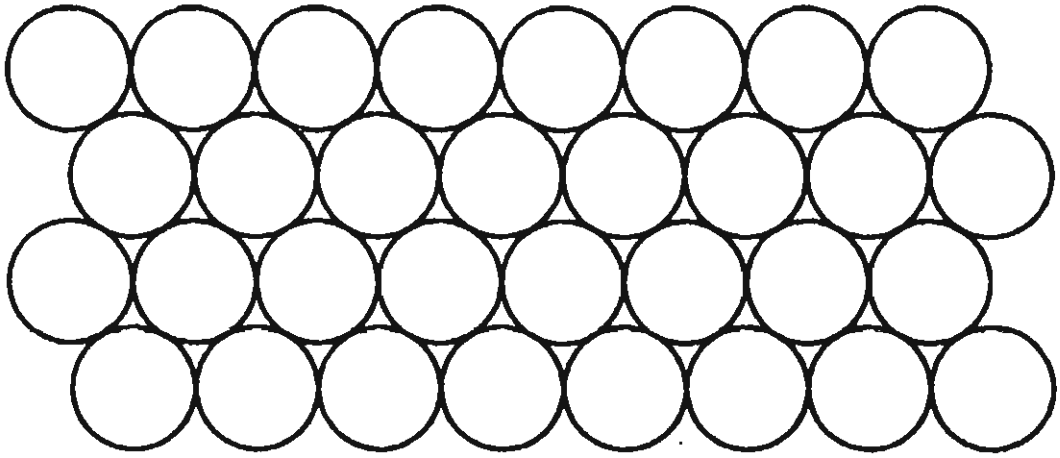


Figura 1. Plano compacto, los huecos son triángulos hacia arriba o hacia abajo

El apilamiento de otros planos, arriba y bajo de un plano compacto, se puede hacer de tal manera que cada uno de los átomos apilados quedarán colocados en el espacio triangular generado por tres átomos contiguos al hueco del plano compacto inicial. Si se colocan todos los átomos posibles en los planos subsiguientes lo más cerca posible, se generarán otros dos planos compactos.

Existen dos estructuras cristalinas que cumplen con las condiciones de un empaquetamiento compacto y éstas se diferencian exclusivamente de las posiciones relativas de los planos contiguos. En la figura 2 se muestran las dos posibilidades, la primera a) se conoce como Cúbica Centrada en las Caras, CCCa, (en ingles es fcc), donde todas las capas sucesivas se colocan en los huecos triangulares hacia arriba de la capa de abajo, se encuentra que la cuarta capa coincide con la posición de la primera, la quinta con la segunda, etc. De tal forma que se puede establecer la secuencia ABCABCABC... para los planos sucesivos. Para el caso b) la tercera capa se coloca en el hueco triangular hacia abajo y por lo que esta capa queda en la misma posición que la primera y la secuencia de los planos es entonces ABABAB... para los planos sucesivos y la estructura se conoce como Hexagonal Compacta, HC.

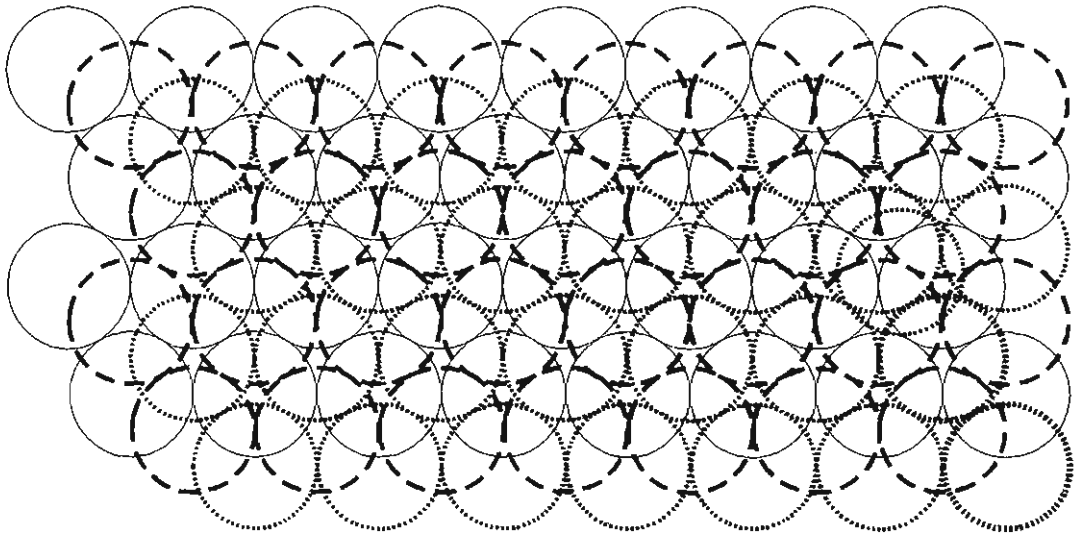


Figura 2 a) . Estructura cúbica centrada en las caras. Las tres primeras capas tienen posiciones diferentes.

En el empaquetamiento compacto existen dos tipos de cavidades intersticiales: tetraédricas y octaédricas. La cavidad tetraédrica es generada por cuatro átomos y la cavidad octaédrica es generada por seis átomos, entre dos planos compactos, como se puede observar en las figuras 3 a y b. en un caso el hueco es un tetraedro y en el segundo un octaedro aproximadamente ya que las caras son parcialmente esféricas.

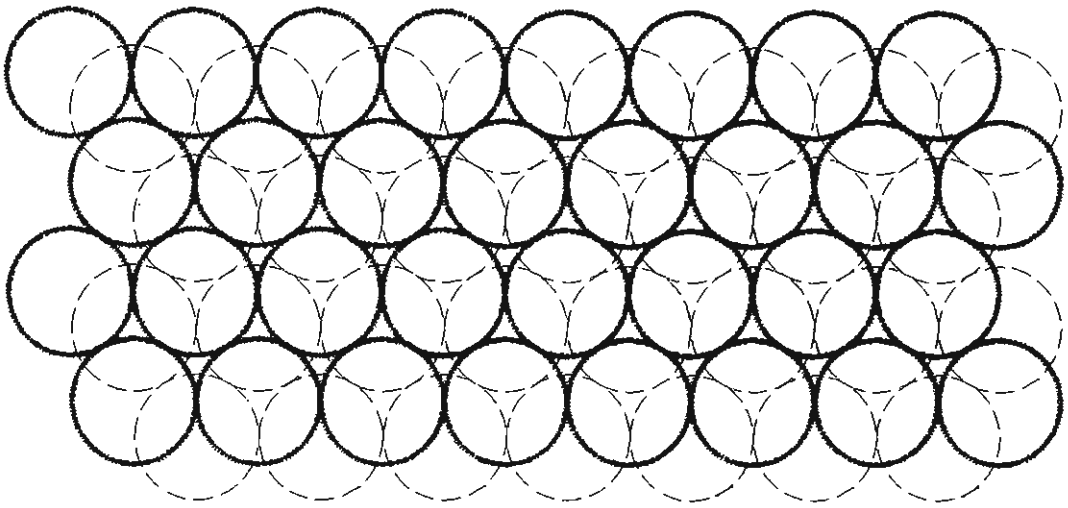


Figura 2 b) . Estructura Hexagonal Compacta. La tercera capa coincide con la primera

La esfera más grande que puede llenar un hueco tetraédrico sin causar distorsión alguna a la matriz estructural tiene un radio igual a 0.225 R, donde R es el radio de las esferas que forman el empaquetamiento compacto. La mayor esfera que llena un hueco octaédrico tiene un radio igual a 0.414 R.

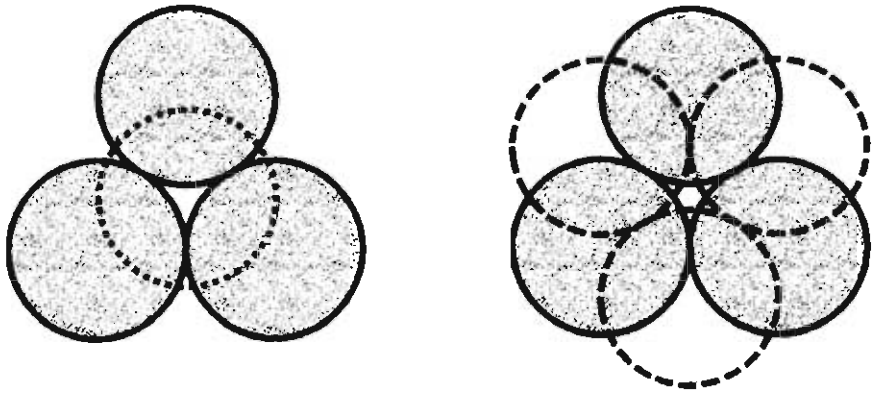


Figura 3 a y b. Huecos Tetragonal y Octagonal respectivamente.

Hasta el momento sólo se han tratado dos estructuras cristalinas ideales, Cúbicas Centradas en las Caras, CCCa y Hexagonal Compacta, HC, ó fcc y hc respectivamente por sus iniciales en inglés, pero existen otras que forman parte de los sistemas cristalinos conocidos como redes de Bravais y son los siguientes, cúbica: simple, centrada en el cuerpo ó centrada en la cara, tetragonal: simple y centrada en el cuerpo, ortorrómbica: simple, centrada en la cara, en el cuerpo o en las bases, monoclínica: simple ó centrada en las bases, hexagonal, romboédrica y triclínica.

Los cristales reales nunca son perfectos, poseen diversas imperfecciones que afectan considerablemente las propiedades físicas y mecánicas de los materiales de utilidad en ingeniería.

Por medio del modelo de burbujas de Bragg, se puede observar de manera bidimensional algunos defectos como son: vacancias, dislocaciones y fronteras de grano. Esto se logra debido a que las fuerzas de atracción y repulsión entre las burbujas de jabón obedecen casi a los mismos principios que entre los átomos de un cristal real.

PROCEDIMIENTOS:

Empaquetamiento compacto

1. Colocar las esferas de unicel para obtener planos compactos, como los mostrados en la figura 1.

2. Apilar tres planos para obtener un modelo CCCa. Observar bien en qué huecos entran las capas sucesivas para obtener tal ordenamiento.

3. Apilar tres planos para obtener un modelo HC. Observar con cuidado la secuencia del apilamiento.

4. Para obtener el CCCa en el inciso 2, se tuvo que formar la secuencia de apilamiento ABCABC..., y para obtener HC la secuencia ABABAB.... ¿Qué pasará si al estar apilando se equivoca en la secuencia ?; y se produce por ejemplo, ABCBCABC..., ó ABABCABAB.... Tales eventos cuando ocurren se llaman " fallas de apilamiento" y son importantes en el comportamiento mecánico de los metales. Hacer un esfuerzo por visualizar estas posibles secuencias lo más exacto posible.

5. Los huecos que dejan las estructuras CCCa y HC aunque son pequeños, son importantes, ya que un átomo pequeño como impureza extraña puede alojarse

eventualmente en estos huecos originando un defecto llamado "intersticial". Visualizar los dos tipos de huecos: los tetraédricos y los octaédricos en las estructuras de empaquetamiento compacto.

Modelo de Burbujas de Bragg

6. A un recipiente con agua agregar una cantidad suficiente de la solución espumante, conectar el capilar de vidrio mediante una manguera a la fuente de aire asegurando que al soplar en la solución, el flujo de aire sea suave y uniforme.

7. Cuando haya formado una capa de burbujas, notar como las burbujas tienden a arreglarse en forma regular. Ésto representa un cristal perfecto cuando todas las burbujas son del mismo tamaño y se acomodan en un patrón regular. En los cristales reales tal perfección existe en regiones pequeñas llamadas granos.

8. Al observar la película, se puede detectar la falta de alguna burbuja en el patrón de forma perfecta, tales defectos se denominan vacancias y son importantes en los procesos de difusión en cristales. Hacer vibrar el patrón, lo que corresponde a un aumento de temperatura. Se observará que las burbujas cercanas a las vacancias intercambiarán lugar. Esto corresponde a la difusión de las vacancias en los cristales reales.

9. Otro tipo de defecto que puede observar es la dislocación, este defecto consiste en una fila de burbujas que se extienden sólo parcialmente en una dirección de un arreglo que de otra forma sería perfecto. Buscar este defecto en el arreglo. En un cristal real, ésto corresponde a un semiplano extra de átomos, el modelo de burbujas sólo representa la orilla de tal plano extra, por ser un arreglo bidimensional.

10. Producir un patrón pequeño pero sin imperfecciones, sin vacancias ni dislocaciones. Ahora, con dos escuadras presionar el arreglo y observar los resultados, ésto es, simular una deformación. Repetir lo anterior con una arreglo que contenga imperfecciones. Las observaciones cuidadosas hechas durante estos experimentos deben ayudar a comprender las interacciones entre dislocaciones y otras imperfecciones, además se puede observar por qué las dislocaciones son las responsables de la deformación plástica de los cristales metálicos.

11. Se puede producir otro defecto, los "límites de grano". Para ello se deben formar grupos separados de burbujas, después se deben unir los grupos y que se toquen sin que las filas de un grupo entren en coincidencia completa con las de

otro grupo; esto es, se presentan dos granos con una orientación distinta. Los grupos de burbujas individuales corresponden a los granos en los metales reales y las fronteras son donde se encuentran los límites de grano reales. Para pequeñas desorientaciones la frontera es simplemente una fila de dislocaciones apiladas verticalmente. Cuando el grado de desorientación crece, el arreglo de burbujas en la frontera llega a mezclarse tanto que aparecen en general muchas vacancias. Y así, la frontera de grano puede proveer de una fuente o un sumidero de vacancias.

12. Como un último experimento presionar un arreglo de burbujas que contenga límites de grano y observar lo que ocurre, particularmente en los límites de grano.

CUESTIONARIO:

Empaquetamiento compacto:

1. Esquematizar, en un dibujo, las celdas unitarias y primitivas de las estructuras CCCa y HC, recordando que la celda unitaria es la celda que refleja la simetría externa del cristal, y la celda primitiva es la que contiene un átomo por celda.

2. Elaborar una tabla con los elementos de la tabla periódica que correspondan a estructuras CCCa y HC.

3. En la práctica se observó el empaquetamiento compacto. Hacer algunos cálculos y reportar:

    a) número de coordinación para los CCCa y HC
    b) número de átomos por celda para los CCCa y HC
    c) factor de empaquetamiento para los CCCa y HC

Modelo de Burbujas de Bragg

4. Informar de las observaciones, acompañadas de un esquema en cada caso, de las experiencias 7 a 12.

5. Buscar en la bibliografía cuál es la expresión termodinámica que indica la concentración en equilibrio de vacancias y explicar cada término de la fórmula.

6. En el modelo se visualizaron las llamadas dislocaciones de borde, ¿ por qué no se pueden visualizar las de tornillo ?

PRÁCTICA NO. 2

COMPARACIÓN ENTRE MATERIALES AMORFOS Y CRISTALINOS

OBJETIVO:

- Diferenciar las características y propiedades de los materiales amorfos y cristalinos por comparación

MATERIAL:

Recipiente de barro
Pinzas de crisol
Trípode para mechero
Recipiente con agua
Tubo de ensaye
Probeta de 10 ml
Vidrio de reloj
Mechero
Cono de papel
Vaso de precipitados de 1 litro
100 canicas del mismo tamaño
Varilla de vidrio
Bisulfuro de carbono
1 bolsa de polietileno
Cerillos
Pipeta de Pasteur
Porta Objetos
Balanza

INTRODUCCIÓN:

Las sustancias sólidas se clasifican con frecuencia en amorfas y cristalinas. ¿Qué diferencia existe entre un caso y otro? Un sólido cristalino es aquel en el que microscópicamente sus átomos, moléculas o iones guardan un orden repetitivo simétrico formando unidades geométricas estructurales y repetitivas como se vió en

la práctica 1. Los amorfos por otra parte, no muestran un agrupamiento de unidades estructurales en forma periódica y regular; se puede decir que en todos los átomos, iones o moléculas, se encuentran colocados "al azar".

¿Variarán las propiedades de estos materiales por el hecho de tener una configuración ordenada o desordenada según el caso? Desde luego que sí, se tienen por ejemplo que las sustancias cristalinas como el hielo, cloruro de sodio o hierro, solidifican a una temperatura constante y bien definida, mientras que los amorfos como el vidrio, asfalto o los polímeros lo hacen en un "intervalo" de temperaturas, notándose en el caso de dichos materiales un incremento notable en su viscosidad al disminuir la temperatura hasta que la viscosidad es la propia de un sólido. La temperatura a la que esto ocurre se le llama *Temperatura de transición vítrea*. En el caso de los materiales cristalinos, el líquido se transforma en sólido sin que aumente la viscosidad a la temperatura de solidificación. Otras propiedades se ven también afectadas son, por ejemplo: la resistividad eléctrica y térmica, que aumentan para los amorfos en relación a sus correspondientes cristalinos.

Un material cristalino puede transformarse en amorfo y viceversa mediante un cambio de presión y de la temperatura. Una sustancia amorfa puede adquirir características locales de cristalinidad como sucede en el vidrio, que puede cristalizar cuando permanece largo tiempo en reposo o por un calentamiento local.

También el hule natural al ser estirado muestra un comportamiento cristalino al ser analizado mediante rayos X. Pero, ¿ puede una sustancia cristalina acomodar sus átomos de distintas formas ? Sí, muchas sustancias tienen una única forma de ordenar sus átomos, pero una gran variedad de ellos presentan más de una forma, estos cambios ocurren normalmente por cambios en la temperatura y/o la presión.

La presencia de una sustancia en más de una forma estructural se conoce como polimorfismo, así el carbono existe bajo las formas de diamante y grafito, el carbonato de calcio como calcita y aragonita, mientras que el azufre se presenta en una amplia variedad de formas. El polimorfismo de elementos como el azufre se conoce como alotropía, esto significa que el cambio ocurre reversiblemente entre las distintas formas. Sin embargo, con frecuencia el cambio de una forma a otra no es reversible sino que procede en una sola dirección.

Como se vió en la práctica anterior, los átomos en los materiales cristalinos se ordenan geométricamente bajo diversas formas por ejemplo, HC, hexagonal compacta, CCCa, cúbica centrada en las caras, CCCu, cúbica centrada en el cuerpo, etc. llamadas celdas. También se calculó la fracción del empaquetamiento para algunas de ellas y se vió que son diferentes, lo cual implica que el espacio no ocupado por los átomos es mayor en unos casos que en otros. ¿ Podrá hacerse algún cálculo similar en el caso de los materiales amorfos ? Si, sin embargo como

en los materiales amorfos no existe una celda simétrica que se repita a lo largo del material, se puede considerar a la celda como aquella formada por todos los átomos del material en su conjunto de tal manera que con esa celda gigante y todos los átomos se puede calcular una fracción de empaquetamiento.

PROCEDIMIENTO:

Obtención del azufre rómbico

1. Colocar en un tubo de ensaye 0.5 gramos de azufre en polvo.

2. Agregar 4 ml de bisulfuro de carbono para disolver el azufre.

3. Disolver todo el azufre y tomar mediante una pipeta Pasteur un poco de esta solución para colocar una gota en un porta objetos para posteriormente observarla en el microscopio.

4. Vaciar sobre un vidrio de reloj y evaporar el bisulfuro, es muy importante mantener el vidrio de reloj lejos de la flama, ya que el bisulfuro es flamable, por lo que debe estar retirado del calor.

5. Cuando se haya evaporado todo el bisulfuro, observar los cristales de azufre rómbico en el vidrio de reloj y en el porta objetos.

Obtención de azufre monoclínico

1. Colocar en una vasija de barro 5 gramos de azufre en polvo y calentar hasta su fusión.

2. Dejar enfriar un poco y luego vaciar el líquido en un cono de papel, dejando que el líquido fluya sobre la pared interna de éste, hasta llegar al fondo. Dejar enfriar y después observar los cristales que se forman.

Obtención del azufre amorfo o *plástico*

1. Colocar en una vasija de barro 5 gramos de azufre en polvo y se calienta hasta fundirlo.

2. Continuar calentando hasta ebullición y en el momento en que aparezca una flama azul sobre toda la masa líquida vaciar inmediatamente el contenido de la vasija en un vaso de precipitados que contenga agua fría.

3. Cuando esté frío, observar las propiedades de: color, translucidez, elasticidad del azufre. Comparar con los casos anteriores.

Factor de empaquetamiento de materiales amorfos

1. Colocar 600 ml de agua en un vaso de precipitados.

2. Poner 100 canicas del mismo tamaño en una bolsa de polietileno y agruparlas lo más compacto posible en una de las esquinas de la bolsa.

3. Introducir la bolsa con canicas en el vaso con agua hasta haber cubierto toda la región que contienen las canicas sin sobrepasarla.

4. Tomar una lectura del nuevo volumen de agua contenido en el vaso y restar los 600 ml para obtener el volumen que desplaza la bolsa con las canicas.

5. La diferencia de volúmenes representa el volumen de la celda amorfa.

6. Sacar la bolsa con las canicas del agua e introducir en el vaso solamente las canicas sueltas.

7. Leer el nuevo volumen contenido en el vaso y calcular la fracción volumétrica.

Volumen de los átomos / volumen de la celda

Este factor de empaquetamiento de la celda amorfa, es considerando que los átomos son esferas duras como las canicas. Comparar el valor de este factor con los casos cristalinos para CCCa, CCCu, HC y CS.

Comportamiento de los amorfos con la temperatura

1. Tomar un tubo o varilla de vidrio y colocarlo en la flama del mechero.

2. Calentar el tubo horizontalmente en la región intermedia, girarlo para obtener un calentamiento uniforme.

3. Observar que el material sufre un ablandamiento, este comportamiento no sucede con los sólidos cristalinos. Recordar que el azufre pasó de sólido a líquido sin reblandecimiento gradual al calentarse.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué diferencias observó entre el azufre rómbico y el monoclínico ?

2. Al obtener azufre monoclínico se observan cristales alargados hacia el centro del vaso, ¿ a qué se deberá esto ?

3. ¿ Qué diferencias observa entre el azufre cristalino y el amorfo ?

4. ¿ A qué se debe que el azufre amorfo se pueda "estirar" tan fácilmente ?

5. ¿ Qué factor de empaquetamiento obtuvo para la celda amorfa ?

6. ¿ Cuál es el factor de empaquetamiento correspondiente a una celda CCCu ?

7. ¿ Con qué otro experimento se podría saber si el azufre obtenido es amorfo o cristalino, ya que el factor de empaquetamiento del amorfo y CCCu es muy similar y por lo tanto no los puede distinguir ?

PRÁCTICA NO. 3

ENSAYO DE TENSIÓN

OBJETIVOS:

- Realizar un ensayo de tensión para determinar los parámetros que caracterizan el comportamiento mecánico de los materiales
- Comprender el significado de los resultados obtenidos

MATERIAL:

Probetas para ensayo de tensión de los siguientes materiales:
- acero al carbono
- cobre
- latón
- aluminio

Papel para graficar
Vernier
Máquina Monsanto, con las mordazas para tensión

INTRODUCCIÓN:

El comportamiento de los materiales ingenieriles bajo tensión o compresión en un puente o en un edificio se pueden predecir si se han determinado las propiedades mecánicas de cada uno de los elementos que lo forman. Existen muchas formas de evaluar las propiedades mecánicas de los materiales: la dureza, ensayos de tensión, compresión, torsión, etc. De estos ensayos unos son más aplicados en la industria que otros. Desde otro punto de vista, un tipo de ensayo puede representar mejor que otro el comportamiento del material, según sea la forma en que el material se desempeña en la aplicación ingenieril de que se trate. En otros casos se prefiere un ensayo a otro por la forma de la probeta, ya que en algunos casos es más simple o más fácil de fabricar, en otros casos el equipo de medición es más sencillo de utilizar o es más barato.

En general, se espera que cualquier ensayo mecánico debe dar más o menos la misma información que los otros, es decir debe medir el comportamiento mecánico del material. En el caso de aplicaciones estructurales se prefiere el ensayo de tensión.

PROCEDIMIENTO:

Las medidas de las probetas para esta práctica se maquinaron de acuerdo a la norma E 8M - 86a de la ASTM, (American Society for Testing Materials) y la correspondiente norma mexicana, NMX - B - 172. En la figura 1 se muestran unas probetas típicas con sus medidas en mm.

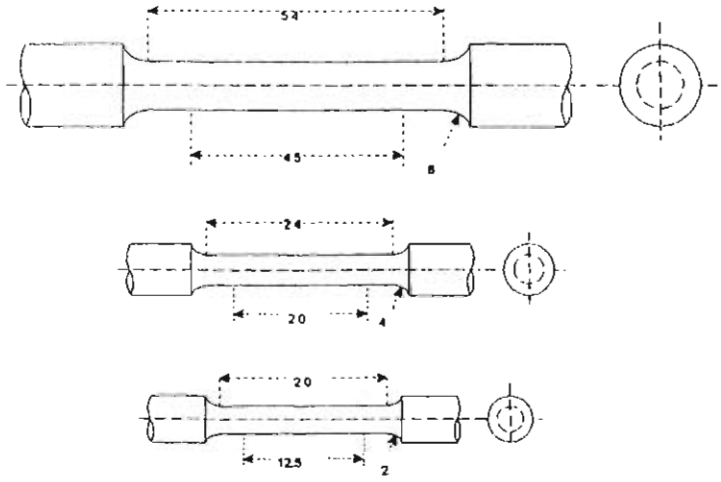


Figura 1. Unas probetas cilíndricas de tensión con sus dimensiones en milímetros.

1. Medir con el vernier el diámetro y la longitud total y la de calibración iniciales de cada una de las probetas.

2. Colocar la celda de carga adecuada en la máquina Monsanto y las mordazas convenientes. Ajustar los engranes del tambor registrador según sea la dimensión de la gráfica requerida, todo lo anterior con las indicaciones del Profesor del laboratorio.

3. Colocar el papel graficador en el tambor registrador, colocar la probeta y ajustar a cero el indicador de mercurio.

4. Aplicar con la manivela gradualmente la carga y registrar con un marcador en el papel la gráfica que se está generando hasta la fractura del metal, cuidando de no sobrepasar la carga que soporta la celda de carga como máximo.

5. Retirar la probeta fracturada y medir las dimensiones finales.

6. Repetir los pasos 2 al 5 para todas las probetas.

7. Informar para cada uno de los materiales ensayados, los resultados obtenidos para las constantes de la tabla siguiente:

   Límite de proporcionalidad

   Esfuerzo de cedencia o de fluencia

   Esfuerzo de cedencia convencional

   Esfuerzo máximo o Carga máxima

   Esfuerzo de fractura

   Módulo de elasticidad

   Módulo de resilencia

   Módulo de tenacidad

   Porcentaje de elongación y de reducción de área.

8. A partir de los datos obtenidos del ensayo calcular *el esfuerzo Ingenieril "σ"* mediante la fórmula:

$$\sigma = \frac{F}{A_o}$$

Donde *F* es la carga aplicada y se mide en Newtons, **N**, en el sistema científico o en kilogramos en el sistema ingenieril, kg y A_o es el área original de la sección transversal en metros cuadrados en el sistema científico o milímetros cuadrados en el ingenieril. De esta forma σ se mide en Pascales, **Pa**, en el sistema científico ó en kg / mm ^{2} en el ingenieril.

En la Tabla 1 se encuentran algunos valores del esfuerzo en diferentes unidades y algunas equivalencias entre los diferentes sistemas de medición.

Tabla 1. Unidades y factores para el esfuerzo

1 psi = 1 libra / pulg ^{2}
1 psi = 0.0006 895 M Pa
1 ksi = 1 000 psi
1 ksi = 6.893 M Pa
1 M Pa = Mega Pascal = 1 M N / m ^{2} = 1 N / mm ^{2}
1 M Pa = 0.145 ksi = 145 psi
1 G Pa = giga Pascal = 10 ^{9} Pascales

El *alargamiento* es el cambio en la longitud del material y se escribe como:

$$\textit{alargamiento} = \Delta (L) = L_f - L_o$$

La *deformación "e"* se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\textit{deformación} = e = \frac{L_f - L_o}{L_o}$$

Si L_o es la distancia de calibración, entre las marcas, o longitud inicial, antes de iniciar la prueba y L_f es la distancia de calibración después de aplicar la fuerza F.

9. Después se debe construir un gráfico colocando en las ordenadas el esfuerzo, σ, y en las abscisas la deformación, e, y así es como se obtiene una curva de esfuerzo en función de la deformación, como se muestra en la figura 2.

INTERPRETACIÓN DE LOS RESULTADOS:

El *límite proporcional* es el esfuerzo máximo en el cual el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales. Se puede decir también que incrementos iguales en el esfuerzo producen incrementos iguales en la deformación. El punto que corresponde al límite proporcional se determina en la gráfica esfuerzo - deformación trazando una línea tangente a la curva a partir del origen, y es el valor que se tiene cuando se presenta la primera desviación de la parte recta.

Éste valor es conocido también como el *límite elástico* y representa el esfuerzo máximo que puede soportar el material sin sufrir una deformación permanente.

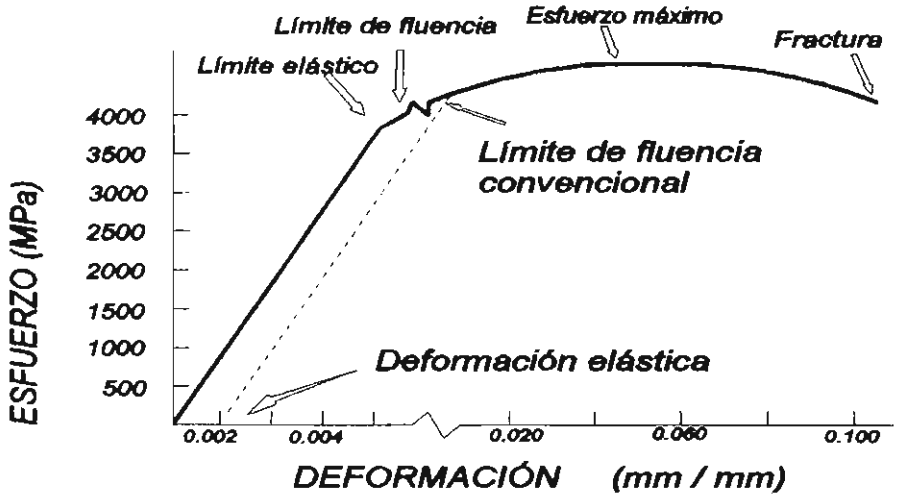


Figura 2. Curva típica del esfuerzo contra deformación que muestra algunos de los puntos importantes.

Esfuerzo de cedencia o fluencia. Es el esfuerzo que ya producirá una pequeña deformación permanente al aplicar un cierto esfuerzo dado. Éste punto está un poco más arriba en la curva, al lado del límite elástico o proporcional. Pero como en muchos materiales no es fácil determinar el límite elástico, entonces se recurre a identificar el *esfuerzo de cedencia o fluencia convencional.* Éste punto se define como el valor del esfuerzo que produce una deformación plástica del 0.2 %, o sea 0.002 mm / mm. Para determinar este esfuerzo convencional se localiza a partir del origen y sobre el eje "X", eje de la deformación, un valor de 0.002 ó sea el 0.2 %,

después, se traza una recta a partir de este punto paralela a la sección recta de la curva esfuerzo - deformación hasta intersectar la curva. Este valor del esfuerzo sobre la curva se conoce como el esfuerzo de cedencia o fluencia convencional, como se puede observar en la figura 2.

En algunos materiales como los aceros al carbono a veces se presentan dos puntos de cedencia o fluencia: el límite superior de fluencia y el límite inferior de fluencia como se muestra en la figura 3.

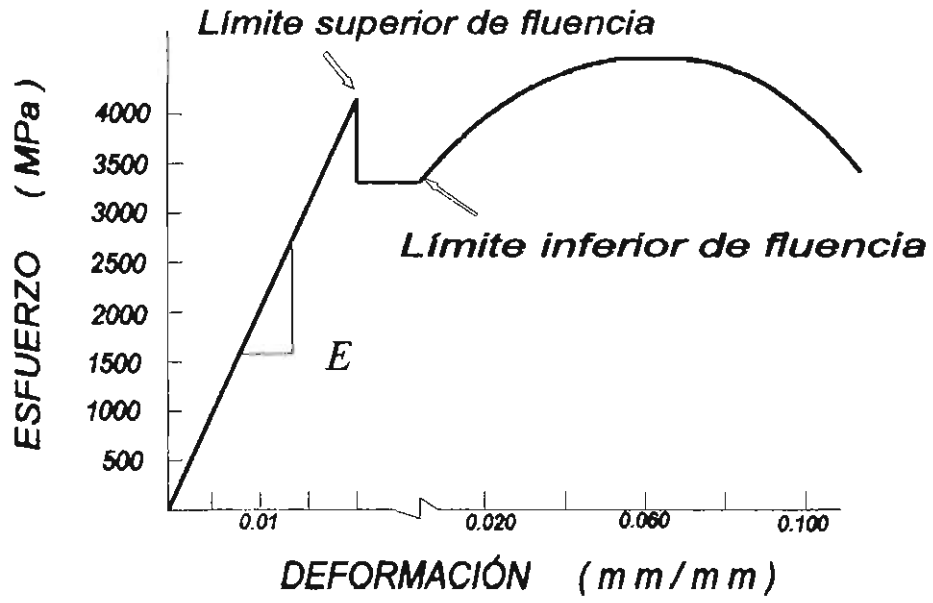


Figura 3. Puntos de fluencia superior e inferior en algunos tipos de aceros.

El *esfuerzo máximo* es por supuesto el valor máximo que se tiene del esfuerzo, en el caso de curva esfuerzo - deformación. Si la gráfica es sólo carga contra deformación, el valor máximo de la gráfica, por supuesto se llama *carga máxima* y es la máxima carga que puede soportar el material antes de fracturarse.

La *resistencia final o esfuerzo a la fractura* es el valor del esfuerzo que se tiene en el momento de la ruptura y en ese punto se alcanza la deformación máxima del material.

La *deformación en la ruptura* se informa casi siempre como porcentaje:

$$e = \%\ deformación = \frac{(L_f - L_o)\,100}{L_o}$$

donde: L_f = longitud final
L_o = longitud inicial ambas en mm

La *reducción del área* se expresa como porcentaje y se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\%\ reducción\ área = \frac{(A_o - A_f)\,100}{A_o}$$

donde: A_o = área inicial
A_f = área final ambas en mm^2

El *módulo de elasticidad* o *módulo de Young* es la constante de proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación en puntos que se encuentren hasta el límite proporcional o sea en la región elástica:

$$\sigma = E\ e$$

donde: σ = esfuerzo en M Pa
e = deformación sin unidades
E = módulo de elasticidad en M Pa

Se calcula midiendo la pendiente de la porción recta de la curva esfuerzo - deformación, como se ve en la figura 3.

La *tenacidad* de un material es la capacidad para absorber energía hasta el punto de ruptura y se determina midiendo el área, aproximadamente un trapecio, que queda bajo la curva de esfuerzo y deformación.

$$\text{Tenacidad} = U_T = (\sigma_o + \sigma_f)\ e_f\ 0.5$$

donde: σ_o = esfuerzo de fluencia
σ_f = esfuerzo en la fractura
e_f = deformación en la fractura.

El valor exacto se tendría si se calcula la integral debajo de la curva esfuerzo - deformación.

Las unidades de tenacidad se encuentran multiplicando el esfuerzo por la deformación, es decir: Pa por m / m y es lo mismo que N / m^2 por m / m, el resultado es N m / m^3 y esto es equivalente a Joules / m^3, que es, en otras palabras, la energía absorbida por unidad de volumen.

Resilencia es la capacidad de un material de absorber energía cuando se deforma elásticamente y de devolverla cuando se descarga. El módulo de resilencia es la energía de deformación por unidad de volumen que se requiere para deformar al material desde el estado inicial hasta el límite proporcional o esfuerzo de fluencia o cedencia, esto se puede representar como el área debajo de la curva esfuerzo - deformación que en principio se puede suponer un triángulo, entonces calculando el área del triángulo como:

(base X altura) / 2, se tiene que la resilencia U_r vale:

$$U_r = \frac{\sigma_o \quad e}{2}$$

pero como vale la ley de Hooke en esa zona, esto es $\sigma_o = E\,e$, se puede despejar $e = \sigma_o / E$ y si se sustituye arriba queda la resilencia como:

$$U_r = \frac{\sigma_o^{\,2}}{2 \quad E}$$

CUESTIONARIO:

1. ¿ Cómo se complementan al ensayo de tensión los ensayos de impacto y dureza ?

2. ¿ Cuáles son los parámetros que se pueden encontrar en la curva esfuerzo - deformación ?

3. Dibujar las curvas que muestren los módulos de resilencia y tenacidad.

PRÁCTICA NO. 4

DUREZA Y TAMAÑO DE GRANO

OBJETIVO:

- Determinar la relación entre la dureza y tamaño de grano del material

MATERIAL:

5 Muestras de cobre montadas en baquelita
5 Muestras de latón montadas en baquelita
Microscopio metalográfico
Fotografías del muestrario correspondiente al cobre y latón
Durómetro Rockwell
Durómetro Vickers

INTRODUCCIÓN:

Cuando un material es sometido a tensiones superiores a su límite elástico su estructura se deforma y se endurece y por lo tanto es menos dúctil. Si la deformación se lleva a cabo por debajo de la temperatura conocida como temperatura de recristalización se considera que el metal ha sido trabajado en frío. El trabajado en frío deforma y alarga los granos. A la temperatura de recristalización o arriba de ésta, la estructura adquiere suficiente energía para formar nuevos granos desprovistos de tensiones, los núcleos que dan origen a los nuevos granos se producen en los puntos donde se concentran altas tensiones en los granos. Los nuevos granos crecen hasta que se encuentran mutuamente. Muchas veces si los granos adyacentes tienen la misma orientación se pueden unir y se dice que hay coalescencia.

El número de granos formados depende de la cantidad de trabajo en frío aplicado, mientras mayor sea el porcentaje de deformación mayor será el número de granos después de la recristalización. Cada metal tiene una temperatura de recristalización, dependiendo de la cantidad de deformación que tenga.

Lo descrito anteriormente se conoce como proceso de recristalización estática y se puede concluir que el proceso consiste en tres etapas, que aparecen cuando se aumenta la temperatura o se alarga el tiempo de tratamiento térmico y éstas son:

1. *Recuperación o eliminación de tensiones.* Esta primer etapa se lleva a cabo al incrementar la temperatura y con ello crecen las energías de vibración de los átomos individuales, se producen movimientos atómicos. Algunos defectos puntuales desaparecen y las propiedades físicas como la resistividad eléctrica tienden a tomar valores típicos del metal no deformado, las dislocaciones se reordenan y las de signo opuesto comienzan a aniquilarse. En esta etapa no se modifica aparentemente la microestructura del metal, tampoco hay un efecto apreciable sobre la resistencia y la dureza del material.

2. *Recristalización.* Al elevar la temperatura o aumentar el tiempo de permanencia a esa temperatura comienza el proceso de recristalización. Se empiezan a formar cristales o granos nuevos no deformados que crecen desde un núcleo muy pequeño, normalmente en el límite del grano, hasta que llenan todo el material y éstos presentan una estructura de granos casi del mismo tamaño y de forma igual, a esta estructura se le dice de granos equiaxiales.

3. *Crecimiento de grano.* Si se incrementa más la temperatura, o el tiempo de tratamiento puede ocurrir el crecimiento del grano. El crecimiento de unos granos se hace a expensas de otros granos, que desaparecen, por un proceso de migración de los límites de grano.

La temperatura de recristalización de un metal puro se puede considerar en términos muy generales como aproximadamente un tercio o un medio de su punto de fusión, sin embargo, esta temperatura no es constante para todos los materiales, pues se ve afectada por la magnitud de la deformación plástica sufrida antes del calentamiento, la pureza del material y tamaño de grano inicial.

Todo material policristalino de grano fino, obtenido por un proceso de recristalización, sinterizado u otro proceso, aumentará el tamaño de grano cuando se le caliente a temperaturas elevadas o se aumenta el tiempo de tratamiento a una temperatura dada; la causa de este crecimiento es la reducción de la energía superficial que acompaña a la reducción del área de los límites de grano.

Una manera sencilla de relacionar la resistencia de un material con su microestructura, o de su tamaño de grano, es recurriendo al ensayo de dureza.

Mediante este ensayo se encuentra que la variación de la dureza de un material es inversamente proporcional al tamaño del grano. Se dice que mientras

menor es su tamaño del grano más resistente es el metal. La medición de dureza puede realizarse mediante alguna de las técnicas o ensayos que se mencionan a continuación.

La dureza de un material puede definirse como la resistencia que opone a ser rayado o penetrado y en términos muy generales a ser deformado.

Existen diferentes métodos para medir la dureza, una clasificación incluye: la dureza elástica, la resistencia al rayado, corte o abrasión y la resistencia a la penetración por un indentador.

Dureza elástica. Se utiliza un equipo llamado **Escleroscopio** que consiste de un dispositivo que mide la altura de rebote de un martillo después que cae por su propio peso desde una altura fija a una pieza a probar. El instrumento cuenta con un indicador que muestra el valor alcanzado en el rebote. En realidad esta dureza es una medida de la energía elástica absorbida en el rebote. Se utiliza mucho para evaluar la dureza de los concretos y cementos fraguados.

Resistencia al rayado, corte o abrasión. Esta es una prueba que se utiliza en mineralogía, fue establecida por el australiano Friedrich Mohs en 1824 y por lo tanto lleva su nombre: **Escala Mohs**. Consiste en asignar un número del 1 al 10 de acuerdo a una lista de minerales que van desde el más suave, el talco, 1, hasta el más duro, el diamante, 10. Por ejemplo: si un material raya al cuarzo, 7, pero no al corindón o alúmina cristalizada, 9, tiene por lo tanto la dureza del topacio, 8.

Resistencia a la indentación. En este caso se utilizan diferentes tipos de indentadores que con una carga, llamada de aplicación, se colocan sobre una superficie plana del material a probar. Posteriormente se mide el tamaño o la profundidad de la huella dejada por el indentador al quitar la carga. El valor de la dureza se calcula como el cociente entre la carga aplicada y una de las cantidades medidas.

Existen diferentes tipos de ensayos a base de la medición de la huella para la determinación de dureza de los metales. Los más comúnmente usados son los ensayos **Vickers** y **Rockwell**. La primera se considera como la dureza absoluta o científica y la segunda como la industrial. Esta última tiene muchas escalas dependiendo del tipo de indentador y de la carga aplicada. En la tabla 1 se muestran algunas de las escalas y tipos de indentadores para estas escalas, además se incluyen las características del método Brinell, que es otra escala utilizada comúnmente.

Ensayo de dureza. Para calcular la dureza se divide la carga empleada entre área que deja el indentador sobre el material al ser retirado, en el caso de la dureza *Vickers* la fórmula es:

$$NDV = \frac{1.72 \times P}{d_1^2}$$

Donde P es la carga aplicada en kg y d_1 es el promedio de las longitudes de las diagonales de la base de la pirámide cuadrangular que se forma con el indentador, en mm. En muchos casos se pueden encontrar tablas donde se busca el valor promedio y se lee el valor de la dureza directamente.

Si se desea determinar la dureza *Brinell* se utiliza una esfera de acero de 10 mm de diámetro, como indentador y una carga típica de 3 000 kg para materiales ferrosos y de 500 kg para materiales no ferrosos. La fórmula para calcular la dureza es:

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

Donde P = es la carga aplicada, D = es el diámetro de la esfera del indentador, y d = el diámetro de la huella dejada en el material.

En el caso de la dureza *Rockwell* el valor de la dureza se lee directamente en la escala correspondiente del indicador del durómetro. Este instrumento mide la dureza como diferencias en penetración entre lo que se llama una carga total o principal y una carga parcial o precarga. Se coloca la probeta en la platina. Se espera que sea lo más plana posible. Se coloca la precarga moviendo una manivela que nueve una manecilla pequeña. Posteriormente se suelta la palanca de la carga principal. Cuando se alcanza el reposo, unos 15 segundos, se quita la palanca de la carga principal y se hace la lectura de la dureza en la escala correspondiente. Finalmente se quita la precarga y se retira la probeta. Un esquema de este durómetro se presenta en la figura 1.

Medición del número del tamaño de grano. Para determinar el tamaño de grano se pueden utilizar cualquier método conocido: a) por comparación con el

ocular con la escala de la ASTM, b) por el cálculo mediante áreas definidas, c) por medio del número de granos sobre ciertas rectas escogidas, d) por comparación en patrones fotografiados, etc. La definición del Número del Tamaño de Grano que consiste en contar el número de granos en una área de 25.4 mm por 25.4 mm con un aumento de 100 veces, por medio de un microscopio se calcula utilizando la ecuación:

$$N = 2^{n-1}$$

donde N es el número de granos contados y n es, entonces el Número del Tamaño del Grano según la ASTM, American Society for Testing Materials.

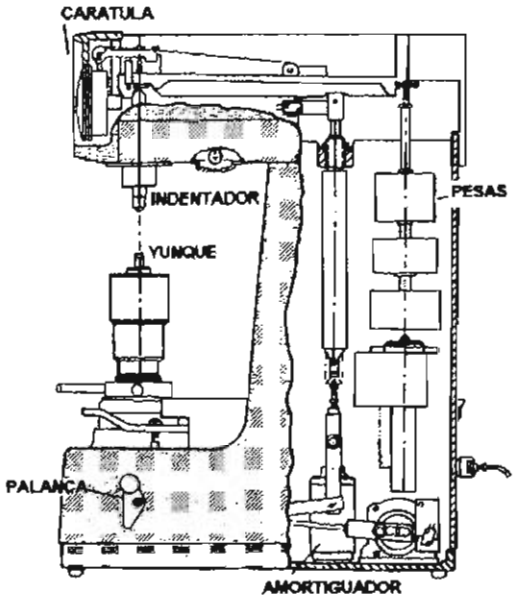


Figura 1. Durómetro tipo Rockwell, mostrando algunos de sus elementos.

Actualmente se ha modificado la norma para utilizar la versión en el sistema métrico y entonces el Número de Tamaño de Grano se calcula como:

$$G = -2.9542 + \ln(n_a)$$

donde ahora n_a es el número de granos contados en una superficie de 1 mm por 1 mm sin ningún aumento, esto en tamaño real y G es, por supuesto, el Número del Tamaño del Grano, según la norma ASTM - E112 de 1985.

Es claro que el Número del Tamaño de Grano se puede convertir por medio de cálculos en una área, suponiendo que son granos cuadrados, o en un diámetro, suponiendo que son granos circulares y todos son equiaxiales. Los valores se pueden encontrar también en tablas, como la que sigue:

Tabla 1. Número de Tamaño de Grano ASTM y tamaño de grano

No. ASTM	Granos /mm^2	Granos /mm^3	Diámetro mm
-1	3.9	6.1	0.510
0	7.8	17.3	0.360
1	15.5	49.0	0.250
2	31	138	0.180
3	62	391	0.125
4	124	1 105	0.090
5	248	3 126	0.065
6	496	8 842	0.045
7	992	25 010	0.032
8	1 980	70 700	0.022
9	3 970	200 00	0.016
10	7 940	566 000	0.011

Comparar los resultados obtenidos de dureza con los presentados en los muestrarios para el cobre y el latón.

PREPARACIÓN METALOGRÁFICA. Para poder medir el tamaño de grano con un microscopio es necesario preparar las muestras metalográficamente como sigue:

1. Dos juegos de cinco muestras uno de cobre y el otro de latón fueron montadas en resina para facilitar su manejo durante el pulido mecánico y el ataque químico. El pulido mecánico es con el objeto de obtener las superficies brillantes. Este se puede realizar con papel de carburo de silicio de diferentes tamaños granulométricos y posteriormente con un paño y alúmina.

2. Para comprobar que la superficie ha quedado perfectamente pulida se puede observar la probeta con el microscopio óptico, se debe ver brillante como un espejo y sin líneas.

3. El ataque químico se hace con el propósito de hacer visibles las fronteras de grano y de esta manera medir el tamaño de los granos. Los reactivos de ataque para revelar el límite de grano para el cobre y latón son:

Cloruro férrico, $Fe\,Cl_3$	5 g
Alcohol etílico, $CH_3 - CH_2OH$	95 ml
Ácido clorhídrico, H Cl	2 ml

4. Después de cada inmersión en esta mezcla, se debe poner inmediatamente la muestra al chorro de agua para interrumpir el ataque. Lavar posteriormente la muestra con alcohol y secarla con aire caliente. Verificar, por último en el microscopio si el ataque es adecuado, ésto es, que la probeta se ve claramente y en caso contrario continuar el ataque.

5. Graficar los valores de dureza y tamaño de grano para los dos materiales y en base a estas gráficas, dar las conclusiones.

PROCEDIMIENTO:

Medir la dureza Vickers o Rockwell en cada una de las probetas, al menos tres, normalmente se hacen 10, medidas para cada material, para obtener un promedio.

Determinar el Número del Tamaño de Grano y finalmente el tamaño de grano para cada muestra en alguno de los métodos recomendados.

Graficar la dureza contra el tamaño de gano para cada tipo de material y reportar los resultados correspondiente encontrados, buscar una función analítica que ajuste estos puntos experimentales.

CUESTIONARIO:

1. Explicar a qué se debe la dureza de los materiales de grano fino.

2. ¿ Por qué no es recomendable utilizar cargas elevadas para la medición de dureza de materiales blandos ?

3. De acuerdo con los valores obtenidos de dureza en esta práctica. ¿ Cómo se consideran los metales analizados, duros o blandos ? ¿ Por qué ?

4. ¿ Con qué propósito se tratan térmicamente las muestras en esta práctica ?

5. ¿ Por qué se utilizan diferentes condiciones de temperatura y tiempo ?

6. ¿ A qué se debe que los límites de grano se hagan visibles por el ataque con un reactivo químico ?

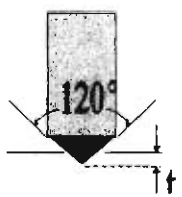
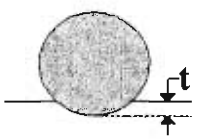
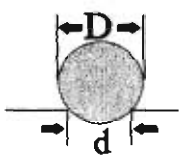
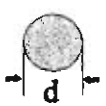
7. ¿ Por qué es necesario realizar el pulido de la superficie antes de efectuar el ataque ?

8. ¿ A qué se debe que los granos muestren distinta coloración al observarlos al microscopio ?

9. La relación entre la dureza y el Número del Tamaño de Grano encontrada para el cobre y el latón. ¿ Será válida para el acero ?

10. Citar 3 aplicaciones prácticas de las mediciones de dureza y la observación microscópica de la estructura metálica

TABLA 1

PRUEBA	IDENTADOR	FORMA DE LA INDENTACIÓN		CARGA	ECUACIÓN PARA EL NÚMERO DE DUREZA	ÚTIL PARA MATERIALES:
		VISTA LATERAL	VISTA SUPERIOR			
VICKERS	PIRÁMIDE DE DIAMANTE			P	$NDV = \frac{1.72\ P}{d_1^2}$	Partes cementadas delgadas de 0.12 a 0.25 m m Escala de uso CIENTÍFICO
ROCKWELL A D C F B G H E K	 CONO DE DIAMANTE ESFERA ACERO 1 / 16" DIÁMETRO ESFERA ACERO 1 / 8" DIÁMETRO	 		 60 kg 100 kg 150 kg 60 kg 100 kg 150 kg 60 kg 100 kg 150 kg		 ESCALA INDUSTRIAL Capes nitruradas o cementadas Materiales medios y duros Materiales gruesos y duros Cobre recocidos Cobres, aluminios y aceros Cobre al berilio, bronce Aleaciones de zinc y plomo Hierro fundido, aleaciones de Al y Mg, Bronces
BRINELL	ESFERA 10 m m ACERO O CARBURO DE TUNGSTENO			P	$NDB = \frac{2P}{\pi D\left(D - \sqrt{D^2 - d^2}\right)}$	ESCALA INDUSTRIAL P = 3000 kg Metales ferrosos P = 500 kg Metales no ferrosos

2892932

PRÁCTICA NO. 5

ACEROS AL CARBONO

OBJETIVO:

- Estudiar el efecto de diferentes contenidos de carbono sobre la microestructura y las propiedades de un acero enfriado lentamente

MATERIAL:

Muestras de acero al carbono con diferentes contenidos de carbono
Microscopio metalográfico
Muestrario metalográfico de aceros al carbono

INTRODUCCIÓN:

El acero al carbono es una aleación de tipo intersticial de carbono en el hierro, el contenido máximo de carbono es de 2 %. Los materiales con una composición mayor a este valor se conocen como fundiciones de hierro. En cuanto al contenido de carbono, los aceros se pueden clasificar en dos tipos, aceros hipoeutectoides con contenidos de carbono hasta de 0.8 % y aceros hipereutectoides de 0.8 % a 2 % de carbono. La figura 1 muestra el diagrama de equilibrio de fases de la aleación Fe - Fe_3C, esta última fase se conoce como carburo de hierro o cementita.

Se definirán los nombres de las microestructuras que se pueden encontrar en esta aleación y que se pueden observar en el diagrama de equilibrio.

Ferrita es el nombre dado a la solución sólida intersticial de una pequeña cantidad de carbono disuelta en hierro puro, α, con estructura cúbica centrada en el cuerpo. La máxima solubilidad es de 0.025 % de carbono a 723 °C y disuelve a 0.008 % de carbono a temperatura ambiente; es la estructura más suave que aparece en el diagrama.

La *cementita* o carburo de hierro, fórmula química Fe_3C, contiene 6.67 % de carbono en peso. Es un compuesto intersticial duro y frágil de baja resistencia tensil, pero de alta dureza. Es la microestructura más dura que aparece en el diagrama. Su estructura cristalina es ortorrómbica.

Perlita es una mezcla eutectoide que contiene 0.8 % de carbono y se forma desde 723 °C por un enfriamiento muy lento de la austenita. Es una mezcla muy fina, de placas alternadas de ferrita y cementita y su microestructura recuerda a una huella digital.

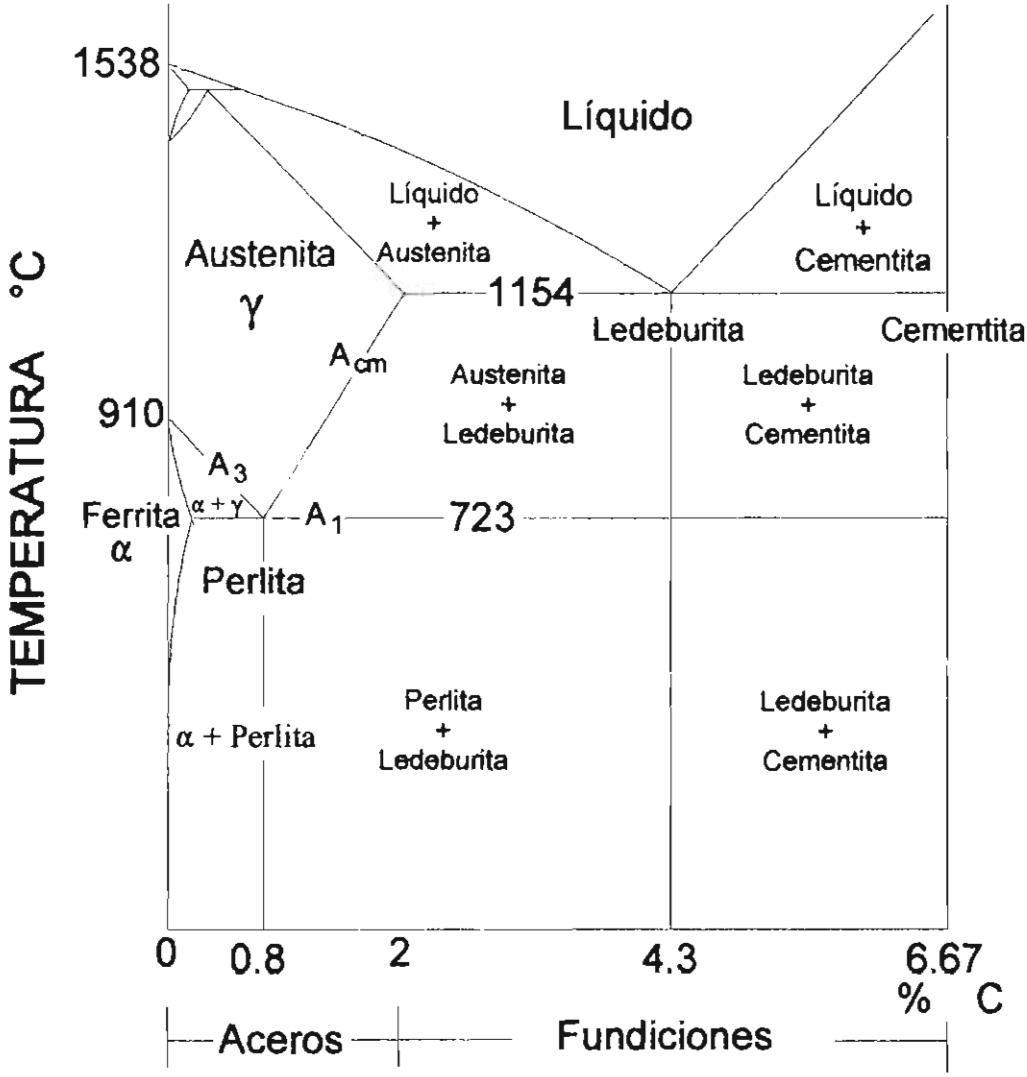


Figura 1. El diagrama hierro - cementita.

Austenita es el nombre dado a la solución sólida intersticial de carbono disuelto en hierro de estructura cúbica centrada en las caras. La máxima solubilidad del carbono a 1135 °C es de 2 %. Generalmente no es estable a la temperatura ambiente.

El objetivo de la práctica es el observar las diferentes microestructuras de los aceros que se obtienen cuando se modifican dos variables: el contenido de carbono y la velocidad de enfriamiento, que en este caso es siempre lenta.

La aleación, mostrada en la figura 2, es un acero hipoeutectoide que contiene 0.5 % de carbono. En la región austenítica, la aleación consta de una solución sólida intersticial uniforme, es decir que cada grano contiene 0.5 % de carbono disuelto en los espacios de la estructura reticular de hierro, microestructura a). Al enfriarse lentamente nada sucede hasta cruzar la línea GS. Esta línea se conoce como la línea de temperatura crítica superior del lado hipoeutectoide y se designa como A_3.

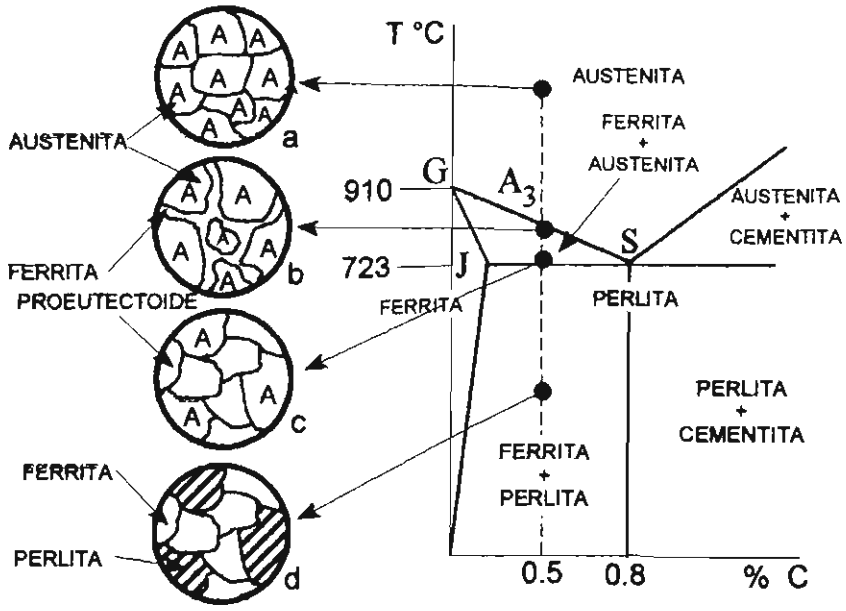


Figura 2. Microestructuras en el enfriamiento de un acero hipoeutectoide con 0.5% de carbono.

El cambio alotrópico de hierro cúbico centrado en las caras a cúbica centrada en el cuerpo tiene lugar a 910 °C al enfriar el hierro puro y disminuye la temperatura conforme aumenta el contenido de carbono, como lo muestra la línea A_3. Por lo tanto, al cruzar la linea A_3 la ferrita debe empezar a separarse de la solución en las fronteras de grano de la austenita, microestructura b) en la figura 2. Como la ferrita

puede disolver muy poco carbono, en aquellas áreas donde aparece la ferrita, el carbono debe salir de la solución antes que los átomos se rearreglen por si mismos a la estructura cúbica centrada en el cuerpo. El carbono que sale de la solución se disuelve en la austenita restante, conforme el enfriamiento avanza los granos de ferrita aumentan de tamaño, la austenita restante se hace más rica en carbono y se forma la estructura de la figura c).

Finalmente, al, enfriar se llega a la línea J S. Esta línea se conoce como línea de temperatura crítica inferior en el lado hipoeutectoide y se designa como A_1. La línea A_1 es la temperatura eutectoide y constituye la mínima temperatura a la que el hierro cúbico centrado en el cuerpo puede existir bajo condiciones de equilibrio. En este punto la austenita restante cambia a ferrita y como se mencionó anteriormente, la ferrita disuelve muy poco carbono, por lo tanto el cambio no se da hasta que el carbono en exceso salga de la solución. Por lo tanto los átomos de carbono forman con algo de hierro placas de cementita. En el área inmediata a la placa de cementita, el hierro se vacía de carbono y los átomos ahora se rearreglan por así mismos para formar ferrita. De cada lado de la placa de cementita se forman delgadas capas de ferrita. El proceso continua con la formación de capas alternadas de ferrita y cementita para dar la mezcla conocida como perlita. Como la ferrita y la perlita son estables a la temperatura ambiente, la microestructura se observa como la mostrada en la estructura d) de la figura 2.

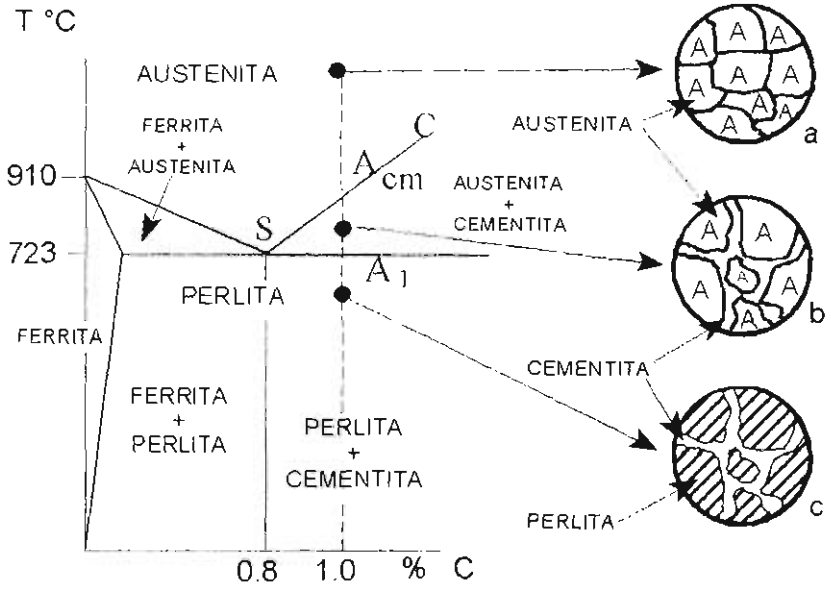


Figura 3. Un acero hipereutectoide con sus diferentes microestructuras en enfriamiento.

Los cambios descritos se dan para cualquier acero hipoeutectoide con la única diferencia de que las cantidades de ferrita y perlita presentes cambian. A mayor proximidad del contenido de carbono a la composición eutectoide, más perlita estará presente en la microestructura.

Por otro lado, la aleación en la figura 3 es un acero hipereutectoide que contiene 1 % de carbono. En el intervalo de austenita, esta aleación consta de una solución sólida cúbica centrada en el cuerpo uniforme, cada grano contiene 1 % de carbono disuelto intersticialmente. Al enfriarse lentamente, nada pasa hasta que la línea CS se cruza.

Esta línea se conoce como línea de temperatura crítica superior del lado hipereutectoide y se marca por A_{cm}. En la línea A_{cm} la austenita debe eliminar el carbono, conforme la temperatura disminuye. El exceso de carbono por encima de la cantidad requerida para saturar la austenita se precipita como cementita, principalmente a lo largo de las fronteras de grano, figura 3b). Por último se alcanza la línea de temperatura eutectoide y se llega a la linea A_1. Esta línea representa el principio y el fin del cambio alotrópico de austenita cúbica centrada en las caras a ferrita cúbica centrada en el cuerpo. Mediante el mismo procedimiento descrito en el caso anterior la austenita restante se transforma a la mezcla eutectoide, esto es en perlita y la microestructura resultante es la mostrada en la figura 3c).

Ahora se determinaran la composición química de las fases y las cantidades relativas de cada fase, para ello se utilizaran las reglas siguientes:

REGLA 1: *Composición química de la fases:* para determinar la composición química real de las fases de una aleación en equilibrio a cualquier temperatura específica en una región bifásica, se debe trazar una línea horizontal para la temperatura de interés, llamada línea vínculo o de unión, a las fronteras de la región de las fases presentes. Estos puntos de intersección se refieren con lineas verticales sobre el eje de "x" donde se leen los valores de la composición de cada una de las fases presentes en los extremos de la recta.

Como ejemplo se tiene en la figura 4, una aleación estudio formada por 80 % de A y 20 % de B y que se requiere conocer la composición química a la temperatura T. La aleación está en una región de dos fases, líquido + α. Aplicando la regla 1, se debe dibujar la línea vínculo a las fronteras de la región. El punto "f" es la intersección de la línea vínculo con la línea Solidus, cuando se relaciona con el eje "x" por una línea vertical se tiene la composición que existe en la frontera, en este caso es 10 % de B y 90 % de A. Así mismo, el punto "g", es la intercepción con la línea de Liquidus y cuando se relaciona con el eje "x" se tiene que la composición es de 26 % de B y 74 % de A.

REGLA 2: *Cantidades relativas de cada fase*, para determinar las cantidades relativas de las dos fases en equilibrio, a cualquier temperatura específica en una región bifásica, se debe trazar la línea vertical que representa la aleación y una línea horizontal, a los límites del campo. La línea vertical divide a la horizontal en dos partes cuyas longitudes son inversamente proporcionales a la cantidad de las fases presentes.

Esto quiere decir que el segmento "g h" es proporcional al contenido de fase α y el segmento "f g" es proporcional al contenido de la fase líquida, en la figura 4. Esta ley también se conoce como la regla de la palanca.

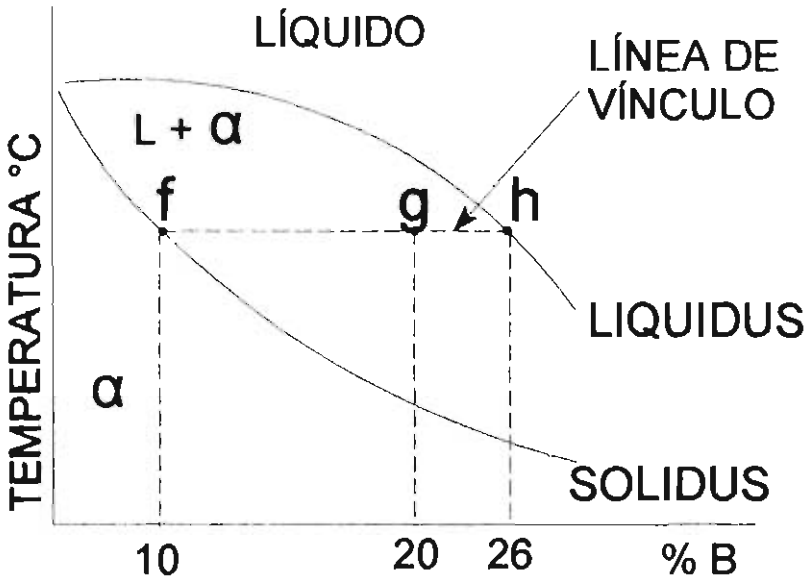


Figura 4. Regla de la palanca.

El punto donde línea vertical intersecta a la horizontal se considera como el fulcro o punto de apoyo de la palanca, en la figura 4 es el punto g.

En la figura 4, la línea vertical que representa la aleación en estudio, tiene una composición química del 20 % de B, y el resto de A, esto es 80 %. Esta recta divide la línea de vinculación "f - h" que representa el 100 % de las dos fases presentes a la temperatura T, un líquido y una fase sólida α, por lo tanto la regla de la palanca puede expresarse matemáticamente de acuerdo con la regla 2 como:

$$\% \alpha = \left(\frac{\overline{g\,h}}{\overline{f\,h}} \right) \cdot 100 \qquad \% L = \left(\frac{\overline{f\,g}}{\overline{f\,h}} \right) \cdot 100$$

Y si en lugar de utilizar segmentos se utilizan los valores de las composiciones en los extremos entonces se tiene:

$$\% \alpha = \left(\frac{h - g}{h - f} \right) \cdot 100 \qquad \% L = \left(\frac{g - f}{h - f} \right) \cdot 100$$

Si se toma como ejemplo la aleación mencionada arriba, para determinar las cantidades relativas de las fases: liquido, L, y solución sólida α, a la temperatura marcada se aplica la regla 2 como:

$$\% L = \frac{20 - 10}{26 - 10} \cdot 100 = 62.5\ \%$$

$$\% \alpha = \frac{26 - 20}{26 - 10} \cdot 100 = 37.5\ \%$$

Es claro que la suma de las dos fases debe dar 100 %.

PROCEDIMIENTO:

1. Colocar la muestra de acero en el microscopio y elegir el ocular correspondiente, 100 X ó 200 X.

2. Enfocar correctamente la imagen de la microestructura del acero en el microscopio.

3. Dibujar la microestructura de la muestra, en cada uno de los círculos.

4. Estimar en cada una de las muestras el porcentaje de perlita y los porcentajes de ferrita y cementita.

5. Con base a la composición de carbono que corresponde a cada muestra de acero, calcular con el diagrama de fases Fe-Fe_3C el porcentaje de perlita, los porcentajes de ferrita y cementita libres para cada muestra, así como la composición química de cada fase.

6. Tomando en consideración la tabla 1, enunciar cuáles son las propiedades aproximadas que tendría cada acero.

TABLA 1

PROPIEDADES MECÁNICAS DEL ACERO EN FUNCIÓN DEL CONTENIDO DE CARBONO Y DEL TRATAMIENTO TÉRMICO

% C	Rr	Ar	Rt	At	NDBr	NDBt	σ_r	σ_t
0.0	25	65	25	65	80	80		
0.1	30	45	43	12	100	140	32	25
0.2	45	32	90	6	130	350	20	13
0.3	35	26		4	160	500	14	17.5
0.4	62.5	24		2	190	575	12	4.0
0.5	70	22		1	220	650	11	2.5
0.6	75	21			250	700	10	2.0
0.7	80	20			280	725	9.5	2.0
0.8	83	18			300	740	9.0	2.0
0.9	86	17			290	700		
1.0	86	16			280	675		
1.1	85	15			275	640		
1.2	83	14			270	620		

Donde:

Rr = Resistencia a la tracción en estado recocido (kg / mm ^{2})
Rt = Resistencia a la tracción en estado templado (kg / mm ^{2})

% Ar = Porcentaje de alargamiento a la ruptura en estado de recocido
% At = Porcentaje de alargamiento a la ruptura en estado de temple

NDBr = Dureza Brinell en estado recocido
NDBt = Dureza Brinell en estado templado

σr = Tenacidad en el estado recocido (kg / mm ^{2})
σt = Tenacidad en el estado templado (kg / mm ^{2})

TABLA 2

Estructura	Propiedades Promedio	Resistencia tensil MPa	Elongación % en 50 cm	Dureza D RC
Ferrita	**Estructura Suave**	**275.8**	**40**	**90**
Austenita	**Tenaz**	**1034.2**	**10**	**40**
Cementita	**Dura frágil**	**34.4**	**--**	**--**
Perlita	**Alta resistencia a la compresión**	**827.4**	**20**	**20**

CUESTIONARIO:

1. ¿Cómo influye el contenido de carbono en los aceros al carbono, sobre las propiedades siguientes: resistencia a la tracción, tenacidad y dureza ? Consultar las tablas 1 y 2.

2. Comparar las propiedades de la perlita, ferrita y cementita, consultar la tabla 2.

3. Investigar el significado de las siglas: AISI, ASTM y SAE.

4. Investigue la clasificación de aceros de acuerdo a la norma AISI.

5. Enumerar algunas aplicaciones para aceros con bajo contenido de carbono, esto es un máximo de 0.3 %, aceros de medio carbono, entre 0.3 y 0.6 % y aceros con alto carbono, como mínimo de 0.6 % de carbono.

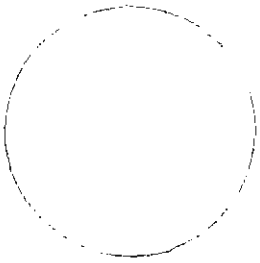
6. ¿ En qué radica la importancia de la regla de las fases ?

7. Indicar 3 aplicaciones importantes de los diagramas de fases.

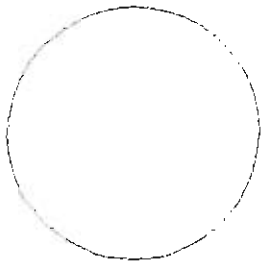
8. Definir:
   a) compuesto, b) mezcla, c) matriz, d) fase, e) dureza, f) fragilidad

9. Investigar cuales son las estructuras que se pueden obtener mediante los tratamientos termo-mecánicos de los aceros.

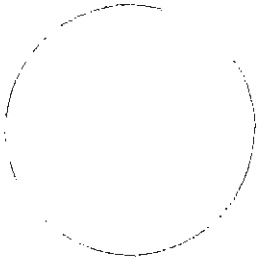
10. En el diagrama Fe - Fe_3C, dibujar la banda de temperatura indicada para cada uno de los tratamientos térmicos conocidos: temple, recocido, normalizado.



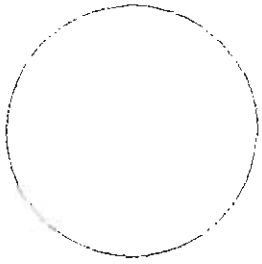
% C: _____
Descripción: _____
_____
% de fases: _____



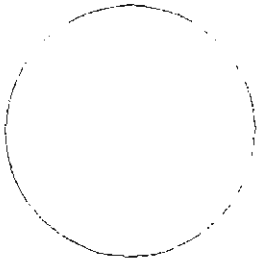
% C: _____
Descripción: _____
_____
% de fases: _____



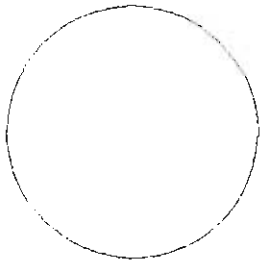
% C: _____
Descripción: _____
_____
% de fases: _____



% C: _____
Descripción: _____
_____
% de fases: _____



% C: _____
Descripción: _____
_____
% de fases: _____



% C: _____
Descripción: _____
_____
% de fases: _____

PRÁCTICA NO. 6

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

OBJETIVOS:

- Conocer los fundamentos de los tratamientos térmicos
- Cambiar las propiedades mecánicas de algunos aceros mediante los tratamientos térmicos
- Observar los colores del revenido

MATERIAL:

5 Agujas
Juego de pesas
Soporte universal
Mordaza
Nuez
Regla
Mechero Fisher
Micrómetro
Vaso de precipitados
Vernier
Lijas

INTRODUCCIÓN:

Para efectuar los tratamientos térmicos de un acero es importante tener en mente las líneas de las temperaturas críticas. En la figura 1 se ven estas líneas en la zona eutectoide. Las líneas A_3 corresponden a la líneas de transición entre la austenita y la ferrita. La líneas A_{cm} muestran la transición entre la austenita y la cementita y finalmente las lineas A_1 que corresponden a la transformación entre ferrita a perlita o de cementita a perlita. La línea que se encuentra a mayor temperatura de la de equilibrio, línea continua, representa la transición entre las

diferentes fases cuando el material se va a transformar por calentamiento y al nombre correspondiente se le agrega la terminación "c" por el término en francés "chauffage" que significa calentamiento, en este caso es la linea discontinua. Mientras que cuando el material se enfría, al nombre se le agrega la terminación "r" también del término en francés "refroidissement" y que significa enfriamiento, esta curva siempre se encuentra abajo de la curva de equilibrio. En la figura 1 se muestra como una línea punteada.

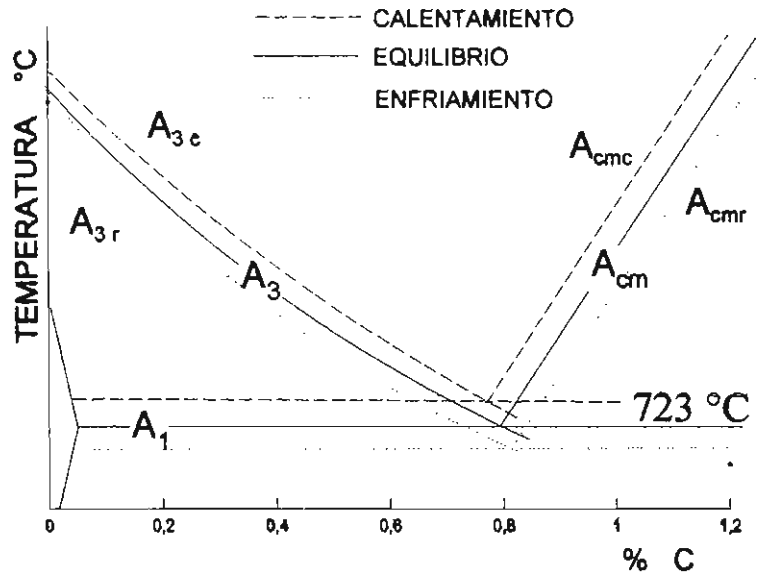


Figura 1. Parte del diagrama hierro - carbono que muestra las líneas críticas en la zona eutectoide.

El tratamiento térmico es un conjunto de operaciones de calentamiento y enfriamiento aplicados a un metal o aleación en estado sólido para producir ciertas propiedades en el material.

Los tratamientos térmicos de aceros, incluyen la transformación de la estructura austenítica en otras como ferrita, perlita, cementita, martensita, entre otras.

Los tratamientos térmicos más comunes son: recocido completo, normalizado, temple y revenido.

Generalmente el tratamiento térmico, TT, se inicia con una operación de calentamiento a una temperatura adecuada que permita obtener un 100 % de austenita, a este proceso se le conoce como austenitización, este calentamiento debe ser lento de manera que se puedan evitar los gradientes de temperatura que originan esfuerzos térmicos y distorsión del material. El paso posterior al calentamiento es diferente para cada tratamiento y depende de factores como:

a) Contenido de carbono

b) Tratamiento térmico

c) Estructura que se desea obtener

d) Propiedades mecánicas a obtener

RECOCIDO COMPLETO:

Los objetivos dependen del tipo de acero. Pero con el recocido se puede:

a) Disminuir la dureza del material

b) Eliminar deformaciones anteriores

c) Eliminar tensiones internas mecánicas y térmicas

d) Facilitar el maquinado del material

e) Obtener una estructura perlítica gruesa

PROCEDIMIENTO: Para llevar a cabo este tratamiento se eleva la temperatura del material por arriba de la línea crítica A_{3c} hasta homogeneizar la estructura austenítica, el tiempo de permanencia a esa temperatura dependerá del tipo de acero, así como dimensiones de la pieza y posteriormente se dejará enfriar en el horno lentamente hasta la temperatura ambiente.

2892932

NORMALIZADO:

Con este proceso se obtiene una estructura perlítica fina logrando que el acero tenga mayor dureza y resistencia mecánica que las obtenidas en un T T de recocido. También se tienen como otros objetivos:

a) Mejorar la maquinabilidad
b) Modificar y refinar las estructuras dendríticas de piezas fundidas.

PROCEDIMIENTO: Se eleva la temperatura del material a 55 °C arriba de la línea crítica superior A_{c3} ó A_{cm} y se deja a esta temperatura el tiempo necesario para que se realice una homogeneización austenítica y se deja enfriar al aire.

TEMPLE:

Aquí el objetivo de este tratamiento es obtener una estructura martensítica que confiera al acero la máxima dureza deseable.

PROCEDIMIENTO: El material se calienta a una temperatura de austenización y se enfría lo más rápido posible mediante un medio de temple que puede consistir en:

- Agua corriente

- Solución acuosa de cloruro de sodio al 10 %, salmuera

- Sales fundidas

- Soluciones acuosas de aceite sulfonado

- Aceite lubricante

REVENIDO:

Los objetivos que se esperan con este T T son:

a) Aumentar la ductilidad y tenacidad aunque este aumento cause una disminución de la dureza y de la resistencia

b) Eliminar las tensiones internas

PROCEDIMIENTO: Se calienta el acero que ha sido templado o normalizado a una temperatura más baja que la temperatura crítica inferior A_1 y se enfría lentamente para evitar la aparición de tensiones internas y las posibles deformaciones en las piezas.

Si las piezas revenidas han sido pulidas y su calentamiento se lleva a cabo al aire o en atmósferas oxidantes, se forma una película fina de óxido, que debido al fenómeno de interferencia con la luz reflejada en la superficie, se produce una coloración que va a depender del tipo de acero, del espesor de la pieza y de la temperatura a la cual se somete, por tal motivo se puede valorar aproximadamente la temperatura alcanzada por la pieza.

En la siguiente lista observamos los colores aproximados que se pueden obtener en el revenido de los aceros al carbono.

COLORES DEL REVENIDO

Temperatura °C	Aceros al carbono y de baja aleación
200	Amarillo pálido
220	Amarillo paja
230	Amarillo oro
240	Marón amarillento
250	Marón
260	Marón rojizo
270	Púrpura
280	Violeta
290	Azul obscuro
300	Azul
340	Gris azulado
360	Gris

ENSAYO MECÁNICO:

En esta práctica se efectúan los tratamientos térmicos en agujas planas metálicas y se miden las propiedades mecánicas en un ensayo de flexión.

El ensayo se puede hacer de forma muy aproximada flexionando las agujas entre los dedos. Pero para hacer la prueba más cuantitativa, se sujeta un extremo de la aguja a un soporte estable que la mantenga fija en posición horizontal y en el otro extremo se sujeta una pesa, midiendo la deflexión que se produce. La deflexión de la aguja puede leerse directamente si se coloca una escala o regla vertical haciendo que coincida el cero de la escala con la posición horizontal de la aguja, sin carga.

PROCEDIMIENTO:

1. Medir las dimensiones de las agujas a utilizar: longitud, espesor, ancho, con un micrómetro.

2. Colocar la aguja al soporte de manera que quede perpendicular al mismo o paralela al piso.

3. Sujetar una regla paralela al soporte que está utilizando o perpendicular a la aguja de forma que el cero de la escala coincida con la posición horizontal de la aguja.

4. Se colocan las diferentes cargas, elevar gradualmente el valor, en el extremo libre de la aguja.

5. Medir la deflexión elástica hasta que la aguja se fracture o se observe una deformación permanente.

6. Calcular lo siguiente: a) Tensión de fluencia, b) Módulo de Young.

RECOCIDO TOTAL:

7. Se calienta la aguja al rojo vivo en un mechero y se retira muy lentamente.

NORMALIZADO:

8. Se calienta la aguja al rojo vivo y se enfría al aire.

TEMPLADO:

9. Se calientan dos agujas al rojo vivo y se retiran lo más rápido posible y se introducen en un vaso que contenga agua.

REVENIDO:

10. De las dos agujas que han sido templadas se toma una y se limpia mediante una lija de esmeril número 600 hasta eliminar todo el óxido que éste en la superficie, después se calienta hasta que la punta que es la más delgada tome un color naranja o antes de ser posible para observar los colores de revenido y se deja enfriar al aire.

11. Anotar los colores que aparecieran en función del incremento de la temperatura.

12. Establecer las propiedades aproximadas de cada aguja después del tratamiento térmico, mediante una evaluación cualitativa que consiste en doblar las agujas con los dedos, observando lo que sucede, por otro lado, al rayar las agujas unas sobre las otros, o al probarlas en flexión. Se anota lo que ocurre en cada una de ellas en función de la dureza o de las propiedades que presentan.

13. Hacer una tabla y una gráfica de la carga contra la deflexión.

CUESTIONARIO:

1. ¿ Por qué se utilizan los tratamientos térmicos ?

2. ¿ Cuál es la propiedad que permite que los aceros sean adecuados para hacerles muchos tipos de tratamientos térmicos ?

3. ¿ Por qué el recocido total presenta la menor dureza ?

4. ¿ Por qué el templado presenta la mayor dureza y la mayor fragilidad ?

5. ¿ Cómo se forman los colores del revenido ? ¿ Dependen, los colores obtenidos, de la composición del acero utilizado ?

6. ¿ Se tendría el mismo resultado si en lugar de flexión se hiciera un ensayo de tensión ?

PRÁCTICA NO. 7

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD Y POROSIDAD EN MATERIALES REFRACTARIOS

OBJETIVOS:

- Determinar en un refractario las propiedades de:
  - Densidad volumétrica
  - % de porosidad aparente
  - Densidad real
  - % de porosidad real
  - % de porosidad cerrada

- Conocer la influencia de la porosidad en las propiedades de los refractarios

MATERIAL:

Muestras de cerámicos refractarios
Picnómetro
Balanza para medir densidades
2 vasos de precipitados de 300 ml
Paño de algodón
20 cm de hilo de cáñamo

INTRODUCCIÓN:

Los refractarios se pueden definir como aquellos materiales no metálicos que pueden soportar altas temperaturas sin fundirse ni disociarse. Entre las propiedades más importante se encuentran las siguientes:

a) Alto punto de fusión
b) Buena resistencia mecánica a alta temperatura
c) Soporta muy bien el choque térmico
d) Resiste a los metales y escorias fundidas
e) Resistencia a oxidarse o reducirse
f) Estabilidad durante su almacenamiento

Así que los refractarios, son los materiales más adecuados para la construcción de revestimientos de hornos, contenedores, así como de conductos y recintos donde circulen gases y líquidos con altas temperaturas. En general se espera que estos materiales deben pasar la prueba del cono pirométrico equivalente, CPE, del número 26, lo que significa que deben soportar una temperatura de más de 1600 °C.

Su característica principal es la de resistir sin descomponerse, ni cambiar de forma, en altas temperaturas y grandes flujos de calor, pero deben resistir además abrasión mecánica producida por el movimiento de los metales y escorias líquidas. Deben también soportar muy bien los cambios bruscos de temperatura.

Desde el punto de vista químico los refractarios son óxidos de metales. Se pueden clasificar en diferentes tipos según su composición química en: básicos, neutros o ácidos. Son ácidos si contienen grandes cantidades de sílice, óxido de silicio; los neutros contienen grandes cantidades de carburo de silicio o alúmina, Al_2O_3, mientras que los básicos están formados por óxido de calcio y óxido de magnesio.

En principio se deberían utilizar ladrillos básicos con escorias básicas, y así con los otros tipos, pero en la práctica esta regla no funciona, ya que se utilizan otros criterios como la eficiencia, limpieza, porosidad, etc.

Para producir los refractarios se parte de ciertos minerales, que después de ser extraídos de minas son recolectados, purificados, tostados y triturados. De esta forma se le eliminan algunos compuestos indeseables. Finalmente se realizan las operaciones de formado de ladrillos como son: extrusión, prensado. Posteriormente se realizan las operaciones de secado y de cocimiento. En esta etapa final se elimina casi toda el agua y los aglutinantes permiten que el ladrillo tenga una consistencia adecuada para su utilización industrial. Se pueden producir ladrillos por otros métodos como unión por reacción química.

Independientemente del proceso de fabricación de los ladrillos, siempre se presentará una cierta cantidad de porosidad, que determina en un buen grado sus propiedades. En general, un incremento en la cantidad de los poros, disminuye la resistencia mecánica y la resistencia al ataque químico aunque aumenta su capacidad como aislante térmico. Se pueden distinguir varios tipos de poros dependiendo de que estén o no interconectados entre si.

Porosidad: Se puede definir como la fracción del volumen no ocupado de un material. Así, se puede utilizar la fórmula:

$$\text{Porosidad} = 1 - \text{Factor de empaquetamiento}$$

Los huecos o poros en un material pueden tener varias formas y ser *abiertos* si están

conectado con el interior o *cerrados* si no lo están. De esta forma se puede definir la *Porosidad Aparente* como el cociente entre el volumen de poros abiertos entre el volumen total del refractario, mientras que se define *Porosidad Real* al cociente del volumen total de todos los poros abiertos y cerrados contra el volumen total de la muestra.

De esta definición es claro que la porosidad real puede ser mayor que la aparente, ya que se están tomando en cuenta todas las porosidades posibles, si no están interconectadas, entonces las dos porosidades serán iguales.

Otra medida de la porosidad es la *Densidad Volumétrica* por lo que en general, mientras más denso sea un ladrillo mejores propiedades mecánicas tendrá. Mientras menor sean sus porosidades menor será la cantidad de escoria que penetre dentro de él y menor el ataque químico que sufra el ladrillo.

PROCEDIMIENTO:

Determinación del % de porosidad. Durante el recocido se forma en el refractario una "piel" con propiedades diferentes al resto del material, por esta razón hay que removerla raspando el material. Para el desarrollo de esta práctica la muestra deberá tener un volumen tal que se pueda introducir en el vaso de precipitados sin ningún problema, por lo que se recomienda un volumen de 50 cm^3 aproximadamente, esto es un cubo de un poco menos de 4 centímetros por lado, además, debe estar libre de partículas y orillas flojas.

Antes de hacer la prueba deberá verificarse que la muestra refractaria este perfectamente seca, poniendola en una estufa a temperatura de 110 °C durante una hora.

Se pesa primero la muestra en el aire con precisión de 0.001 g. En seguida se sumerge la muestra refractaria en un vaso de precipitados con agua durante 15 minutos. Se coloca el vaso que contiene la muestra sumergida en agua en la balanza, de tal manera que la muestra pueda pesarse suspendida en agua y no apoyada en el fondo.

Se retira la muestra del agua y se elimina el exceso de agua con un paño de algodón ligeramente humedecido con agua o con ligero sacudimiento de la muestra refractaria. Se debe tener cuidado de no remover demasiado líquido ya que esto ocasionaría errores mayores que la remoción insuficiente de líquido. Se pesa entonces la muestra en el aire.

El método más exacto de hallar la densidad real es moler el refractario hasta que pase por la malla # 100, entonces se determina la densidad de la manera siguiente, con el picnómetro.

Determinación de la densidad real. Se pesa el picnómetro vacío, que previamente se ha puesto a peso constante y se nombra W_1, se pone dentro del picnómetro una muestra de

aproximadamente 5 g y se pesa con una precisión de 0.001 g, esto es W_2, inmediatamente se agregan unas gotas de agua para humedecer perfectamente el material, a continuación se agrega agua haciendola resbalar por las paredes del picnómetro hasta que sólo falte una décima parte del volumen total del picnómetro.

Se deja reposar durante 15 minutos. Si no se sigue esta metodología, se formará una nata de partículas que causará que los resultados sean inexactos.

Cuando han pasado los 15 minutos, se procede a llenar el picnómetro hasta el borde y se coloca la tapa cuidadosamente de manera uniforme. Se limpia el picnómetro y se pesa, este valor será W_3, después se tira el contenido del picnómetro, se llena de agua y se coloca la tapa, se limpia y se vuelve a pesar, este es W_4. Se considera que la densidad del agua es igual a 1 g / cm ^{3} a temperatura y presión ambiente.

Cálculos:

D = Peso del sólido seco

S = Peso del sólido suspendido en agua después de haber sido sumergido en agua

W = Peso del sólido suspendido después de haber eliminado la humedad de la superficie y suspendido en el aire

W - D = peso del agua que ha llenado todos los poros abiertos dentro del material, esto es, el volumen de los poros del material

W - S = Volumen del cuerpo

Densidad volumétrica. Es la densidad volumétrica o densidad total que incluye poros abiertos y poros cerrados y se calcula como:

$$B = \frac{D}{W - S} = \frac{D}{V}$$

La *Porosidad aparente: Se obtiene por la relación:*

$$P = \frac{W - D}{W - S} = \frac{(W - D)\ 100}{v}$$

Densidad real: Se conoce también como la densidad del sólido en estudio. Ésta se calcula como:

$$Sg = \frac{peso\ del\ polvo}{volumen\ del\ polvo} = \frac{W_2 - W_1}{(W_2 - W_1) - (W_3 - W_4)}$$

Porosidad real: P r, calculada en porciento, es entonces:

$$Pr = \frac{(Sg - B)\ 100}{Sg}$$

Finalmente la *Porosidad real cerrada* se obtiene como:

$$Prc = Pr - P$$

CUESTIONARIO:

1. ¿ Por qué es importante conocer la porosidad real y aparente de un material refractario ?

2. ¿ Por qué en la determinación de la densidad real no debe llenarse el picnómetro de agua antes de dejarlo reposar 15 minutos ?

3. ¿ Cómo debería variar la conductividad térmica con la porosidad ?

4. ¿ Por qué los cerámicos refractarios fundidos tiene una porosidad muy baja ?

5. ¿ Qué otra posible clasificación de los refractarios existe en la literatura ?

6. ¿ Qué tan exacto será el método empleado en esta práctica para la determinación de la densidad y porosidad ?

7. ¿ Es amorfo o cristalino un refractario ?

8. ¿ Qué otros métodos se podrán emplear para determinar la densidad y la porosidad del material ?

9. ¿ Qué otras propiedades será importante determinar en estos materiales ?

PRÁCTICA NO. 8

POLÍMEROS

OBJETIVO:

- Obtener dos tipos de polímeros en forma sencilla en el laboratorio
- Conocer las propiedades típicas de los polímeros que se fabriquen en la práctica

MATERIAL:

Balanza
4 tubos de ensaye
Gradilla para tubos de ensaye
2 pinzas para tubos de ensaye
Mechero
2 probetas de 5 ml
Recipiente con arena
Moldes de aluminio y plástico
Frascos de vidrio
Reactivos:
- Acetato de sodio
- Glicerol
- Anhídrido ftálico
- Etilenglicol

INTRODUCCIÓN:

En la naturaleza desde el punto de vista ingenieril se pueden clasificar a los materiales en sólo tres tipos: metales, cerámicos y polímeros.

Se define *Polímero* como un compuesto formado de muchas unidades, por sus raíces griegas *poli* muchos y *mero* unidad. En general se acepta que es un compuesto generalmente formado por cadenas de carbono con moléculas que se repiten muchas veces.

El *Grado de Polimerización* es el número de monómeros que forman el polímero y es evidente que es una propiedad muy importante que define el comportamiento del polímero. El *Peso Molecular* de un polímero se define como el grado de polimerización multiplicado por el peso atómico del monómero

De acuerdo con el tipo de monómero que forman un polímero, éstos se pueden clasificar en: *Homopolímeros* si todos los monómeros son iguales y *Copolímeros* si son diferentes.

Si se clasifican los polímeros por la reacción que se lleva a cabo para darles origen se pueden dividir en:

Polímeros por adición: La reacción de adición se presenta entre monómeros que tienen enlaces múltiples, generalmente dobles. Normalmente la reacción requiere de un iniciador, como los peróxidos orgánicos: peróxido de benzoilo o peróxido de acetilo.

Polímeros de condensación: Se forman por reacciones entre moléculas bi o polifuncionales con la eliminación de alguna molécula pequeña como: NH_3, H_2O, algún ácido o alcohol, etc, como un subproducto de la reacción. Esta es la diferencia fundamental entre los dos procesos.

Se pueden clasificar a los polímeros según su origen en: *Naturales* y de origen animal como la lana o la seda; de origen vegetal como el caucho, el algodón o la celulosa. y *Artificiales* por ser fabricados por el hombre, como es el caso de casi todos los demás polímeros.

Existe otra clasificación en este caso por su composición en: *Orgánicos* son los que contienen sólo átomos de carbono en la cadena principal y en *Inorgánicos* los que además del carbono, tienen átomos de silicio, boro, fósforo o azufre en la cadena.

Por la forma de las cadenas los polímeros se pueden clasificar en: *lineales, lineales con pocas ramificaciones y distantes y entrecruzados*.

En general, se llama materiales plásticos a aquellos polímeros que sufren un tipo de procesamiento.

Una clasificación que se puede hacer en los plásticos es de acuerdo a la respuesta que tienen ante la temperatura, en: *Termofijos*: son aquellos que una vez fraguados no pueden volverse a fundir, se les conoce también como Termofraguados o Termoestables; y en: *Termoplásticos*: estos se vuelven blandos cuando se exponen al calor y al enfriar se endurecen sin importar el número de veces que se repita el proceso, pero sin llegar a la temperatura de descomposición.

Actualmente existe una gran variedad de polímero cuyas características varían mucho, sin embargo se puede decir en forma general que los polímeros son: ligeros, su superficie resulta agradable al tacto, pueden adquirir casi cualquier color, son buenos aislantes eléctricos, algunos transparentes y presentan entre otras cualidades buena resistencia mecánica y química.

Los polímeros están ocupando el lugar de muchos materiales naturales como fibras textiles tales como nailon, rayón, poliéster, etc. en la industria del automóvil están sustituyendo muchas partes metálicas con mucho menor peso y precio. En las casas se sustituyen tuberías para agua o electricidad de metal por PVC, cloruro de polivinilo; los envases de cremas, refrescos, lociones son ahora de PET, tereftalato de polietileno o polietilenos de alta o baja densidad, en lugar de vidrio.

Multitud de aplicaciones utilizan diferentes tipos de polímeros: en las cubiertas y muebles de las computadoras, televisiones o aparatos domésticos, en plumas para escribir, cubiertos, cuerdas, vasos, cubierta de los conductores eléctricos, tapetes, cepillos, telas, bolsas de empaque, pañales, popotes, tapas, zapatos, adornos, etc, etc.

PROCEDIMIENTO:

Para la elaboración de un poliéster lineal:

1. Colocar en un tubo 2 g de anhídrido ftálico y 0.8 ml de etilenglicol más 0.1 g de acetato de sodio.

2. Calentar en un baño de arena hasta un poco antes de que aparezca la ebullición y seguir calentando por 5 minutos más. Observar la viscosidad y dejar enfriar.

Para la elaboración de un poliéster entrecruzado:

3. Colocar en un tubo de ensaye 2 g de anhídrido ftálico, 0.1 g de acetato de sodio y 0.8 ml de glicerol.

4. Mezclar con un agitador y calentar entre 150 y 180 °C en un baño de aceite o arena por unos 5 minutos. El contenido del tubo se vacía en un recipiente o molde de aluminio donde se pueda seguir calentando lentamente por más tiempo, unos 5 minutos, a unos 200 ó 250 °C, se deja reposar hasta que el polímero se endurezca. Observar los cambios de viscosidad y compararla con la anterior.

5. Lavar los tubos con acetona y agua.

COMPROBACIÓN:

Para verificar que los polímeros preparados en los puntos anteriores son lineales o entrecruzados se realiza el siguiente procedimiento:

Al calentar nuevamente el polímero lineal se debe ablandar y volverse líquido. Nuevamente se solidificará al enfriarse.

Mientras que si se calienta el polímero entrecruzado nunca se ablanda sólo se quemará si se continua el calentamiento.

CUESTIONARIO:

1. ¿ Cuáles son los posibles iniciadores de una reacción de polimerización por el proceso de adición ?

2. Dar un ejemplo de reacción de polimerización por adición y condensación.

3. Investigar la fórmula y aplicación de 3 homopolímeros y 3 copolímeros.

4. Mencionar la importancia de los polímeros naturales.

5. Explicar la importancia de los polímeros sintéticos.

6. ¿ Qué material se debería emplear para la conducción de las siguientes substancias en una tubería ? ¿ Por qué razón ?
   - vapor
   - ácido clorhídrico
   - hidróxido de sodio
   - aceite comestible.

7. ¿ Qué propiedades debería tener el recubrimiento de un conductor eléctrico ?

8. En la fabricación de un tapiz ¿ Qué tipo de vinil usaría ? ¿ Por qué ?

9. ¿ Sería factible obtener una fibra a partir de cualquier polímero ? Explicar con ejemplos.

10. ¿ Qué aplicaciones pueden tener los polímeros obtenidos en el laboratorio?

PRÁCTICA NO. 9

CRISTALIZACIÓN DEL ALUMBRE

OBJETIVO:

- Observar la cristalización
- Producir y crecer un monocristal de alumbre (sulfato doble de potasio y aluminio)
- Encontrar los factores que interviene en el crecimiento de los cristales

MATERIAL:

Dos vasos de precipitados de 300 cm^3 sin pico
Depósito de agua que pueda contener el vaso de precipitados
Mechero bunsen
Soporte con tela de alambre
Papel filtro
Hilo de algodón
Pinzas
Termómetro
Tapas de papel o cartoncillo para el vaso de precipitados
Probeta
Balanza
Parafina

INTRODUCCIÓN:

Un cristal es una porción de material con una cierta orientación. Desde el punto de vista atómico el arreglo es tal que todos los átomos ocupan las misma posiciones en la red a lo largo de todo el cristal. Se presenta un patrón que se repite en general en las tres direcciones rectangulares.

La mayoría de los sólidos no están formados de un sólo cristal, monocristal, sino de muchos cristales o cristalitos por lo que se dice que en general los materiales son policristales.

Es claro que los líquidos cuando se enfrían pasan al estado sólido y pueden

formar cristales o no. Si cristalizan es porque se están formando cristales, en caso contrario se dice que forman un sólido amorfo.

Se pueden formar sólidos cristalinos por diferentes métodos:

a) Por enfriamiento o evaporación y condensación de un líquido
b) Solidificación de un vapor
c) Solidificación de líquidos sobresaturados
d) Calor y o presión sobre mezclas de sólidos

En casi todo los métodos se necesita que se forme primero un pequeño cristal que normalmente se llama semilla o germen. A partir de ésta se inicia el crecimiento del cristal, en la mayoría de los casos se presentan varias semillas simultáneamente. Generalmente existen lugares especiales donde se produce la aparición de las semillas, son lugares donde existe algún pequeño defecto, como puede ser las pequeñas hebras de un hilo.

Calidad de un cristal. En general la calidad de un cristal se define en función de los defectos que tenga. Como en el caso de un diamante, un típico cristal transparente y casi siempre incoloro, aunque el tono más raro es el azul. El valor del diamante varía de acuerdo a su perfección, es decir a la ausencia de las impurezas internas microscópicas o macroscópicas, ya que las externas normalmente se eliminan por el pulido.

Formación de semillas. Se ha encontrado que las semillas de los cristales a partir de líquidos se forman con mayor facilidad cuando se utiliza una solución sobresaturada. En todo caso es necesario encontrar la razón óptima de crecimiento de semillas para una temperatura dada. Esto es medir el tiempo necesario para que aparezcan la primera semilla. El inverso de este tiempo es una medida de la probabilidad para la formación de una semilla. Es claro, que este número no sólo depende de la temperatura sino de la pureza de las sustancias químicas que interviene en el proceso.

Crecimiento de las semillas. Una vez que se forma una semilla, ésta puede crecer dependiendo de la saturación del líquido. La calidad del cristal es una relación complicada de la velocidad de crecimiento de la semilla. Así se pueden tener muchos defectos microscópicos como macroscópicos cuando se rebasa una velocidad de crecimiento crítica. Esta velocidad crítica es dependiente de muchas variables pero siempre decrece cuando las dimensiones del cristal crecen.

Generalidades del alumbre. El alumbre es un sulfato hidratado doble de aluminio y potasio, la fórmula química es: $K\ Al\ (S\ O_4)_2 \cdot 12\ H_2\ O$. Este cristal pertenece al sistema cúbico o al monoclínico, es incoloro, blanco, con un brillo

vítreo, con un peso especifico o densidad de 1.75 g / cm^3, un peso molecular 474.38 y una dureza de 2 a 2.5 en la escala de mohs. Su punto de fusión es de 92 °C. Este material se obtiene de la alunita o löwigita esto es: $K Al_3 (S O_4)_2 \cdot (OH_6)$ y se forma como una alteración de las rocas piríticas que contienen silicatos de potasio.

Las caras del cristal de alumbre presentan ocho triángulos, seis cuadrados y doce rectángulos alargados. Pero en un cristal en particular se pueden observar variaciones en el tamaño de las caras, de los vértices, etc. Estas diferencias se pueden deber a diferencias en las concentraciones en la solución o pequeñas impurezas. Si el cristal crece suficiente, entonces se pueden formar otras geometrías, así cuando las caras triangulares crecen y se eliminan las caras cuadradas, lo que se forma es un octaedro, que es una forma común de encontrar el alumbre, como el que se muestra en la figura 1.

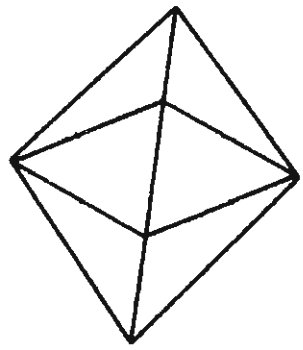


Figura 1. Forma típica de un cristal de alumbre: un tetraedro

Usos del alumbre. Se le utiliza como mordiente en la industria textil. Un mordiente es una substancia que ayuda y facilita que un colorante se pueda fijar en las fibras del algodón. También se utiliza como hemostático para detener el flujo de la sangre y para el curtido de pieles. También se utiliza para endurecer el yeso.

DESARROLLO EXPERIMENTAL:

1. *Preparación de la solución saturada*

Se limpian los vasos perfectamente y se añaden 40 gramos de alumbre en forma de polvo en un vaso con 200 ml de agua. Se prefiere utilizar alumbre de pureza química en lugar del alumbre industrial, pero este último es mucho más

barato. Se construye un calentador por baño maría y se lleva la solución a 50 °C calentando por medio el mechero o una parrilla eléctrica, se agita la solución hasta que el polvo desaparece, en unos 2 a 3 minutos. Esto muestra que se ha preparado una solución saturada, porque todo el polvo se ha disuelto en el agua.

Mientras está caliente la solución, se pasa a otro vaso, pero se filtra para eliminar las impurezas, si se utilizó alumbre industrial. Se tapa y se deja enfriar. Cuando ya esté fría la solución se destapa se agrega un poco más de polvo de alumbre, de preferencia de pureza química, se agita hasta que se disuelva, se tapa y se deja enfriar por uno o dos días en un lugar seco.

Al final de este tiempo, se deben observar unos cristales en el fondo del vaso y un líquido más claro en la parte superior del vaso. Con cuidado, se vierte el líquido más claro en otro vaso y se evita se vayan los cristalitos o semillas que se han formado. Finalmente se tapa y se guarda.

La solución que tienen los cristalitos se coloca en un frasco pequeño y se deja destapado un día más para esperar que las semillas crezcan un poco más. De ahí, se escoge la semilla más grande y con la mejor forma, con unas pinzas.

2. *Montaje de las semillas*

La mejor semilla se fija a un hilo de algodón, de unos 15 centímetros por medio de un nudo, un poco de pegamento o un poco de parafina. Todo el hilo se debe cubrir con parafina para que no se depositen ahí nuevas semillas.

3. *Preparación de la solución sobresaturada*

En el vaso que contiene la solución saturada se añaden 8 gramos más de alumbre en polvo, si la temperatura fuera 25 °C, un poco menos si la temperatura es menor o un poco mas si es mayor.

Nuevamente se pone el vaso en el baño maría se calienta lentamente y se agita la solución hasta que se disuelve el polvo. Sacar el vaso del baño maría, tapar y dejar que se enfríe la solución que ahora ya es sobresaturada. La solución es sobresaturada porque ya no puede disolver más polvo.

4. *Siembra de la semilla*

En la tapa del vaso de la solución sobresaturada se perfora un pequeño orificio para pasar el hilo con la semilla. Se fija el hilo de tal forma que la semilla quede en la parte media del líquido, ya sea con un adhesivo o con parafina. Como

se observa en la figura 2. Se calienta el vaso con la semilla y con su tapa unos 3 a 5 grados de la temperatura ambiente para que crezca el cristal. Al inicio la semilla puede disolverse un poco.

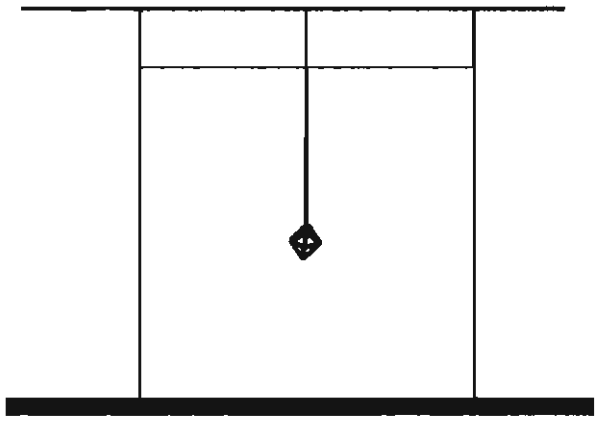


Figura 2. Posición de la semilla para que crezca el cristal

Dejar enfriar el vaso en un lugar fresco y seco sin que sea movido o tocado. Se espera que en un día el cristal crecerá hasta un centímetro.

En algunos casos el crecimiento es mejor si la tapa del vaso es de papel secante o filtro, lo que permite aumentar la evaporación del agua de la solución sobresaturada.

Si se quiere un cristal más grande aún, se repite el proceso, es decir se vuelve a sobresaturar la solución con otros 8 gramos de alumbre. Se calienta un poco, se disuelve el alumbre y se deja enfriar, con el cristal adentro.

Una vez que el cristal ya no crece más, se saca de la solución, se seca con un papel filtro húmedo. Se evita tocarlo más de lo necesario y se guarda envuelto en un papel suave en un tubo o frasco con tapa para que no se empolve.

5. *Gráfica del proceso*

Se tiene la solubilidad en el eje *y*, y la temperatura en el eje *x*. La solubilidad es la cantidad de alumbre que se puede disolver en 100 ml de agua. Es claro que, a medida que la temperatura aumenta, se incrementa solubilidad, esto es, la cantidad de alumbre que se puede disolver en el agua. Por eso es que se

incrementa un poco la temperatura de la solución y se añade más alumbre y con ello se forma un solución sobresaturada a la temperatura ambiente, cuando se deja que ésta se enfríe.

Ahora, si se tiene una semilla en la solución sobresaturada, ésta debe tender a eliminar la sobresaturación haciendo crecer el cristal. Cuando la solución pierde su sobresaturación se terminará la "fuerza" que produce el crecimiento del cristal. En este caso, el recorrido, en la gráfica de la figura 3, es a partir de C, una solución saturada. Al aumentar la temperatura se llega al punto D. Ahí se puede añadir más alumbre y se llega hasta el punto E. Si ahora, se enfría el líquido hasta la temperatura ambiente y entonces se llega hasta el punto SS. Este punto representa la solución sobresaturada. Ahora, si se tiene una semilla en el seno del líquido, ésta crecerá lentamente, ya que se está depositando alumbre en la semilla y se está disminuyendo el alumbre en la solución. De esta forma disminuye la concentración de alumbre en la solución, bajando la solubilidad, esto es, tratando de llegar nuevamente al punto C, donde la solución ya no está sobresaturada y se para el crecimiento del cristal.

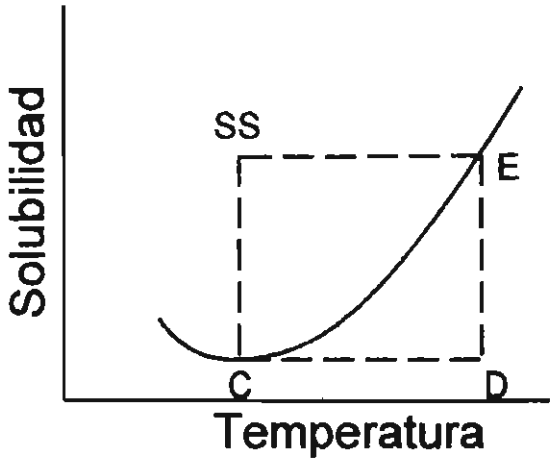


Figura 3. Gráfica de la solubilidad contra la temperatura del proceso

CUESTIONARIO:

1. ¿ Qué diferencia existe entre una solución saturada y una sobre saturada ?

2. ¿ Qué variables determina la velocidad de crecimiento en los cristales ?

3. ¿ Cómo se podrían obtener cristales más grandes ?

4. ¿ Se puede considera que el cristal que se ha obtenido en esta práctica es de buena calidad ? Justificar su respuesta.

5. ¿ Qué puede ocurrir cuando el cristal crecido se deja a la intemperie ?

6. ¿ Qué es una dislocación ?

7. ¿ Qué es un plano de clivaje ?

8. ¿ Qué ocurriría si las condiciones de enfriamiento de la solución sobresaturada fueran:

   a) enfriar lentamente en un horno ?

   b) enfriar rápidamente en hielo ?

9. ¿ Cómo se puede guardar la semilla para preservarla de una gran humedad o una excesiva sequedad?

10. ¿ Cómo se podría mejorar este experimento ?

11. ¿ Esta experiencia de crecimiento del alumbre se puede extrapolar a otros materiales ?

PRÁCTICA NO. 10

IDENTIFICACIÓN RÁPIDA DE METALES

OBJETIVOS:

- Identificación de: bismuto, cobre, hierro, plomo, níquel y estaño
- Conocer la técnica electrográfica

MATERIAL:

Alambre de platino de 5 centímetros
Batería o eliminador de 8 -12 voltios
Alambres eléctricos
Muestras de metales puros y aleaciones conocidas
Muestras de aleaciones desconocidas
Goteros
Soluciones electrolito, E, y revelador, R, para los diferentes metales en 10 ml de agua para:

Bi - E: 10 % nitrato de sodio
R: 10 % tiourrea
Cu - E: 10 % nitrato de amonio
R: 0.1 % dietil - ditio - carbonato de sodio
Fe - E: 5 % cloruro de amonio
R: ferricianuro de potasio
Pb - E: 10 % nitrato de sodio
R: 10 % ioduro de potasio
Ni - E: 5 % fluoruro de sodio
R: Dimetil glioxima en alcohol
Sn - E: 5 % cloruro de amonio
R: saturada de hidróxido de nitrobruciquinona

INTRODUCCIÓN:

El ensayo electrográfico es uno de los métodos más rápidos y eficientes para determinar la composición de los metales y aleaciones. En principio se hace una pila

electroquímica. El ánodo es la muestra a investigar, el cátodo es un alambre de platino, un material inerte y una gota de un electrolito adecuado, como se muestra en la figura 1.

El proceso químico se puede dividir en dos partes: en la primera parte el metal entra en la solución electrolítica según la reacción:

$$M \Rightarrow M^{n+}$$

donde M es el metal y n es la valencia. En principio el electrolito no juega un papel importante en la disolución, pero proporciona la trayectoria conductora y los iones para balancear a los producidos por el metal. Este electrolito es en general una sal de metal alcalino cuyo anión no precipitará al metal buscado o interferirá en el proceso de identificación.

En ciertos casos se prefiere utilizar como electrolito una sal que forme un complejo con todos los metales presentes excepto por el de interés, evitando así una interferencia en la reacción de identificación.

En la segunda parte lo que se hace es una reacción de identificación agregando un reactivo que forme una solución coloreada o un precipitado con el metal de interés.

Para escoger estos reactivos se espera que sean muy:

1) Sensibles: que con muy poco metal presente se realice la reacción

2) Selectivos: sólo debe reaccionar con el material indicado

3) Efectivos: que siempre ocurra la misma reacción

El procedimiento normal es agregar primero el electrolito y luego el revelador, pero en otros primero se coloca el revelador y luego el electrolito. Es necesario verificar en cada caso, cuál es el mejor procedimiento.

PROCEDIMIENTO:

Es necesario que el metal que se va a identificar esté perfectamente limpio. Libre de pintura, grasa óxido, etc. Por lo tanto, se debe preparar la superficie utilizando: lijas, alcohol, agua y al final secarlo completamente. El metal base se conecta al polo positivo de la pila o del eliminador, se coloca una gota del electrolito y el alambre de platino conectado al cable se conecta al polo negativo de la pila o del eliminador, se introduce en la gota sin tocar el metal base, como se observa en la figura 1. Se mantiene así por 10 segundos y se agrega la solución reveladora y se observa el color o la reacción que se produce.

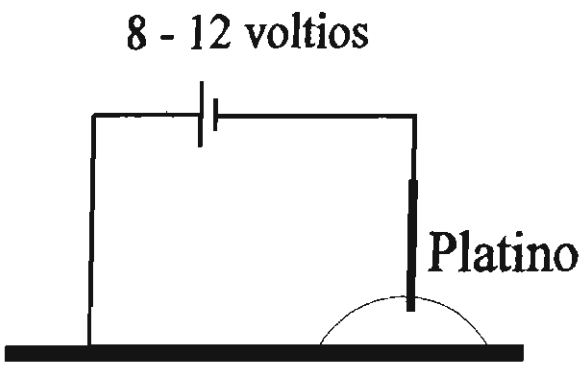


Figura 1. Diagrama de la conexión eléctrica para la identificación del metal base con una gota de electrolito

Se debe iniciar la práctica realizando el procedimiento de identificación con metales puros y conocidos. Se deben anotar los colores y los tipos de reacciones observadas. Posteriormente se prueba con aleaciones conocidas, anotando los colores y las diferencias en las reacciones obtenidas. Finalmente se deben reportar los resultados encontrados en las aleaciones desconocidas, anotando los posibles elementos identificados y las razones que lo justifican.

Es muy importante tener una estrategia adecuada. En algunos caso la cantidad del metal presente puede dar resultados negativos por lo que se requieren patrones conocidos para determinar los límites mínimos de detección. En otros casos es posible que los diferentes metales puedan interferir, ocultando el resultado. Por ello se deben hacer varias pruebas para tener una buena experiencia. En cada caso se deberán reportar las estrategias encontradas.

CUESTIONARIO:

1. ¿ Se tienen los mismos resultados con la pila o con el eliminador ?

2. ¿ Qué sucede si se toca con el alambre de platino el metal base ?

3. ¿ Por qué deben ser líquidos los electrolitos y los reveladores ?

4. ¿ Qué sucede si el metal base no está limpio o si no está bien seco ?

5. ¿ Cuál es el efecto de aumentar o disminuir el voltaje de la pila o eliminador ?

6. ¿ Se puede utilizar coriente alterna en lugar de la batería o el eliminador ?

7. ¿ Proponer un electrolito o un revelador para oro o plata ?

BIBLIOGRAFÍA

1. Sydney H. Avner
   INTRODUCCIÓN A LA METALURGIA FÍSICA
   Mc Graw-Hill, México, 1985, Segunda edición
   Prácticas: P1, P4, P5, P6, P9

2. Donald R. Askeland
   LA CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS MATERIALES
   Editorial Iberoamérica, México, 1987
   Prácticas: P1, P3, P4, P5, P7, P8

3. Robert M. Breck
   STRUCTURE AND PROPERTIES OF ENGINEERING MATERIALS
   McGraw-Hill, 1977
   Prácticas: P1, P2, P7

4. William G. Moffatt, George W. Pearsall y John Wuff
   ESTRUCTURA, Vol. I
   Colección "Introducción a la Ciencia de Materiales", Limusa, México, 1982,
   Segunda edición
   Práctica: P1

5. William G. Moffatt, George W. Pearsall y John Wuff
   PROPIEDADES MECÁNICAS, Vol. III
   Colección "Introducción a la Ciencia de Materiales", Limusa, México, 1982,
   Segunda edición
   Prácticas: P2, P3

6. Robert E. Red-Hill
   PRINCIPIOS DE METALURGIA FÍSICA
   Compañía editorial Continental, México, 1972
   Prácticas: P1, P4, P5

7. James F. Shackelford
   CIENCIA DE MATERIALES PARA INGENIEROS
   Prentice Hall Hispanoamericana, México, 1995
   Prácticas: P6, P7

8. William F. Smith
FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES
McGraw - Hill, 1993, Segunda edición
Prácticas: P1, P5, P7, P8, P9

9. Lanwrence H. Van Vlack
MATERIALES PARA INGENIERÍA
Compañía Editorial Continental, México, 1985
Prácticas: P1, P7, P8

10. John D. Verhoeven
FUNDAMENTOS DE METALURGIA FÍSICA
Limusa, México, 1987
Prácticas: P1, P2, P5

11. Charles A. Wert y Robb M. Thomson
FíSICA DE LOS SÓLIDOS
McGraw-Hill, México, 1977
Prácticas: P1

12. Zbigniew D. Jastrzebski
NATURALEZA Y PROPIEDADES DE LOS MATERIALES PARA INGENIERÍA
Interamericana, México, 1979, Segunda edición
Prácticas: P3, P7, P8

13. Scaffer S. P., Saxena A., Antolovich S. D., Sanders Y. H. Jr., Warner S. B.
CIENCIA Y DISEÑO DE INGENIERÍA DE LOS MATERIALES
Compañía Editorial Continental, México, 2000
Prácticas: P1, P2, P3. P4

14. Mangonon P. L.
THE PRINCIPLES OF MATERIALS SELECTION FOR INGINEERING DESIGN
Prentice Hall, New York, 1999
Prácticas: P6, P7, P8

15. G. Van Praagh
OBTENCIÓN DE CRISTALES
Reverte, España,1971
Prácticas: P 9

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 1 A

EMPAQUETAMIENTO COMPACTO Y MODELO DE BURBUJAS DE BRAGG

1. ¿ Cuál es la diferencia entre un sólido cristalino y un sólido no cristalino ?

2. ¿ Qué tipo de enlace tienen los elementos que tienen estructuras densamente empaquetadas ?

3. ¿Cuántos átomos hay en la celda unitaria cúbica centrada en el cuerpo y cuántos en la cúbica centrada en las caras y en la hexagonal ?

4. ¿ Qué es un punto de la red ?

5. Definir que es un plano compacto y dibujarlo

6. ¿ Qué diferencia hay entre una celda primitiva y una celda unitaria ? Hacer el dibujo de cada una de ellas

7. ¿ Qué es el número de coordinación y cuál es el que corresponde al de la sal de roca o sal común, Na Cl ?

8. ¿Qué es una dislocación? y ¿Qué es el vector de Burgers?

9. ¿ Cuáles son las imperfecciones puntuales ? Dibujar cada una de ellas.

10. Definir parámetro de red.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 1 B

EMPAQUETAMIENTO COMPACTO Y MODELO DE BURBUJAS DE BRAGG

1. Definir las uniones interatómicas direccionales y las no direccionales. Dar ejemplos.
2. ¿ Cómo se puede definir un plano atómico ?
3. Demostrar que la relación de empaquetamiento compacto en el sistema ccca es de 0.74
4. Definir que es una red y una base desde el punto de vista cristalográfico.
5. ¿ Cuál es la diferencia entre una celda primitiva y una unitaria ? Dibujarlas.
6. Definir que es un cristal
7. Definir qué es un cristal iónico
8. ¿ Qué es un cristal molecular ?
9. ¿ Cuáles son las imperfecciones puntuales ?
10. ¿ Cuáles son las imperfecciones lineales ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 2 A

COMPARACIÓN ENTRE MATERIALES AMORFOS Y CRISTALINOS

1. ¿ Cómo se puede diferenciar un sólido cristalino de un sólido amorfo ?

2. ¿ En qué consiste la temperatura de transición vitrea ? Dibujar las curvas de volumen específico contra la temperatura

3. ¿ Qué es la viscosidad y cuáles son sus unidades ?

4. Investigar cuál sería la viscosidad del vidrio de silicato sosa-cal del punto de reblandecimiento

5. ¿ Qué aplicaciones tienen los vidrios de borosilicato ?

6. ¿ Qué aplicaciones tiene el azufre ?

7. Investigar cuantas formas alotrópicas tiene el azufre

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 2 B

COMPARACIÓN ENTRE MATERIALES AMORFOS Y CRISTALINOS

1. Defina el significado de plano compacto.
2. ¿ Qué es un vector de translación ?
3. Describir la lista de la secuencia de los planos compactos de una estructura ccca y hc.
4. ¿ Cuál es el significado de la temperatura de transición vítrea ?
5. ¿ Qué es la viscosidad y en que unidades se mide ?
6. ¿ Qué característica favorece el plomo en los vidrios ?
7. ¿ Cuál es el significado de polimorfismo ?
8. ¿ Qué se entiende por alotropía ?
9. Determine los factores de empaquetamiento de las estructuras cccu y hc.
10. Mencionar las diferentes formas alotrópicas del azufre.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 3 A

PROPIEDADES MECÁNICAS

1. Describir el ensayo de tensión uniaxial.

2. Anotar cómo calcular el área de una barra cilíndrica y de una barra cuadrada, (barra es una pieza sólida)

3. ¿ Cómo se calcula el esfuerzo ingenieril en una prueba de tensión ?

4. ¿ Cómo se calcula la deformación ingenieril ?

5. Dibujar una curva esfuerzo - deformación para un material dúctil y una para un material frágil en ensayos de tensión y compresión.

6. Sobre una curva de esfuerzo - deformación en tensión, señalar donde está el límite proporcional, límite elástico, punto de cedencia o fluencia, esfuerzo de fluencia máxima y el esfuerzo de fractura.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 3 B

PROPIEDADES MECÁNICAS

1. Dibujar una curva de esfuerzo contra la deformación para un material dúctil y para un material frágil.

2. Describa el ensayo de tensión uniaxial.

3. Definir:

   - Módulo de young

   - Límite elástico

   - Esfuerzo de fractura

   - Esfuerzo máximo

   - Deformación máxima

4. ¿ Qué es el módulo de resilencia y cómo se calcula ?

5. ¿ Qué es el módulo de tenacidad y cómo se calcula ?

6. Definir que es esfuerzo y deformación ingenieril y real.

7. Dibujar las curvas típicas de la pregunta 6.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 4 A

DUREZA Y TAMAÑO DE GRANO

1. ¿ Qué métodos hay para medir dureza?
2. ¿ Cuáles son los métodos que miden la resistencia de los materiales a la penetración ?
3. ¿ Qué precauciones deben tomarse para medir la dureza ?
4. ¿ Qué es un grano en los metales ?
5. ¿ Cuál es la diferencia entre la cristalización y la recristalización ?
6. ¿ Dónde hay más energía en el centro de los granos o en los límites de los granos?
7. Describa las etapas principales de la recristalización.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 4 B

DUREZA Y TAMAÑO DE GRANO

1. ¿ Por qué son mas duros los materiales cristalinos con grano más pequeño ?
2. ¿ Qué diferencia estructural existe entre los límites de grano y el interior de los mismos?
3. ¿ Por qué los reactivos atacan preferencialmente a los límites de grano?
4. ¿ Por qué con enfriamientos más rápidos desde la fase líquida se obtienen granos más pequeños?
5. ¿ Explicar lo que es la recristalización ?
6. ¿ En qué consiste el proceso de recristalización ?
7. ¿ El tamaño de grano afecta las propiedades de los materiales ? Explicar
8. ¿ Cuántos métodos existen para medir la dureza ?
9. ¿ Cuántas escalas de dureza existen para metales ?
10. ¿ Investigar en que consiste la técnica de observación metalográfica ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 5 A

ACEROS AL CARBONO

1. ¿ Por qué el hierro es un material alotrópico ?

2. Definir qué es una solución sólida.

3. ¿ Qué es un carburo ?

4. Mencionar las características de una reacción eutéctica y escribir y describir una reacción eutectoide.

5. Describir las siguientes estructuras:
   a) ferrita
   b) cementita
   c) perlita
   d) austenita
   e) ledeburita

6. Esquematizar y explicar el diagrama de equilibrio hierro - carbono

7. Definir que es una isoterma.

8. ¿ Qué es un acero ? Mencionar sus principales propiedades.

9. Describir a los aceros hipoeutectoides e hipereutectoides.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 5 B

ACEROS AL CARBONO

1. Mencione los estados alotrópicos del hierro y los intervalos de temperatura donde son estables.

2. Definir qué es una solución sólida total o completa.

3. Definir la diferencia entre grafito y carbono.

4. Mencionar las características de una reacción eutectoide y escribir la ecuación correspondiente..

5. Dibujar un diagrama temperatura y composición de los aceros.

6. Describir los aceros hipoeutectoides e hipereutectoides. En especial, la forma como se producen los cambios de su estructura en el enfriamiento.

7. ¿ Para qué se utiliza la regla de las fases ?

8. ¿Cuál es la diferencia entre ledeburita y perlita ?

9. ¿ Qué representan las líneas de líquidus y solidus ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 6 A

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

1. Explicar qué es un tratamiento térmico.

2. Definir:

   a) recocido total b) normalizado c) temple d) revenido.

3. Decir qué es una transformación isotérmica y anisotérmica.

4. Explicar qué es una transformación de fase.

5. ¿ Cómo se realiza un tratamiento termoquímico de cementación y nitruración ?

6. En el diagrama Fe - Fe_3C, dibujar la banda de temperaturas indicadas para cada uno de los tratamientos térmicos: temple, recocido y normalizado.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 6 B

TRATAMIENTOS TÉRMICOS

1. ¿ En qué materiales es más interesante el tratamiento térmico ?
2. ¿ Qué son los colores del revenido.
3. ¿ Cuándo se aplica el revenido ?
4. ¿ Qué es una transformación atérmica ?
5. ¿ Qué es una fase y un cambio de fase ?
6. ¿Qué son los tratamientos termo - mecánicos ?
7. ¿ En qué consisten los tratamientos termo - químicos ?
8. Mencione diferentes tipos de fluidos de temple.
9. ¿ Cuál es la diferencia entre recocido total y normalizado ?
10. ¿ Por qué se hacen ensayos de dureza en los materiales tratados térmicamente ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 7 A

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD Y POROSIDAD EN MATERIALES REFRACTARIOS

1. Definir un material refractario.
2. Enunciar las principales propiedades mecánicas, físicas y químicas de un material refractario.
3. Dar una clasificación de materiales refractarios por su composición.
4. ¿ Qué es una arcilla ?
5. ¿ Cómo influye la porosidad de un refractario en sus propiedades mecánicas ?
6. Mencionar tipos de industrias que utilizan cerámicos.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 7 B

DETERMINACIÓN DE DENSIDAD Y POROSIDAD EN MATERIALES REFRACTARIOS

1. Mencionar las principales propiedades que caracterizan a los refractarios.
2. ¿ Qué es una arcilla ?
3. ¿ A que se debe la plasticidad de una arcilla ?
4. ¿ Qué es la porosidad ?
5. ¿ Cómo influye la porosidad de un refractario en sus propiedades mecánicas ?
6. ¿ Qué es la refractibilidad ?
7. ¿ Qué es un picnómetro ?
8. Escriba una clasificación de los refractarios en función de su composición química.
9. ¿ Qué industrias utilizan los refractarios ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 8 A

POLÍMEROS

1. Por qué se utiliza el carbono y no el silicio en la obtención de polímeros.
2. Definir: polímero, monómero, copolímero e isómero.
3. Explicar qué es la temperatura de transición vítrea.
4. ¿ Qué es un grupo funcional ?
5. ¿ Qué es un plastificante ?
6. Definir que es un polímero termoplástico y uno termofijo.
7. Escribir las clasificaciones de los polímeros según su origen y estructura
8. Mencionar cinco tipos de polímeros y sus aplicaciones.
9. ¿ Los metales pueden ser sustituidos por los polímeros ? ¿ Por qué ?
10. Escribir las fórmulas desarrolladas de los isómeros de polipropileno: atáctico, isotáctico y sindiotáctico.

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 8 B

POLÍMEROS

1. ¿ De que tamaño es la cadena que forman la mayoría de los polímeros ?
2. Definir como son los isómeros: isotáctico y atáctico.
3. ¿ Qué es un monómero ?
4. ¿ Qué ocurre en al temperatura de transición vítrea ?
5. ¿ Qué cosas se le pueden añadir a los polímeros para modificar sus propiedades ?
6. ¿ Los polímeros de uso común de qué son ? Anotar los números y las iniciales típicas que se encuentran.
7. Escribir una lista de polímeros clasificados por su origen.
8. ¿ Qué se entiende por grado de polimerización ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 9 A

CRISTALIZACIÓN DEL ALUMBRE

1. Definir qué es un cristal y un amorfo.
2. ¿ En qué consiste la cristalización ?
3. ¿ Cuál es el tema y el objeto que estudia la cristalografía ?
4. ¿ Cuál es la diferencia entre solución y una suspensión ?
5. ¿ De qué depende la calidad de los granos crecidos ?
6. ¿ Para qué se utiliza la temperatura en esta práctica ?
7. ¿ Por qué es necesario dejar crecer el cristal sin que exista movimiento ?
8. ¿ Cuál será la variable que limita el crecimiento del cristal ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 9 B

CRISTALIZACIÓN DEL ALUMBRE

1. ¿ Qué es un monocristal ?
2. ¿ Qué es una solución saturada y una sobresaturada ?
3. ¿ Qué es una semilla ?
4. Describa los posibles métodos para crecer cristales
5. ¿ Por qué es necesaria la sobresaturación ?
6. ¿ Qué es el alumbre ?
7. ¿ Que variables se utilizan en esta práctica para modificar el crecimiento de los cristales ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 10 A

IDENTIFICACIÓN RÁPIDA DE METALES

1. ¿ Cómo es la técnica electrográfica ?
2. ¿ De que metal son los electrodos del circuito?
3. ¿ De cuántos voltios es la fuente y que tipo de corriente se utiliza ?
4. ¿ Cómo se llaman las soluciones que se utilizan ?
5. ¿ Por qué se utiliza un electrodo de platino ?
6. ¿ Cuál es el orden que se debe seguir en el procedimiento ?

GUÍA PARA LA PRÁCTICA NO. 10 B

IDENTIFICACIÓN RÁPIDA DE METALES

1. ¿ Cómo se forma la pila electroquímica ?
2. ¿ Cuál es el papel del electrolito ?
3. ¿ Qué características deben llenar los reactivos químicos ?
4. ¿ Por qué deben estar muy limpios los materiales a analizar ?
5. ¿Cuánto electrolito se necesita para la reacción ?
6. En general, ¿ qué tipo de sustancia es el electrolito ?

Prácticas para el laboratorio
de introducción a los materiales
Se terminó de imprimir en el mes de octubre del año 2008 en los talleres de la Sección de Impresión y Reproducción de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco
La edición estuvo a cargo de la Sección de Producción y Distribución Editoriales
Se imprimieron 400 ejemplares más sobrantes para reposición.

UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

COSEI COORDINACIÓN DE SERVICIOS DE INFORMACIÓN

Formato de Papeleta de Vencimiento

El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha señalada en el sello mas reciente

Código de barras. 2892932

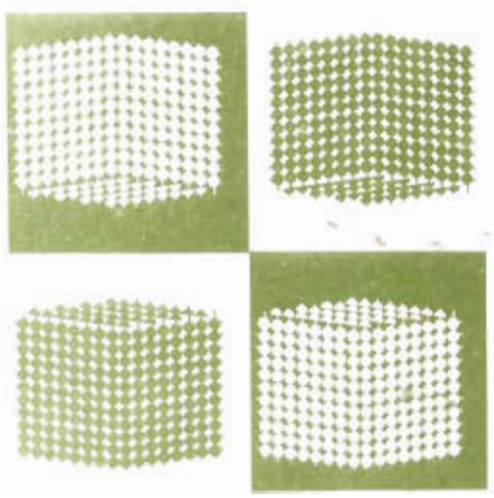
FECHA DE DEVOLUCION

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.

- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro

2892932

UAM 2892932
TA404.3 Franco Velazquez, Francis
F7.26 Practicas para el laborat
2001



PRACTICAS P/EL LAB.DE INT.A LOS MATERIALES
FRANCO /DE ITA DE LA * SECCION DE IMPRESION
24888
R. 40 $ 21.00
40 ANTOLOGIAS CBI * 01-CBI

ISBN: 970-654-898-x
978-97065-48986

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA METROPOLITANA
Casa abierta al tiempo Azcapotzalco

División de Ciencias Básicas e Ingeniería
Departamento de Materiales

Coordinación de Extensión Universitaria
Sección de Producción y Distribución Editoriales