

**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA  
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Departamento de Materiales y  
Manufactura**



## **Manual de Prácticas**

**LABORATORIO DE CIENCIA DE MATERIALES**

**Ingeniería Mecánica**

COLABORADORES EN LA REALIZACIÓN DE PRÁCTICAS:

ING. ISRAEL GARDUÑO GARCÍA

ING. ADOLFO ALTAMIRANO MEZA

M. EN A. VÍCTOR M. VÁZQUEZ HUAROTA

ING. FRANCISCO SÁNCHEZ PÉREZ

ING. MARTÍN REYES FARÍAS

ING. ALEJANDRA GARZA VÁZQUEZ

COORDINADORES:

DR. JOSÉ JAVIER CERVANTES CABELLO

ING. ARMANDO SÁNCHEZ GUZMÁN

ABRIL2013



## **PARTICIPANTES DE LA EDICIÓN**

### **COORDINADORES:**

**DR. JAVIER CERVANTES CABELLO**  
**ING. ARMANDO SÁNCHEZ GUZMÁN**

### **ELABORACIÓN:**

**ING. ISRAEL GARDUÑO GARCÍA**  
**ING. ADOLFO ALTAMIRANO MEZA**  
**M. EN A. VÍCTOR M. VÁZQUEZ HUAROTA**  
**ING. FRANCISCO SÁNCHEZ PÉREZ**  
**ING. MARTÍN REYES FARÍAS**  
**ING. ALEJANDRA GARZA VÁZQUEZ**

### **REVISIÓN:**

**ING. HELENA GALVÁN SUÁREZ**  
**LIC. VANIA PÉREZ MORALES**  
**DR. ARTURO BARBA PINGARRÓN**  
**DR. JAVIER CERVANTES CABELLO**

**COORDINADOR DE LABORATORIO**  
**ING. ALEJANDRA GARZA VÁZQUEZ**

## Índice

<b>Prólogo</b> .....	4
<b>Grupos de la Tabla Periódica</b> .....	6
Ing. Israel Garduño García	
<b>Enlaces Químicos</b> .....	11
Ing. Israel Garduño García	
<b>Estructuras y defectos cristalinos</b> .....	19
Ing. Adolfo Altamirano Meza	
<b>Estequiometría</b> .....	28
Ing. Israel Garduño García	
<b>Oxidación y Reducción</b> .....	39
Ing. Francisco Sánchez Pérez	
<b>Electrolitos y no electrolitos</b> .....	45
M. en A. Víctor M. Vázquez Huarota	
<b>Corrosión y su Prevención</b> .....	53
Ing. Francisco Sánchez Pérez	
<b>Ensayos de tracción en materiales</b> .....	61
Ing. Martín Reyes Farías	
<b>Ensayo de Dureza</b> .....	78
Ing. Alejandra Garza Vázquez	
<b>Ensayo de Impacto</b> .....	96
Ing. Alejandra Garza Vázquez	

## Prólogo

Los Materiales han acompañado, desde su inicio, el desarrollo de los seres humanos (piénsese en nombres de etapas de la humanidad, tales como Edad de Piedra, Edad del Bronce o Edad del Hierro) y siguen presentes, sin duda, en nuestro diario andar. Dormimos en ellos, comemos usándolos, nos transportamos con vehículos que utilizan materiales cada vez más resistentes y ligeros, practicamos deportes con implementos y calzado deportivo pleno de diseños y materiales novedosos, por mencionar solo una parte de nuestra actividad cotidiana. En estos tiempos, cada día resulta más difícil imaginar nuestras actividades habituales sin dispositivos como los celulares o las computadoras, que evolucionan rápidamente, requiriendo y aprovechando continuamente, desarrollos en materiales. Parece casi obvio, asimismo, imaginar un futuro con una presencia relevante de los nanomateriales y la nanotecnología.

No dejemos de lado, que el desarrollo de materiales ha tenido y tiene una relación muy cercana con aspectos sociales. Así por ejemplo, muchos nuevos materiales se han generado, desafortunadamente, al impulso de situaciones de guerra. En otro sentido, la fabricación y el procesamiento de materiales son actividades que provocan preocupación social en términos de las necesidades de ahorro y uso de energías renovables o en el ámbito de la protección ambiental, por mencionar dos aspectos de capital importancia en estos momentos.

El proceso de enseñanza-aprendizaje de Materiales, en este contexto, también ha evolucionado e incorpora nuevas herramientas y recursos para la docencia en la conciencia de que el ingeniero del Siglo XXI tiene ante sí el reto de poseer un conocimiento adecuado y actualizado de los principios que regulan y explican los fenómenos y reacciones en que participan materiales, las formas de evaluar y medir sus propiedades y las tecnologías disponibles para modificarlas y lograr mejorar así su respuesta y desempeño, al menor costo, de forma cada vez más amigable con el medio ambiente y con la búsqueda constante de incrementar su vida útil en la medida posible.

Este Cuaderno reúne una serie de experimentos a través de los cuales se podrán conocer y comprender fenómenos, así como familiarizarse con varias de las más destacadas y significativas pruebas y ensayos por medio de los cuales se pueden evaluar y caracterizar materiales y representan un punto de partida para que los estudiantes puedan profundizar en los conceptos y en la interpretación de los resultados que arrojen dichos ensayos y pruebas. Será de la mayor importancia que los estudiantes y profesores, a partir de sus experiencias con el uso de este grupo de Prácticas puedan sugerir cambios y realizar

propuestas orientadas a enriquecer este Cuaderno y conseguir con ello mejores resultados en el aprendizaje de los estudiantes y profesores, de modo que serán bienvenidas las aportaciones de la comunidad de nuestra Facultad en ese sentido.

Con estas ideas y propósitos en mente, se ha elaborado este Cuaderno de Prácticas del Laboratorio de Ciencia de Materiales, que es el producto del trabajo conjunto y el esfuerzo de un grupo de profesores del Departamento de Materiales y Manufactura que han puesto su empeño para que, a través de esta serie de prácticas, los estudiantes puedan complementar los aspectos y puntos tratados en la clase teórica, por medio de la experimentación realizada, pero no sólo ello, sino también a través de su participación, de la búsqueda de explicaciones por medio del cuestionamiento y de la aplicación de su creatividad, de modo que, al final de cada una de ellas, los estudiantes puedan adquirir, de un modo atractivo y dinámico, conocimientos significativos que les den elementos para una futura práctica profesional en la que puedan contribuir, de modo relevante, al desarrollo de la ingeniería y al de un país con mayor independencia científica y tecnológica y, finalmente, más justo.

Dr. ARTURO BARBA PINGARRON

# Práctica 1 : Grupos de la Tabla Periódica

Duración 2 hrs.

## OBJETIVO

El alumno aprenderá que los elementos químicos que pertenecen a un mismo grupo de la Tabla Periódica presentan propiedades similares y que éstas varían ordenadamente según su posición en ella.

## INTRODUCCIÓN

Los elementos químicos que conocemos se encuentran agrupados en la Tabla Periódica, en ella se pueden encontrar filas horizontales llamados periodos, y columnas verticales conocidas como grupos o familias.

Los elementos que se encuentran en el mismo periodo tienen propiedades muy distintas unos de otros: la característica en común es que todos tienen sus electrones más externos en el mismo nivel de energía.

Los elementos que están en un mismo grupo tienen características químicas muy parecidas y sus propiedades van variando poco a poco conforme nos desplazamos de arriba hacia abajo o de abajo hacia arriba en la columna del grupo de elementos. Por ejemplo: su punto de fusión o su tamaño atómico aumentan conforme su posición ésta mas abajo en la tabla.

En el siguiente experimento se analizarán algunas de las propiedades de los elementos del grupo VII B, conocidos como halógenos, que son Flúor, Cloro, Bromo, Yodo y Astatinio (también llamado Astato). La palabra halógeno significa “formador de sales” y es que los halógenos tienen la propiedad de generar sales con los metales; éste es el caso de la sal de mesa (cloruro de sodio NaCl).

Los cuatro halógenos principales en su estado elemental están formados por moléculas biatómicas:  $F_2$ ,  $Br_2$ ,  $I_2$ ,  $Cl_2$ . El flúor es un gas amarillento muy activo y sólo se prepara y maneja con seguridad bajo condiciones muy controladas. El cloro es un gas amarillo verdoso, el bromo es un líquido rojizo y el yodo se presenta como cristales negros violáceos con brillo metálico.

Por su lado el magnesio y el calcio son elementos del grupo IIA de la tabla periódica que tienen dos electrones en la órbita más externa. A los elementos de este grupo se les conoce como metales alcalinos, el magnesio es uno de los metales más ligeros y forma parte de muchas aleaciones de uso industrial, en tanto el calcio es un componente de muchos materiales y productos cerámicos, por ejemplo ladrillos.

### **MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO**

#### Material

- ✓ Gradilla.
- ✓ 7 tubos de ensaye.
- ✓ Pipeta.
- ✓ Pinzas para tubo de ensaye.
- ✓ Cerillos.
- ✓ Mechero de bunsen o alcohol.

#### Sustancias

- ✓ Nitrato de plata ( $AgNO_3$ ), solución al 1%
- ✓ Cloruro de sodio ( $NaCl$ ), solución al 1%
- ✓ Bromuro de sodio ( $NaBr$ ), solución al 1%
- ✓ Yoduro de sodio ( $NaI$ ), solución al 1%
- ✓ Cinta de Magnesio.
- ✓ Carburo de calcio ( $CaC_2$ )

✓ Agua.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Tomar con las pinzas un trozo de cinta de magnesio y ponerla en contacto con la flama de un mechero de Bunsen o un mechero de alcohol. Observar lo que ocurre y hacer las anotaciones correspondientes.
2. Colocar en la gradilla un tubo de ensaye, completamente seco, e introducir una pieza pequeña (aproximadamente del tamaño de una lenteja) de carburo de calcio.
3. Agregar una gota de agua al tubo de ensaye. Se observará el desprendimiento de un gas.
4. Acercar un cerillo encendido a la boca del tubo y antes de que la flama se extinga, agregar otra gota de agua. Observar lo que ocurre.
5. Colocar tres tubos de ensaye limpios y secos en la gradilla. Etiquetar los tubos con las fórmulas de cada una de las sustancias y depositar en cada uno aproximadamente 10 gotas de la solución de la sustancia que se indica:
  - a) Cloruro de sodio (NaCl).
  - b) Bromuro de sodio (NaBr).
  - c) Yoduro de sodio (NaI).
6. Agregar a cada tubo 3 gotas de la solución de ( $\text{AgNO}_3$ ) y observar la formación de precipitados. Anotar lo observado.

## RESULTADOS

1. Describir lo observado en el desarrollo de la práctica.
2. Determinar las propiedades de los elementos empleados en la práctica de acuerdo con su posición en la tabla periódica, tales como: reactividad, carga nuclear efectiva, radio atómico, electronegatividad.

3. ¿Cómo se relaciona lo ocurrido de acuerdo a las características de los elementos empleados de la Tabla Periódica?

### **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Para facilitar el análisis, se sugiere lo siguiente:

Observar que los metales alcalinos se comportan como reductores fuertes, es decir, que se oxidan o pierden electrones con facilidad para cederlos a otra especie química. Tienen una gran tendencia a desprenderse del último electrón para dar cationes monovalentes (iones con carga negativa).

Los halógenos forman compuestos iónicos como los aniones monovalentes y también compuestos, de carácter covalente.

1. ¿Se podría identificar alguna o algunas de estas citas en la práctica realizada? Explicar.

### **CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS**

Con base en los resultados obtenidos en la práctica, realizar las conclusiones.

### **CUESTIONARIO PREVIO**

1. ¿Qué es la Tabla Periódica y qué información se obtiene de ella?
2. ¿Cómo está estructurada la Tabla Periódica?
3. ¿Qué características tienen las siguientes sustancias: Nitrato de plata ( $\text{AgNO}_3$ ), Cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ), Bromuro de sodio ( $\text{NaBr}$ ), Yoduro de sodio ( $\text{NaI}$ ), Magnesio, Carburo de calcio ( $\text{CaC}_2$ )?
4. ¿Qué medidas de seguridad se deben considerar al trabajar con las sustancias indicadas anteriormente?

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Huheey, James E., Ellen A. Keiter, Richard L. Keiter, *Principios de estructura y reactividad*.
- Skoog, Douglas A., Donald M West, F. James Holler Stanley, R. Crouch. *Fundamentos de Química Analítica*, 2005.
- Petrucci, Ralph H., Williams S. Harwood, *Química General*, Pearson Education, 2002.
- [www.eis.uva.es/qgintro/estaq/esteq.html/](http://www.eis.uva.es/qgintro/estaq/esteq.html/)

## Práctica 2 : Enlaces Químicos

Duración 2 hrs.

---

### OBJETIVO

El alumno aprenderá a diferenciar los distintos tipos de enlaces químicos y relacionará el tipo de enlace que presentan algunas sustancias sólidas con su temperatura de fusión.

---

### INTRODUCCIÓN

La unión, combinación o interrelación entre sí de dos átomos de igual o diferente especie, para formar agregados moleculares estables, elementales o compuestos se denomina enlace químico. Los tipos más importantes de enlaces químicos son: covalente e iónico o electrovalente. También se producen uniones o atracciones entre átomos de moléculas vecinas denominadas atracciones moleculares, como las fuerzas de Van Der Waals o enlace por puente de hidrógeno.

El **enlace covalente** se produce por la combinación de uno o más pares de electrones entre dos átomos. Cuando cada átomo aporta electrones para la unión, la covalencia es simple. Si un solo átomo aporta el par de electrones de enlace la covalencia es coordinada, el enlace covalente se clasifica en polar y no polar. El polar se presenta cuando se desarrolla entre átomos de igual electronegatividad.

Los compuestos covalentes pueden ser sólidos, líquidos o gaseosos. No son conductores de la electricidad porque los electrones de valencia están fijos en los enlaces entre átomos y no están disponibles con facilidad para la conducción, aunque en solución acuosa algunos con enlaces polares pueden presentar conductividad eléctrica. Los compuestos de coordinación se distinguen por ser coloridos o por su capacidad de disolución de sales poco solubles al formarse un

enlace de puente de hidrógeno, se reconoce por el comportamiento anormal de algunas propiedades (solubilidad, puntos de fusión, puntos de ebullición, etc.) de las sustancias donde se presentan. Los materiales con enlace covalente suelen tener ductilidad baja a causa de la direccionalidad de los enlaces. Este tipo de enlace se encuentra comúnmente en las cadenas de los polímeros.

El **enlace electrovalente o iónico** se produce cuando hay transferencia de electrones de un átomo a otro. El átomo que transfiere o pierde los electrones se ioniza positivamente (catión) y el que los gana se ioniza negativamente (anión). Los compuestos iónicos, a temperatura ambiente, son sólidos con altos puntos de fusión y ebullición, que fundidos o en solución acuosa son buenos conductores de electricidad. En general, los enlaces iónicos son bastante fuertes y omnidireccionales.

Los compuestos iónicos tienden a presentar en su forma sólida, muy bajas conductividades, pero conducen corriente de modo bastante satisfactorio al fundirse. Dicha conductividad se atribuye a la presencia de iones, átomos cargados ya sea positiva o negativamente, los cuales se mueven libremente bajo la influencia eléctrica. En el sólido, los iones se encuentran fuertemente enlazados en la red cristalina y no tienen libertad para moverse y conducir corriente eléctrica.

### MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

Material:

- ✓ 3 Tubos de ensaye de diámetro de 16 mm y longitud de 150 mm.
- ✓ 1 Pinza para tubo de ensaye.
- ✓ 1 Mechero Bunsen.
- ✓ Tela de alambre con asbesto.
- ✓ 1 Agitador.
- ✓ 1 Vaso de precipitado de 50 ml.
- ✓ 1 Socket con foco y conexión interrumpida.

- ✓ 1 Pisseta.
- ✓ 1 Vidrio de reloj.
- ✓ 1 Gradilla.
- ✓ 1 Probeta de 10 ml de agua destilada.

Reactivos:

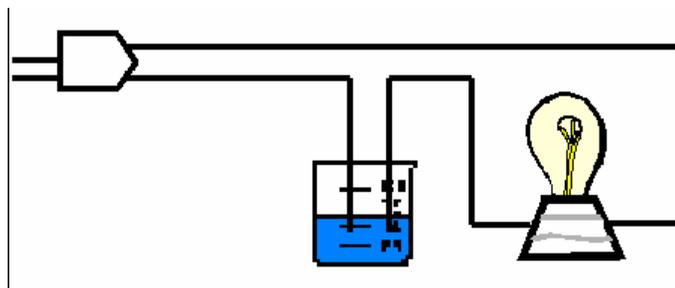
- ✓ Acetona.
- ✓ Alcohol.
- ✓ Azúcar.
- ✓ Sal común.
- ✓ Nitrato cúprico.
- ✓ Hidróxido de sodio.
- ✓ Hidróxido de amonio.
- ✓ Ácido clorhídrico.
- ✓ Nitrato de plata.
- ✓ H<sub>2</sub>O (agua).
- ✓ NaCl (cloruro de sodio).
- ✓ FeCl<sub>3</sub> (cloruro férrico).
- ✓ KSCN (tiocianato de potasio).
- ✓ Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> (nitrato cúprico).
- ✓ NaOH (hidróxido de sodio).
- ✓ NH<sub>4</sub>OH (hidróxido de amoniaco).
- ✓ HCl (ácido clorhídrico).
- ✓ AgNO<sub>3</sub> (nitrato de plata).

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Con el desarrollo de la presente práctica, se reconocerán los enlaces iónicos y covalentes por:

### a) Conductividad eléctrica.

1. En un vaso de precipitado de 50 ml agregar de 25 ml de H<sub>2</sub>O destilada.
2. Probar la conductividad de la sustancia haciendo un arreglo similar al mostrado en el siguiente esquema.



3. Repetir la prueba de conductividad utilizando los siguientes 9 reactivos, en una proporción de 3 gramos disueltos en 25 ml de agua destilada, probar uno a la vez y comprobar la conductividad:
  - Solución saturada de sal común.
  - Solución saturada de azúcar.
  - Acetona.
  - Solución de NaOH.
  - Solución de Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.
  - Alcohol.
  - Solución de NH<sub>4</sub>OH.
  - Solución de HCl.

**b) Punto de fusión.**

1. Colocar la tela de alambre con asbesto sobre el tripie y el mechero de Bunsen debajo de éste.
2. Colocar en el vidrio de reloj 3 gramos de azúcar.
3. Calentar con el mechero el azúcar hasta su punto de fusión. Retirar el mechero en el momento en que se observe la primera burbuja.
4. Registrar el tiempo que tarda en alcanzar el punto de fusión.
5. Repetir el mismo procedimiento con NaCl en un tubo de ensaye.
6. Comprobar con estos ensayos cuál de las dos sustancias es posible fundir con la temperatura disponible (mechero).

**c) Por disolución de una sal poco soluble al formarse un compuesto de coordinación.**

1. En un vaso de precipitado de 50 ml colocar 1 ml de  $\text{AgNO}_3$ .
2. Agregar igual cantidad de NaCl en solución.
3. Observar la formación de una sal de plata.
4. Posteriormente añadir 1 ml de agua destilada.
5. Agregar, gota a gota, 6 ml de  $\text{NH}_4\text{OH}$ , agitando constantemente hasta tener la disolución completa.
6. Observar la reacción de disolución de la sal de plata.
7. Determinar qué tipo de enlace presenta esta reacción.

## RESULTADOS

1. A partir de los resultados obtenidos en el inciso a) del desarrollo, llenar la siguiente tabla.

Sustancia	Observaciones	¿Es conductor?	¿Qué tipo de enlace presenta?
Agua destilada			
Solución saturada de sal común			
Solución saturada de azúcar			
Acetona			
Solución de NaOH			
Solución de $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2$			
Alcohol			
Solución de $\text{NH}_4\text{OH}$			
Solución de HCl			

2. Completar la siguiente tabla con los resultados del inciso b).

Sustancias	Tiempo	¿Qué tipo de enlace presenta?
Azúcar		
NaCl		

3. Describir lo observado durante la realización del inciso c) e indique qué tipo de enlace se presenta en la reacción.

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Con base en los resultados obtenidos contestar las siguientes preguntas:

1. Explicar cuál es la razón de que algunas sustancias sean conductoras y otras no (centre sus comentarios con relación a las sustancias del experimento *a*).
2. ¿Cuál de las sustancias considera que es mejor conductor?
3. Del experimento *b*, ¿qué sustancia no fue posible fundir al utilizar el mechero y por qué?
4. Escribir la reacción que se dio en el experimento *c* al formar el precipitado de cloruro de plata.
5. En el experimento *c*, ¿por qué se disolvió el precipitado al agregar el amoníaco?

## **CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS**

Elaborar las conclusiones surgidas a través de la observación de los experimentos y fundamentar con bases teóricas.

## **CUESTIONARIO PREVIO**

1. ¿Qué es un enlace químico?
2. Describir la teoría del enlace de valencia.
3. Describir la teoría de los orbitales moleculares.
4. Indicar los principales enlaces químicos.
5. Describir los principales enlaces químicos.
6. Indicar las características que presenta una sustancia de acuerdo a su enlace químico.
7. Describir la energía de enlace.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Huheey, James E., *et. al.*, *Química inorgánica. Principios de estructura y reactividad.*
- Askeland, Donald R., *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, México, Thomson, 2004.
- Smith, William F., *Foundations of Materials Science and Engineering*, U.S.A., John Wiley & Sons, 2003.

## Práctica 3 : Estructuras y defectos cristalinos

Duración 4 hrs.

### OBJETIVO

El alumno conocerá algunos de los posibles acomodos de átomos, los cuales generan las diferentes estructuras cristalinas que conforman a un material, además analizará las características más importantes de éstas y visualizará algunas imperfecciones que pueden existir en ellas.

### INTRODUCCIÓN

La mayoría de los materiales estructurales y tecnológicos, a excepción de la mayoría de los vidrios y los polímeros, son de naturaleza cristalina. Esto es, poseen un arreglo ordenado repetitivo o periódico de átomos (o iones) enlazados en las tres dimensiones. Por consiguiente, la estructura cristalina de un material se refiere al tamaño, la forma y la organización atómica dentro de la red.

Los átomos al acomodarse forman un patrón repetitivo, regular, en forma de rejilla o red. La red es un conjunto de puntos conocidos como puntos de red, que están organizados siguiendo un patrón periódico de forma que el entorno de cada punto en la red es idéntico.

#### **Generación de las estructuras Cristalinas**

La forma en que se producen las estructuras cristalinas es por el apilamiento de capas de átomos. Un caso en particular es cuando las capas de átomos son planos compactos (figura 1).

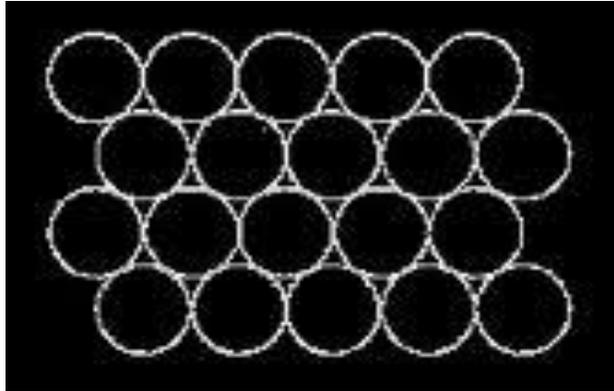


Figura 1. Empaquetamiento cerrado en el plano.

Existen dos posibles secuencias de apilamiento, la ABABABA... (figura 2) y la ABCABCABC... (figura 3), cuando se apilan en forma compacta y nos generan respectivamente la estructura Hexagonal Compacta (figura 4) y la estructura Cúbica Centrada en las Caras (figura 5).

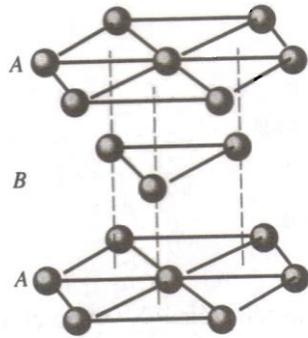


Figura 2. Secuencia de Apilamiento ABABABABA.

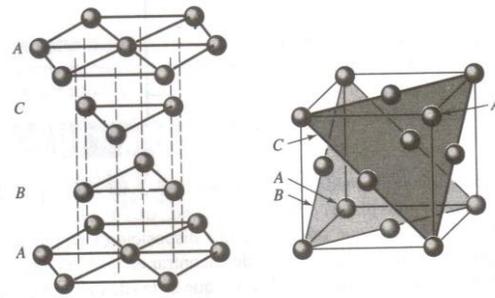


Figura 3. Secuencia de apilamiento ABCABCABC.

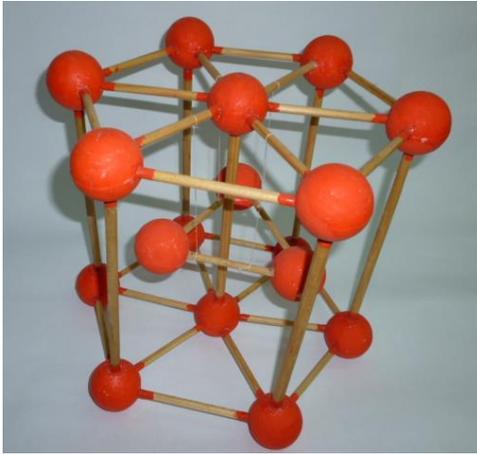


Figura 4. Estructura Hexagonal Compacta.

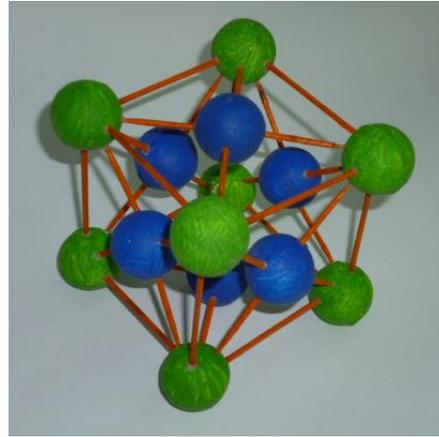


Figura 5. Estructura Cúbica Centrada en las Caras.

De estas y otras estructuras, se pueden encontrar algunos parámetros importantes para el análisis de las estructuras y se definen a continuación:

- **Parámetro de red.** Estos describen el tamaño y la forma de la celda unitaria, incluyen las dimensiones de los costados de ésta y los ángulos entre sus costados, de dónde podemos definir las catorce celdas unitarias o redes de Bravais, que se observarán en el programa.
- **Número de átomos por celda unitaria.** Es el producto del número por punto de red multiplicado por el número de puntos de red en cada celda unitaria. Las esquinas contribuyen con  $1/8$  de átomo, las orillas o aristas con  $1/4$  de átomo, las caras con  $1/2$  y las posiciones en el centro del cuerpo con todo un punto.
- **Número de coordinación.** Es el número de átomos que tocan a otro en particular, es decir, el número de vecinos más cercanos.
- **Factor de empaquetamiento.** Es la fracción de espacio ocupada por átomos, suponiendo que los átomos son esferas sólidas.

$$\text{Factor de empaquetamiento} = \frac{(\text{Número de átomos/celda})(\text{volúmen de cada átomo})}{\text{Volúmen de la celda unitaria}}$$

Otras celdas unitarias comunes son:



Figura 6. Estructura Cúbica Simple.

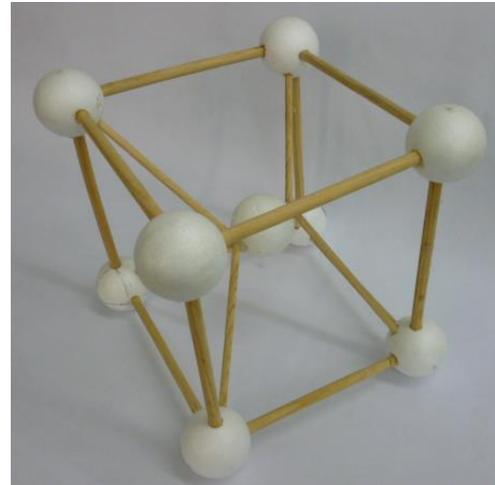


Figura 7. Estructura Cúbica centrada en el cuerpo.

En la siguiente tabla se presenta los principales parámetros de las estructuras cristalinas:

Tabla 1. Características de cristales.

Estructura	ao en función del radio	Átomos por celda	Número de coordinación	Factor de empaquetamiento
Cúbica Simple	$ao = 2r$	1	6	0.52
Cúbica Centrada en el Cuerpo	$ao = 4r/\sqrt{3}$	2	8	0.68
Cúbica Centrada en las Caras	$ao = 4r/\sqrt{2}$	4	12	0.74
Hexagonal Compacta	$ao = 2r;$ $co = 1.633ao$	2	12	0.74

También es posible definir puntos, direcciones y planos para las celdas unitarias.

Una vez que se conocen las diferentes estructuras cristalinas hay que tratar las imperfecciones que se pudieran presentar en algún arreglo, las cuales pueden ser puntuales, lineales o superficiales. Por ejemplo, los defectos puntuales que se observan en la figura 8.

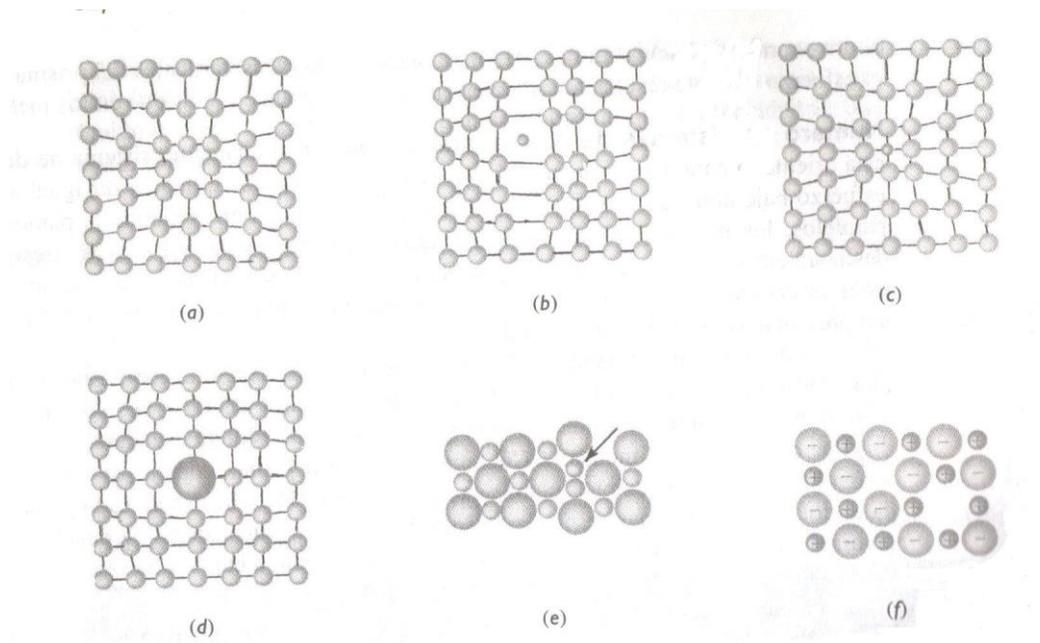


Figura 8. Defectos puntuales: (a) Vacancia; (b) Pequeño átomo intersticial; (c) átomo sustitucional; (d) átomo sustitucional grande; (e) defecto Frenkel y (f) defecto Schottky.

Otro tipo de defectos son los lineales (dislocaciones) y superficiales (fronteras de grano).

### MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

Material:

- ✓ 50 esferas de unicel.
- ✓ Una caja de palillos de madera con punta.

Equipo:

- ✓ Computadora con programa Matter.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

### **Primera sesión de dos horas:**

1. Armar con las esferas de unicel, las estructuras cristalinas descritas en los siguientes apartados del programa Matter:

- Introducción a la Cristalografía.
  - Cristales Básicos.
  - Cristalografía 2-D.
    - Elementos de simetría en dos dimensiones: reflexión, rotación y translación.
    - Construcción de cristales 2-D a partir de una base y una red.
    - Celdas Unitarias y los 5 tipos diferentes de redes en el plano.
    - Los 10 grupos puntuales 2-D y los 17 grupos en el plano.
  - Cristalografía 3-D.
    - Redes 3-D y celdas unitarias.
    - Sistemas cristalinos, redes de Bravais y grupos puntuales.
    - Elementos de simetría en tres dimensiones: reflexión, rotación y translación.
    - Los 230 grupos espaciales.
  - Las estructuras Cristalinas.
    - Cúbica centrada en las caras (fcc).
    - Hexagonal compacta (hcp).
    - Cúbica centrada en el cuerpo (bcc).
    - Puntos, Direcciones y Planos.

## Segunda sesión de dos horas:

2. Visualizar los siguientes apartados del programa Matter:
  - Introducción a los defectos puntuales.
    - Vacancias.
    - Intersticios.
  - Dislocaciones.
    - La naturaleza de las dislocaciones.
    - El movimiento de las dislocaciones.
    - La interacción de las dislocaciones.
    - Arqueamiento de las dislocaciones.

---

## RESULTADOS

1. Esquematizar las celdas unitarias observadas. Compararlas y comentar.
2. Obtener las coordenadas de puntos, direcciones e índices de Miller de los planos de direcciones compactas.
3. Visualizar las diferentes imperfecciones puntuales lineales y de superficie que se pueden generar en una estructura cristalina.

---

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

1. Definir el número de coordinación de cada estructura observada en el programa.
2. Calcular el factor de empaquetamiento para las celdas Cúbica Centrada en las Caras, Cúbica Centrada en el Cuerpo, Cúbica Simple y Hexagonal Compacta.
3. Discutir las diferencias de las catorce redes de Bravais.
4. Investigar la posible variación de propiedades conforme a las distintas direcciones en las estructuras cristalinas.
5. Investigar las posibles consecuencias de las imperfecciones en las redes cristalinas.

## CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS

Elaborar las conclusiones basándose en los resultados y análisis de resultados.  
Comentar acerca de las diferentes celdas unitarias y sus posibles imperfecciones.

## CUESTIONARIO PREVIO

1. ¿Qué papel pueden jugar las imperfecciones cristalinas de tipo puntual (sitios vacantes, átomos intersticiales, átomos sustitucionales) en el comportamiento de un material?
2. ¿En qué tipo de proceso (químico, térmico, mecánico, etc.) se presenta la generación de dislocaciones?
3. ¿Mediante qué instrumento o técnica experimental se pueden ver dislocaciones en un material? Presente imágenes de dislocaciones.
4. Presentar imágenes en las que se puedan distinguir con claridad los límites de grano en un material y definir qué características presentan dichos límites.
5. Explicar cuál es el principio de operación de:
  - a) Un microscopio electrónico de transmisión (MET).
  - b) Un difractómetro de Rayos X.
  - c) Un microscopio de fuerza atómica.
6. ¿Para qué aplicación son empleados los microscopios de la pregunta anterior? Presentar y comentar imágenes obtenidas en los mismos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Thornton y Colangelo, *Ciencia de materiales para ingeniería*, Prentice Hall Hispanoamericana, 1987.
- Askeland, *Ciencia e ingeniería de materiales*, International Thompson Editores, 1998.
- *MATTER* (Material Teaching Educational Resources), The University of Liverpool, 1997.

## Práctica 4 : Estequiometría

Duración 2 hrs.

### OBJETIVO

El alumno podrá aplicar los principios de la estequiometria a una reacción química.

### INTRODUCCIÓN

La estequiometria mide las proporciones cuantitativas o relaciones de masa en que los elementos químicos están implicados, teniendo las siguientes características:

#### **Principio científico**

En una reacción química se observa la modificación de las sustancias presentes: los reactivos se modifican para dar lugar a los productos.

A escala microscópica, la reacción química es una modificación de los enlaces entre átomos, por desplazamientos de electrones: unos enlaces se rompen y otros se forman, pero los átomos implicados se conservan. Esto es lo que llamamos **la ley de conservación de la materia (masa)**, que implica las dos leyes siguientes:

- 1. La conservación del número de átomos de cada elemento químico.**
- 2. La conservación de la carga total.**

Las relaciones estequiométricas entre las cantidades de reactivos consumidos y productos formados dependen directamente de estas leyes de conservación, y están determinadas por la ecuación (ajustada) de la reacción.

### Ajustar o balancear una reacción

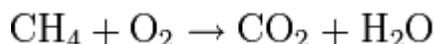
Una ecuación química (que no es más que la representación escrita de una reacción química) ajustada debe reflejar lo que pasa realmente antes de comenzar y al finalizar la reacción y, por tanto, debe respetar las leyes de conservación del número de átomos y de la carga total.

Para respetar estas reglas, se pone delante de cada especie química un número llamado **coeficiente estequiométrico**, que indica la proporción de cada especie involucrada que se puede considerar como el número de moléculas o de átomos, o de iones o de moles; es decir, la cantidad de materia que se consume o se transforma.

Por ejemplo:

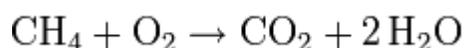
En la reacción de combustión de **metano** (CH<sub>4</sub>), éste se combina con **oxígeno molecular** (O<sub>2</sub>) del aire para formar **dióxido de carbono** (CO<sub>2</sub>) y **agua** (H<sub>2</sub>O).

La reacción sin ajustar (sólo representando los elementos que interactúan) será:



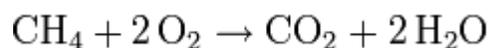
Esta reacción no es correcta, porque no cumple la ley de conservación de la materia. Para el elemento hidrógeno (H), por ejemplo, hay 4 átomos en los reactivos (CH<sub>4</sub>) y sólo 2 en los productos (H<sub>2</sub>O). Se ajusta la reacción introduciendo delante de las fórmulas químicas de cada compuesto un **coeficiente estequiométrico** adecuado.

De esta manera, si se pone un 2 delante del H<sub>2</sub>O:



se respeta la conservación para el carbono (C) y el hidrógeno (H), pero no para el

oxígeno (O), situación que puede corregirse poniendo otro 2 delante de O<sub>2</sub> en los reactivos:

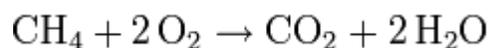


y se obtiene así, finalmente, la reacción ajustada.

Ésta dice que **1** molécula de metano (CH<sub>4</sub>) reacciona con **2** moléculas de oxígeno molecular (O<sub>2</sub>) para dar **1** molécula de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y **2** moléculas de agua (H<sub>2</sub>O). Si verificamos el número de átomos veremos que en ambos lados de la ecuación hay 1 átomo de carbono (C), 4 átomos de hidrógeno (H) y 4 átomos de oxígeno (O). La materia (la cantidad de átomos) se ha conservado una vez terminada la reacción química.

### **Coefficiente estequiométrico**

Ya que arriba lo mencionamos, se agregará información sobre el coeficiente estequiométrico, que es el coeficiente (un número) que le corresponde a cada especie química (elemento) en una ecuación química dada. En el ejemplo anterior:



El coeficiente del metano es 1, el del oxígeno 2, el del dióxido de carbono 1 y el del agua 2. Los coeficientes estequiométricos son en principio números enteros, aunque para ajustar ciertas reacciones alguna vez se emplean números fraccionarios. En esencia lo que indica este coeficiente es el número de moléculas de cada sustancia. Cuando el coeficiente estequiométrico es igual a 1, no se escribe, por eso, en el ejemplo CH<sub>4</sub> y CO<sub>2</sub> no llevan ningún coeficiente delante.

Este **método del tanteo** para fijar el coeficiente estequiométrico sirve bien cuando la reacción es simple. Consiste en fijar arbitrariamente un coeficiente e ir deduciendo los demás haciendo balances a los átomos implicados en la especie

inicial. Si aparecen fracciones, se multiplican todos los coeficientes por el **mínimo común múltiplo (mcm)** de los **denominadores**.

En reacciones más complejas, como es el caso de las **reacciones redox**, se emplea el método del ion-electrón.

Por lo anterior, se recomienda ir balanceando siguiendo el orden: **metales, no metales, hidrógenos, oxígenos**.

### **Mezcla/proporciones/condiciones estequiométricas**

Cuando los reactivos de una reacción están en cantidades proporcionales a sus coeficientes estequiométricos se dice:

- \* La mezcla es estequiométrica;
- \* Los reactivos están en proporciones estequiométricas;
- \* La reacción tiene lugar en condiciones estequiométricas;

Las tres expresiones tienen el mismo significado. En estas condiciones, si la reacción es completa, todos los reactivos se consumirán dando las cantidades estequiométricas de productos correspondientes.

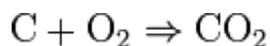
Ejemplo:

- ¿Qué cantidad de **oxígeno** es necesaria para reaccionar con 100 gramos de **carbono** produciendo **dióxido de carbono**?

Masa atómica del oxígeno = 15,9994.

Masa atómica del carbono = 12,0107.

La reacción es:



Para formar una molécula de dióxido de carbono, hacen falta un átomo de carbono y dos de oxígeno, o lo que es lo mismo, un mol de carbono y dos mol de oxígeno.

<b>1 mol de carbono</b>	→	<b>2 mol de oxígeno</b>
<b>12,0107 gramos de carbono</b>	→	<b>2 • 15,994 gramos de oxígeno</b>
<b>100 gramos de carbono</b>	→	<b>x gramos de oxígeno</b>

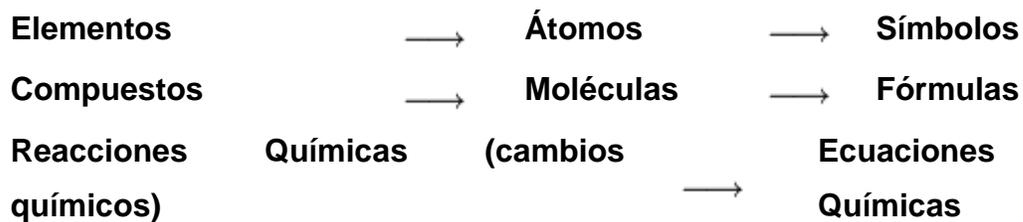
Despejando x:

$$x = \frac{2 \cdot 15,9994 \text{ gramos de oxígeno} \cdot 100 \text{ gramos de carbono}}{12,0107 \text{ gramos de carbono}}$$

realizadas las operaciones:

$$x = 266,41 \text{ gramos de oxígeno}$$

Para entender la estequiometría hay que tener claridad conceptual de los siguientes términos:



**Símbolo** es la representación gráfica de un elemento. El símbolo de un elemento representa no solamente su nombre, sino también un átomo o un número prefijado (“**mol**”) de átomos de ese elemento.

**Fórmula** es la representación gráfica de un compuesto. La fórmula de una sustancia indica su composición química.

**Ecuación Química** es la representación gráfica de un cambio químico. Una reacción química siempre supone la transformación de una o más sustancias en otra u otras; es decir, hay un reagrupamiento de átomos o iones, y se forman otras sustancias.

**Peso Atómico:** Se puede definir como la masa en gramos de un mol de átomos. En términos más específicos, el peso atómico es el peso total de las masas de los **isótopos** naturales del elemento.

### **Tipos de Reacciones Químicas**

Las reacciones químicas pueden clasificarse de manera sencilla en cinco grandes grupos. Existen otras clasificaciones, pero para predicción de los productos de una reacción, esta clasificación es la más útil.

a) *Reacciones de Síntesis o Composición*

En estas reacciones, dos o más elementos o compuestos se combinan, resultando en un solo producto.

Síntesis Química: la combinación de dos o más sustancias para formar un sólo compuesto.



(donde A y B pueden ser elementos o compuestos)

b) *Reacciones de Descomposición o Análisis*

Estas reacciones son inversas a la síntesis y son aquellas en las cuales se forman dos o más productos a partir de un solo reactante, usualmente con la ayuda del calor o la electricidad.

Descomposición Química: la formación de dos o más sustancias a partir de un sólo compuesto.

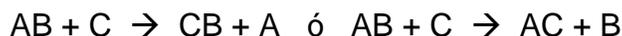


(donde B y C pueden ser elementos o compuestos)

c) *Reacciones de Desplazamiento o Sustitución Sencilla*

Estas reacciones son aquellas en las cuales un átomo toma el lugar de otro similar pero menos activo en un compuesto. En general, los metales reemplazan metales (o al hidrógeno de un ácido) y los no metales reemplazan no metales. La actividad de los metales es la siguiente, en orden de mayor actividad a menor actividad: Li, K, Na, Ba, Ca, Mg, Al, Zn, Fe, Cd, Ni, Sn, Pb, (H), Cu, Hg, Ag, Au. El orden de actividad de los no metales mas comunes es el siguiente: F, O, Cl, Br, I, siendo el flúor el más activo.

Desplazamiento Químico: un elemento reemplaza a otro similar y menos activo en un compuesto.



(dónde C es un elemento más activo que un metal A o un no metal B)

d) *Reacciones de Doble Desplazamiento o Intercambio*

Estas reacciones son aquellas en las cuales el ión positivo (catión) de un compuesto se combina con el ión negativo (anión) del otro y viceversa, habiendo así un intercambio de átomos entre los reactantes. En general, estas reacciones ocurren en solución, es decir, que al menos uno de los reactantes debe estar en solución acuosa.

Doble Desplazamiento Químico: los reactantes intercambian átomos – el catión de uno se combina con el anión del otro y viceversa.



e) *Reacciones de Combustión*

Estas reacciones ocurren cuando un hidrocarburo orgánico (un compuesto que contiene carbono e hidrógeno) se combina con el oxígeno, formando agua y dióxido de carbono como productos de la reacción y liberando grandes cantidades de energía. Las reacciones de combustión son esenciales para la vida, ya que la respiración celular es una de ellas.

Combustión: un hidrocarburo orgánico reacciona con el oxígeno para producir agua y dióxido de carbono.



### MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

Material:

- ✓ Cinta de magnesio.
- ✓ Pinza.
- ✓ Cinc en polvo.
- ✓ Una cápsula o crisol de porcelana.
- ✓ Tubo de ensaye.
- ✓ Hielo seco.
- ✓ Óxido de calcio sólido.
- ✓ Espátula.
- ✓ Ácido clorhídrico.
- ✓ Hidróxido de bario o de calcio.
- ✓ Fenolftaleína.
- ✓ Popote.
- ✓ Sulfato de cobre.
- ✓ Granalla de cinc.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Cortar 5 cm de cinta de magnesio con una pinza y someterla a calentamiento con el mechero hasta que se observe un cambio. Para plantear la ecuación, considerar que el elemento está reaccionando con el oxígeno del aire para formar el óxido correspondiente (en este y en todos los casos de reacciones sucesivas, manipular con precaución y evitar la inhalación de los gases generados).
2. Colocar en una cápsula o crisol de porcelana 1 gramo de cinc en polvo y mezclar con el doble de masa de azufre en polvo, calentar en la campana la mezcla hasta obtener un cambio. Considerar que el producto es la sal binaria formada al reaccionar los dos elementos.
3. En un tubo de ensaye de 10 mm colocar un trozo de hielo seco de  $0.5 \text{ mm}^3$  (dióxido de carbono) y añadir óxido de calcio sólido, mezclando con la espátula para que la reacción sea completa. Considerar que las dos especies van a formar un carbonato.
4. Al producto de la reacción anterior añadir de 3 a 5 gotas de ácido clorhídrico diluido en agua destilada. El carbonato reaccionará desprendiendo dióxido de carbono y cloruro de calcio.
5. A una disolución saturada de hidróxido de bario o de calcio (proporcionada como material de práctica), añadir 10 gotas de fenolftaleína y con un popote soplar hasta observar un cambio de color. Para plantear la ecuación considerar que uno de los productos formados es el carbonato del elemento alcalinotérreo.
6. A 5 ml de una disolución de sulfato de cobre añadir un pellet de cinc de aproximadamente 3 mm de diámetro y esperar a que la disolución se torne incolora. Los productos obtenidos son cobre y sulfato de zinc.

## **RESULTADOS**

1. Clasificar las reacciones con base a las diferencias entre reactivos y productos.
  - a) Identificar las reacciones en las cuales a partir de dos reactivos se obtiene un producto de mayor complejidad.
  - b) Identificar aquellas reacciones en las que un reactivo se descompone para dar dos o más productos, para las que hay intercambio de un anión o un catión y para aquellas que hay un doble intercambio.

\*En todos los casos proponer el tipo de reacción que ocurre.

2. Clasificar las reacciones con base a su comportamiento químico:
  - a) Mencionar en qué reacciones hubo formación de precipitado.
  - b) Indicar en qué reacciones hubo cambios en los números de oxidación de los elementos participantes.

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

1. Realizar el reporte indicando qué tipo de reacción se presentó en cada caso.
2. Adicionalmente proponer la reacción estequiométrica que ocurre.
3. Verificar que las reacciones estén balanceadas.

## **CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS**

Con base en lo realizado durante la práctica, elaborar las conclusiones correspondientes.

## **CUESTIONARIO PREVIO**

---

1. ¿Qué es y cuándo se produce una reacción química?
2. ¿Qué sucede en una reacción química a escala microscópica (nivel atómico)?
3. Explicar la *Ley de Conservación de la Masa*.
4. Indicar cuáles son las medidas de seguridad que se deben de considerar al manejar reactivos.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Huheey, James E., Ellen A. Keiter, Richard L. Keiter, *Principios de estructura y reactividad*.
- Skoog, Douglas A., Donald M West, F. James Holler Stanley R. Crouch, *Fundamentos de Química Analítica*, 2005.
- Petrucci, Ralph H., Williams S. Harwood, *Química General*, Pearson Education, 2002.
- [www.eis.uva.es/qgintro/estaq/esteq.html/](http://www.eis.uva.es/qgintro/estaq/esteq.html/)

## Práctica 5 : Oxidación y Reducción

Duración 2 hrs.

### OBJETIVO

Mediante la observación, el alumno comprenderá la capacidad de los átomos de perder o ganar electrones y convertirse en iones y determinará qué elementos tienden a oxidarse con mayor facilidad.

### INTRODUCCIÓN

Una reacción de óxido-reducción se caracteriza porque hay una transferencia de electrones, en donde una sustancia gana electrones y otra los pierde:

- La sustancia que gana electrones disminuye su número de oxidación. Este proceso se llama Reducción.
- La sustancia que pierde electrones aumenta su número de oxidación. Este proceso se llama Oxidación.

Por lo tanto, la Reducción es ganancia de electrones y la Oxidación es una pérdida de electrones.

El proceso global se denomina oxido-reducción o reacción *redox*. La especie que suministra electrones, es el **agente reductor** (especie que se oxida) y la que los gana es el **agente oxidante** (especie que se reduce).

Muchos átomos que ceden fácilmente electrones, se oxidan y se conocen como metales, y a aquellos que generalmente los reciben, se les llama no metales. Cabe mencionar que dentro de cada uno de estos dos grupos hay elementos que tienen mayor facilidad para reducirse o para oxidarse que otros.

El hidrógeno es el elemento de referencia para realizar una tabla conocida como **serie electromotriz** (figura 2) en la que se acomodan las especies químicas en el orden de su mayor o menor facilidad para reducirse cuando están en agua.

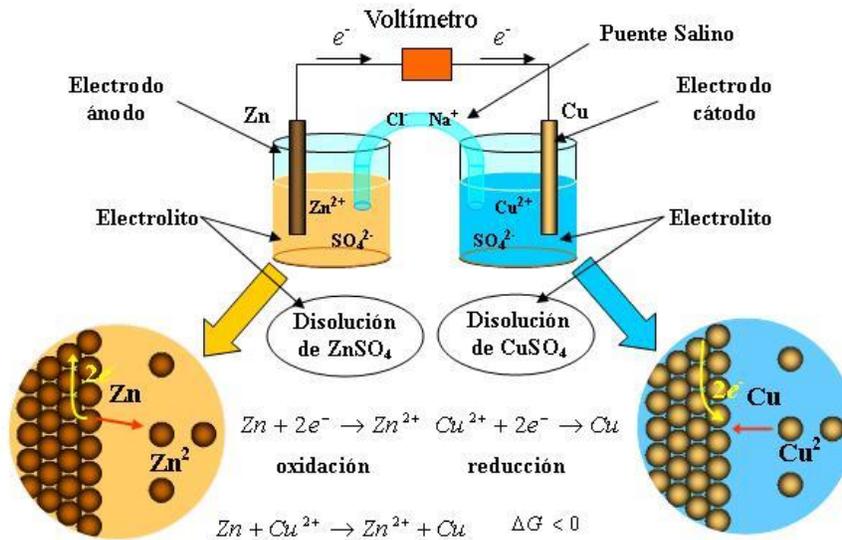


Figura 1. Ejemplo de reacción Redox (Tema 5. Cinética química, termodinámica y equilibrio (IV), <http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/quimica-de-los-materiales/>)

Tabla 18.1 La serie fem estándar		
	Reacciones del electrodo	Potencial de electrodo estándar V° (V)
↑ Inactividad creciente (catódicos)	$Au^{3+} + 3e^- \rightarrow Au$	+1,420
	$O_2 + 4H^+ + 4e^- \rightarrow 2H_2O$	+1,229
	$Pt^{2+} + 2e^- \rightarrow Pt$	+1,2
	$Ag^+ + e^- \rightarrow Ag$	+0,800
	$Fe^{3+} + e^- \rightarrow Fe^{2+}$	+0,771
	$O_2 + 2H_2O + 4e^- \rightarrow 4(OH^-)$	+0,401
	$Cu^{2+} + 2e^- \rightarrow Cu$	+0,340
	$2H^+ + 2e^- \rightarrow H_2$	0
	$Pb^{2+} + 2e^- \rightarrow Pb$	-0,126
	$Sn^{2+} + 2e^- \rightarrow Sn$	-0,136
↓ Actividad creciente (anódicos)	$Ni^{2+} + 2e^- \rightarrow Ni$	-0,250
	$Co^{2+} + 2e^- \rightarrow Co$	-0,277
	$Cd^{2+} + 2e^- \rightarrow Cd$	-0,403
	$Fe^{2+} + 2e^- \rightarrow Fe$	-0,440
	$Cr^{3+} + 3e^- \rightarrow Cr$	-0,744
	$Zn^{2+} + 2e^- \rightarrow Zn$	-0,763
	$Al^{3+} + 3e^- \rightarrow Al$	-1,662
	$Mg^{2+} + 2e^- \rightarrow Mg$	-2,363
	$Na^+ + e^- \rightarrow Na$	-2,714
	$K^+ + e^- \rightarrow K$	-2,294

Figura 2. Serie de Fuerza Electromotriz (William D. Callister, "Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales", Vol. 2, Ed. Reverté, 2007, pag. 571)

## MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

### Material

- ✓ Gradilla para tubos de ensaye.
- ✓ 9 tubos de ensaye.
- ✓ 3 Vasos de precipitados de 50 ml.
- ✓ Etiquetas autoadheribles.
- ✓ 1 jeringa de 5 ml, sin aguja.

### Reactivos

- ✓ Acido Clorhídrico (HCl) 6M (cantidad de moles de soluto contenidos en un litro de solución).
- ✓ 2 gramos de aluminio ( papel aluminio).
- ✓ 2 gramos de Fibra metálica fina de hierro.
- ✓ 2 gramos de polvo de Zinc.
- ✓ 4 gramos de cobre (alambre).
- ✓ Disolución de  $\text{CuSO}_4$  0.1 N.
- ✓ Disolución de  $\text{NaNO}_3$  0.1 N.
- ✓ Disolución de  $\text{ZnSO}_4$  0.1 N
- ✓ Disolución de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  4.0 N.
- ✓ Bicarbonato de sodio.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

### Parte 1

1. Colocar los 6 tubos de ensaye en la gradilla y etiquetarlos de acuerdo a la Tabla 1.
2. Agregar 2 gramos de cada elemento dentro de cada uno de los tubos de ensaye previamente etiquetados como se indica en la Tabla 1 (Zn, Cu).

3. Con la jeringa agregar 5ml de cada una de las disoluciones en cada tubo de ensayo de acuerdo a la Tabla 1.
4. Realice la segunda parte y al término de la misma, observe y anote los cambios existentes en la transformación sufrida en el metal.

Tubos de Ensayo						
	1	2	3	4	5	6
Disolución	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	NaNO <sub>3</sub>	NaNO <sub>3</sub>	CuSO <sub>4</sub>	ZnSO <sub>4</sub>
Metal	Zn	Cu	Zn	Cu	Zn	Cu

Tabla 1.

## Parte 2

1. Colocar en cada vaso de precipitados 2 gramos de cada uno de los elementos (aluminio, cobre y fibra metálica de hierro) y agregar a cada uno de los vasos de precipitados 10 ml de ácido clorhídrico.
2. Observe y registre los cambios existentes en cada una de las reacciones.

*Nota.- Al término de ambas partes del experimento agregar bicarbonato de sodio a cada uno de los vasos de precipitados y tubos de ensayo con la finalidad de no dejar ácido libre.*

## RESULTADOS

Llenar la siguiente tabla con las características observadas durante la realización de la práctica:

Tubos	Metal	Disolución	Observaciones
1			
2			
3			

4			
5			
6			
7			
8			
9			

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

1. Identificar que elemento es el reductor y cuál el oxidante en cada uno de los casos analizados.

Caso	Reductor	Oxidante
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		

2. De los elementos reductores, ¿cuál lo hace en mayor cantidad?
3. De los metales utilizados cuál de ellos se oxidan más fácilmente, explicar dicho fenómeno.
4. Identificar que elementos no se disuelven en ácidos diluidos. Y ¿Por qué?
5. ¿En una lata de aluminio podremos almacenar ácido clorhídrico?

## **CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS**

De acuerdo al desarrollo de la práctica y al análisis de resultados, elaborar las conclusiones.

## **CUESTIONARIO PREVIO**

1. Definir en qué consisten las reacciones redox de una sustancia.
2. ¿Qué le sucede a un átomo cuando se "oxida"?
3. ¿Qué le sucede a un átomo cuando se "reduce"?
4. ¿A qué se le denomina agente reductor y agente oxidante?
5. Analizar cuál sería el comportamiento que presentan los metales de la tabla conocida como "serie electromotriz".
6. Mencionar en qué consiste el método de "la media reacción".

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Dickerson, Richard E., *Principios de química*, Reverté, 1992.
- Reboiras, Thomson, Miguel Ángel Domínguez, *Química: La ciencia básica*, 2006.
- Parry, Robert W., *Química: Fundamentos experimentales*, Reverté, 1973.
- O'Connor, Paul R., *Química: Experimentos y teorías*, Reverté, 1982.

## Práctica 6 : Electrolitos y no electrolitos

Duración 2 hrs.

### OBJETIVO

El alumno podrá clasificar las sustancias como electrolitos o no electrolitos de acuerdo con su capacidad para conducir la corriente eléctrica. Además de relacionar el tipo de enlace de una sustancia con su capacidad para actuar como electrolito o no electrolito.

### INTRODUCCIÓN

Los electrolitos son sustancias (ácidos, bases y sales) que al disolverse en agua o fundidos, conducen la corriente eléctrica. Los electrolitos pueden clasificarse como débiles y fuertes, según estén parcial o totalmente ionizados o disociados en medio acuoso. Un electrolito fuerte es toda sustancia que al disolverse en agua, provoca exclusivamente la formación de iones con una reacción de disolución prácticamente irreversible. Estas sustancias son buenas conductoras de la electricidad ya sea fundida o en solución, por ejemplo:

$\text{KNO}_3 \rightarrow \text{K}^+ + \text{NO}_3^-$   $\text{NaOH} \rightarrow \text{Na}^+ + \text{OH}^-$   $\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{H}^+ + \text{SO}_4^{2-}$  ELECTROLITO

#### **Electrolito fuerte**

Se ionizan casi por completo en un disolvente, son buenos conductores de la electricidad, Svante Arrhenius consideró que un electrolito es una sustancia que, al disolverse en agua, conduce la corriente eléctrica, porque sus moléculas se disocian en iones, es decir, átomos cargados con electricidad. Puede haber electrolitos fuertes (cuando la disociación es prácticamente total), electrolitos débiles (si se disocia menos del 1% de las moléculas), y no electrolitos (si no se produce la disociación). Son electrolitos fuertes, el ácido clorhídrico (HCl), el ácido

sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) y el ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>); todos los hidróxidos (excepto el hidróxido de amonio NH<sub>4</sub>OH) y la mayoría de las sales.

Un electrolito débil es una sustancia que al disolverse en agua, se disocia parcialmente, son reacciones de tipo reversible. Estas sustancias no son buenas conductoras de la electricidad. Por ejemplo:  $\text{NH}_4\text{OH} \rightleftharpoons \text{NH}_4^+ + \text{OH}^-$ . Se ionizan solo de forma parcial, conducen la electricidad en menor grado que una solución de igual concentración de un electrolito fuerte.

### **Electrolito débil**

No producen iones al disolverse en agua, por ejemplo los alcoholes (-ROH). Los no electrolitos son sustancias que ni fundidos ni en solución conducen la corriente eléctrica. Lo anterior se puede explicar de la siguiente manera: Para que una solución conduzca la corriente eléctrica debe estar formada por un electrolito y un disolvente polar, si la solución no conduce la corriente eléctrica, se puede deber a dos factores: a) el soluto es no electrolito y b) el disolvente es no polar. Tanto disolvente como soluto puro son malos conductores de la electricidad. Los electrolitos al disolverse en un disolvente polar pueden: a. disociarse b. ionizarse

### **Disociación**

Disociación en química es un proceso general en el cual moléculas complejas o sales se separan en moléculas más pequeñas, iones o radicales, usualmente de manera reversible. Disociación es lo opuesto de la asociación, síntesis o recombinación, cuando un ácido de Bronsted-Lowry se pone en el agua, un enlace covalente entre un átomo electronegativo y un átomo de hidrógeno se rompe por la fisión heterolítica, lo que da un protón y un ión negativo.

### **Ionización**

La ionización es el proceso químico mediante el cual se producen iones, estos son átomos o moléculas cargadas eléctricamente debido al exceso o falta de electrones respecto a un átomo o molécula neutra. A la especie química con más

electrones que el átomo o molécula neutra se le llama anión, y posee una carga neta negativa, y a la que tiene menos electrones catión, teniendo una carga neta positiva.

### **Conductimetria**

Es un método analítico basado en la conducción eléctrica de los iones en solución, que se utiliza para medir la molaridad de una disolución, determinada por su carga iónica, o salina, de gran movilidad entre dos puntos de diferente potencial. La conductividad eléctrica es un fenómeno de transporte en el cual la carga eléctrica (en forma de electrones o iones) se mueve a través de un sistema. Su fundamento se basa en la ley de Ohm, es decir, cuanto mayor sea la carga eléctrica / iónica de nuestra muestra, más intensidad detectaremos entre los dos puntos de diferente potencial, o electrodos, a una resistencia constante. La conductividad eléctrica es un fenómeno de transporte en el cual la carga eléctrica (en forma de electrones o iones) se mueve a través de un sistema.

### **Electroquímica**

Cuando se colocan electrodo en un electrólito y se aplica un voltaje, el electrólito conducirá electricidad. Los electrones solos normalmente no pueden pasar a través del electrólito; en vez de ello, una reacción química sucede en el cátodo, consumiendo los electrones del cátodo, y otra reacción ocurre en el ánodo, produciendo electrones para ser capturados por el ánodo. Como resultado, una nube de carga negativa se desarrolla en el electrólito alrededor del cátodo, y una carga positiva se desarrolla alrededor del ánodo. Los iones en el electrólito se mueven para neutralizar estas cargas para que las reacciones puedan continuar y los electrones puedan seguir fluyendo. Por ejemplo, en una solución de sal ordinaria (cloruro de sodio, NaCl) en agua, la reacción en el cátodo será  $2\text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{OH}^- + \text{H}_2$

Con lo que burbujeará gas hidrógeno; la reacción en el ánodo es:  $2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{O}_2 + 4\text{H}^+ + 4\text{e}^-$  Con lo que se liberará gas oxígeno. Los iones sodio  $\text{Na}^+$

positivamente cargados reaccionarán hacia el cátodo, neutralizando la carga negativa del  $\text{OH}^-$  ahí presente, y los iones cloruro  $\text{Cl}^-$  reaccionarán hacia el ánodo neutralizando la carga positiva del  $\text{H}^+$  de ahí. Sin los iones provenientes del electrólito, las cargas alrededor de los electrodos harían más lento el flujo continuo de electrones; la difusión de  $\text{H}^+$  y  $\text{OH}^-$  a través del agua hacia el otro electrodo tomaría más tiempo que el movimiento de los iones de sodio más prevalentes. En otros sistemas, las reacciones de los electrodos pueden involucrar a los metales de los electrodos, así como a los iones del electrólito. Los conductores electrolíticos pueden ser utilizados en dispositivos electrónicos donde la reacción química en la interface metal/electrólito produce efectos útiles.

La propiedad de las sustancias de comportarse como electrolitos se aprovecha en muchos procesos electroquímicos.

### **MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO**

#### Material

- ✓ 1 Agitador.
- ✓ 10 Vasos de precipitado de 50 ml.
- ✓ 1 Socket con foco y conexión interrumpida.

#### Reactivos

- ✓ Agua destilada.
- ✓ Azúcar.
- ✓ Sal común.
- ✓ Ácido clorhídrico.
- ✓  $\text{NaCl}$ .
- ✓ Oxido de aluminio.
- ✓ Bicarbonato de sodio.
- ✓ Acido acético.
- ✓ Cloruro de sodio.

- ✓ Hidróxido de calcio.
- ✓ Alcohol.



Agua Destilada



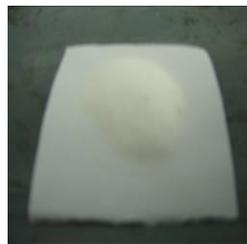
Acido Clorhídrico



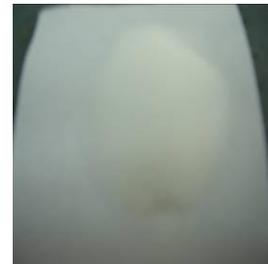
Hidróxido de Calcio



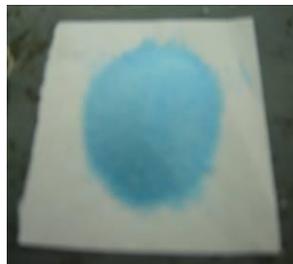
Cloruro de Sodio



Óxido de Aluminio



Bicarbonato de Sodio

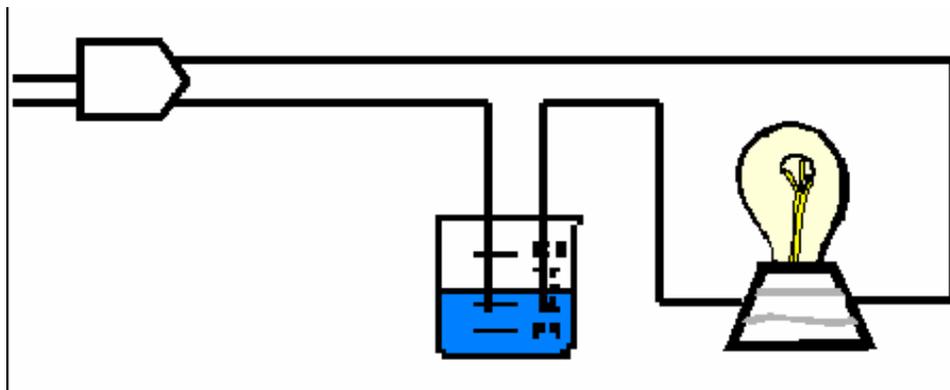


Sulfato de Cobre

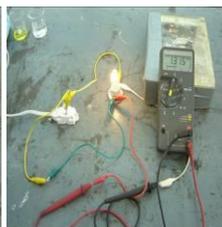
## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Etiquetar 10 vasos de precipitado marcándolos con los nombres de los reactivos.
2. Colocar 0.3 gr. de cada una de las sustancias y depositarlas en el vaso correspondiente.

3. Agregar 10 ml. de agua destilada a cada uno de los vasos, y agitarlo hasta que se disuelva totalmente.
4. Colocar los electrodos de prueba en cada una de las diferentes sustancias y verificar si conducen o no conducen la corriente eléctrica.
5. Repetir la actividad anterior agregando adicionalmente 10 ml de agua destilada a cada uno de los vasos, nuevamente verifique si conduce o no conduce la corriente eléctrica.



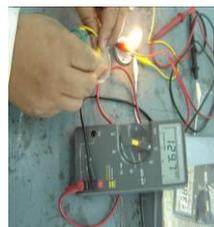
Circuito eléctrico



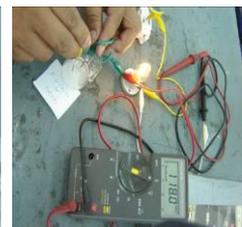
Agua destilada



Cloruro de Sodio



Hidróxido de Calcio



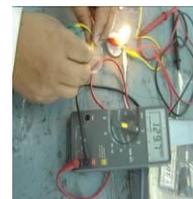
Sulfato de Cobre



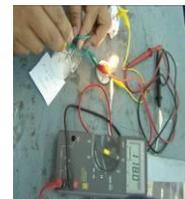
Bicarbonato de Sodio



Óxido de Aluminio



Ácido Clorhídrico



## **RESULTADOS**

---

1. De acuerdo a los experimentos realizados, clasificar a las sustancias en electrolitos y no electrolitos de acuerdo a su conductividad eléctrica y enlace químico presente.
2. Realizar una tabla con los resultados obtenidos.

## **ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

---

1. De acuerdo a la teoría, una solución conduce la corriente cuando está formada por un electrolito y un disolvente polar. ¿Cuáles de las reacciones realizadas cumplen con esta condición y por qué?
2. De los reactivos propuestos en esta práctica, cuáles se clasifican como disolvente no polar o como no electrolito, y por qué.

## **CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS**

---

De acuerdo al desarrollo de la práctica, determinar cuáles de los reactivos tienen un comportamiento como electrolito fuerte, débil. Dar las razones de esto.

## **CUESTIONARIO PREVIO**

---

1. ¿Qué es un electrolito y qué es un no electrolito?
2. ¿Qué es un disolvente polar y cómo actúa?
3. ¿Qué es un electrolito fuerte y uno débil?
4. ¿En qué consiste la ley de Arrhenius?
5. ¿Qué medidas de seguridad debe considerar al trabajar los reactivos propuestos en esta práctica? (Ver reactivos en el apartado de Material).

## BIBLIOGRAFÍA

---

- Huheey, James, E., Ellen A. Keiter, Richard L. Keiter, *Principios de estructura y reactividad*.
- Skoog, Douglas, A., Donald M. West, F. James Holler Stanley, R. Crouch, *Fundamentos de Química Analítica*, 2005.
- Petrucci, Ralph, H. Williams S., Harwood, *Química General*, Pearson Education, 2002.
- [es.wikipedia.org/wiki/Estequiometria](http://es.wikipedia.org/wiki/Estequiometria)
- [www.eis.uva.es/qgintro/estaq/esteq.html/](http://www.eis.uva.es/qgintro/estaq/esteq.html/)

## Práctica 7 : Corrosión y su Prevención

Duración 2 hrs.

---

### OBJETIVO

El alumno aprenderá los principios básicos del fenómeno de corrosión y podrá evaluar los elementos que promueven el deterioro del material. Además aplicará algunas medidas generales que permitan aumentar la vida útil de las piezas y componentes susceptibles a dicho fenómeno, mediante Técnicas de Protección.

---

### INTRODUCCIÓN

#### Corrosión

La corrosión puede definirse como la alteración energética del material, debido al medio ambiente que lo rodea, en términos de degradación del metal.

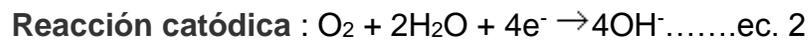
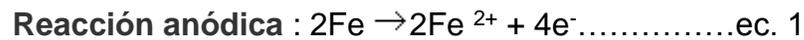
El mecanismo por el cual se corroen los metales, es la corrosión electroquímica.

**Corrosión Electroquímica** - La corrosión es un proceso electroquímico en el cual un metal reacciona con su medio ambiente para formar óxido o algún otro compuesto. La celda que causa este proceso está compuesta esencialmente por tres componentes: un ánodo, un cátodo y un electrolito (la solución conductora de electricidad).

El ánodo es el lugar donde el metal es corroído: el electrolito es el medio corrosivo, y el cátodo, puede ser parte de la misma superficie metálica o de otra superficie metálica que esté en contacto, forma el otro electrodo en la celda y no es consumido por el proceso de corrosión. En el ánodo el metal corroído pasa a través del electrolito como iones cargados positivamente, liberando electrones que participan en la reacción catódica. Es por ello que la corriente de corrosión entre el

ánodo y el cátodo consiste en electrones fluyendo dentro del metal y de iones fluyendo dentro del electrolito.

Como ejemplo la corrosión electroquímica involucra dos reacciones de media celda, una reacción de oxidación en el ánodo y una reacción de reducción en el cátodo. Por ejemplo para la corrosión del hierro en el agua con un pH cercano a neutralidad, estas semireacciones pueden representarse de la siguiente manera:



Los daños causados por la corrosión electroquímica son mayores a los originados por oxidación directa. Para que la corrosión electroquímica se dé, es necesario que el metal se encuentre en contacto con un líquido o atmósfera relativa superior al 50%.

### **Pilas de corrosión**

El origen de las pilas de corrosión tiene lugar por el contacto de diferentes metales (par galvánico), diferencias en la estructura o propiedades de un mismo metal, o por diferencias en el electrolito, bien en sus características físicas como químicas (que afectan a las electroquímicas).

Una causa frecuente de corrosión son las corrientes vagabundas (especialmente las de corriente continua). Se trata de corrientes que circulan por el suelo, derivadas por ejemplo de la vía de los ferrocarriles electrificados y que antes de volver a su circuito de origen se conducen por medio de un buen conductor, como por ejemplo una tubería de acero. Las zonas de entrada de corriente son catódicas mientras que las de salida son anódicas y por lo tanto se corroen. La velocidad de corrosión depende de la densidad de corriente anódica, disolviéndose el acero a razón de 9,1 Kg. por cada amper y año (ley de Faraday).

Cuando los átomos del ánodo se disuelven para formar los iones, los electrones que se liberan hacen el ánodo negativo con respecto a la solución (realmente lo que se polariza negativamente es la capa de difusión entre el ánodo y el electrolito). Los electrones pasan al cátodo a través de la masa metálica y neutralizan los iones positivos. Por consiguiente, la corrosión es causada por los procesos simultáneos anódicos y catódicos (figura 1).

Reacciones en el ánodo (anódicas):

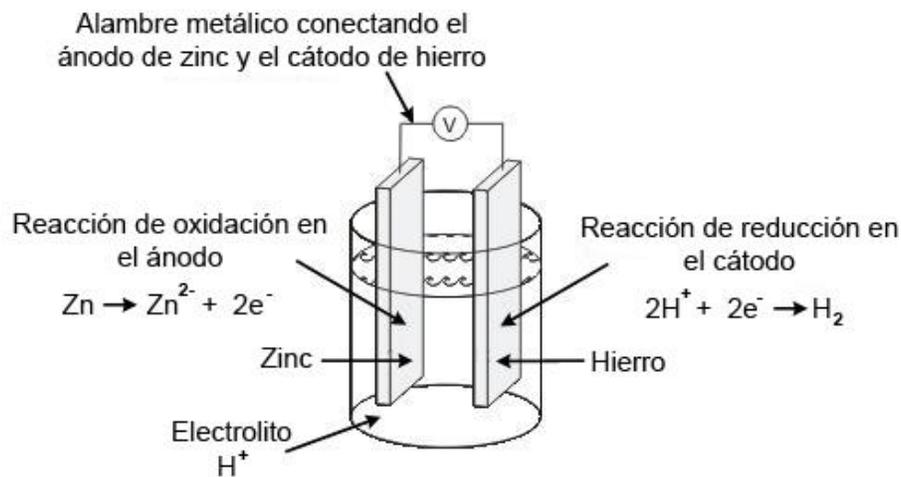
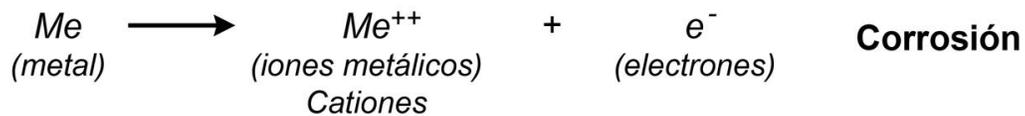


Figura 1. Celda electroquímica mostrando ánodo y cátodo en un proceso corrosivo.

### Tipos de corrosión electroquímica:

- Corrosión Uniforme.
- Corrosión en Grietas.
- Corrosión por Picaduras.
- Corrosión intergranular.
- Corrosión Selectiva.
- Corrosión bajo Tensión.
- Corrosión por Cavitación.

- Corrosión Bacteriológica.
- Corrosión Galvánica.

### **Métodos de prevención de la corrosión**

Una forma de evitar la corrosión es el correcto diseño de la pieza y las uniones, así como su interacción con el resto del sistema para evitar corrosión galvanica. Sin embargo, existen diferentes métodos para prevenir que se presente la corrosión como tal en ciertos elementos:

- Recubrimientos.
- Inhibidores.
- Protección Catódica.
- Protección Anódica.
- Selección de materiales y su tratamiento.
- Niquelado. En la práctica se realizará un recubrimiento por este procedimiento.

### **MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO**

Material:

- ✓ Vaso de precipitados de 1 Litro.
- ✓ Parrilla con calentamiento y agitación.
- ✓ Solución indicadora para el ataque.
- ✓ Agua Oxigenada.
- ✓ Sulfato de níquel 30gr./L.
- ✓ Hipofosfito de sodio 20 gr./L.
- ✓ Ácido Láctico 3ml/L.
- ✓ Ácido propiónico 1 ml/L.
- ✓ Plomo 1-4 gránulas por litro.
- ✓ Agua.
- ✓ Lámina de acero al C de 5x5 cm.
- ✓ Lámina de cobre, latón o bronce de 5x5 cm.

- ✓ Alambre de cobre.
- ✓ Clavo y tornillos de acero comerciales de cualquier tamaño.
- ✓ Tornillos de latón o bronce.
- ✓ Acetona.
- ✓ Clips niquelados e hilo de Nylon.

Equipo:

- ✓ Equipo de limpieza por ultrasonido.
- ✓ Balanza Analítica.
- ✓ Medidor de pH.
- ✓ Termómetro.
- ✓ Sistema de rotación de muestras.
- ✓ Cajas de Petri.
- ✓ Probetas de cobre.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

### **Corrosión Galvánica**

En esta parte se reproducirá el fenómeno de corrosión galvánica con el siguiente procedimiento:

1. Colocar un poco de la solución de ataque (solución de NaCl o agua oxigenada) en una caja de Petri.
2. Colocar un tornillo previamente lijado y desengrasado en la caja de Petri. Al término de 10 minutos observar las reacciones presentes.
3. Colocar en otra caja de Petri con solución de ataque, un segundo tornillo, el cual estará enrollado del alambre de cobre; previamente lijado y desengrasado. Al paso de 5 minutos observar y registrar las reacciones presentes.
4. En la lámina de acero colocar varios tornillos de latón o bronce, posteriormente ponerla en contacto con la solución de NaCl y otra con agua oxigenada (para acelerar el proceso corrosivo).

5. En la lámina de latón o bronce colocar los tornillos de acero, poniendo en contacto con una solución en otro recipiente, igual al paso anterior.

### **Niquelado**

El objetivo de esta segunda parte es proteger contra la corrosión una lámina de latón o bronce, para lo cual es necesario realizar un recubrimiento metálico sobre ella, con lo que se formará un recubrimiento que evitará su degradación.

Para realizar el experimento, seguir el procedimiento descrito a continuación:

1. Mezclar el sulfato de níquel en agua (**Recomendación para la práctica 500 ml de agua para 5 piezas y ajustar las proporciones de los reactivos de acuerdo a las indicaciones en el apartado de material y equipo**) a temperatura ambiente hasta que se disuelva completamente, agregando a continuación el hipofosfito de sodio, una vez disuelto, agregar el ácido láctico y posteriormente el ácido propiónico. Al término agregar un gránulo de plomo a la solución.
2. Calentar dicha solución hasta alcanzar los 90 grados Celsius.
3. Con ayuda del pHímetro medir el pH de la solución, el cual debe estar entre 4.4 y 4.8
4. Sumergir la lámina (la cual debe estar lijada y limpia mediante acetona en ultrasonido) en la solución, utilizando un clip niquelado que preñse a la lámina, sujeto con hilo nylon.
5. La solución debe estar en constante movimiento, lo cual debe llevarse a cabo empleando un agitador.
6. La lámina deberá permanecer en el baño en un tiempo de 5 a 10 minutos, evitando el contacto entre ellas.
7. Al término del procedimiento para generar el recubrimiento, introducir en la lámina los tornillos de acero (sin recubrimiento) y repetir cada uno de los pasos del experimento de corrosión galvánica.

### **Primera Parte:**

1. Reportar las reacciones observadas en cada uno de los casos e identificar los ánodos y cátodos de la reacción.
2. En el caso de las láminas, comparar las reacciones simultáneamente en los sistemas generados. Reportar las diferencias existentes.

### **Segunda Parte:**

1. Reportar las reacciones presentes al sumergir la lamina niquelada en la solución de sal.
2. Comparar las observaciones realizadas con respecto a la lámina sin niquelar.

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

De acuerdo a lo observado, se pudo determinar la efectividad de la protección realizada a la lámina, mediante el Niquelado. Es importante poder discutir dicho fenómeno y evaluar el deterioro sufrido del elemento en cuestión. A partir de lo anterior, analizar los resultados y contestar ampliamente lo siguiente:

1. ¿Cómo se interpretan los resultados obtenidos en cada uno de los eventos?
2. ¿Qué produce la corrosión y cuáles son los elementos que lo incitan?
3. ¿Qué otras técnicas efectivas existen para la protección de tuberías utilizadas en la conducción de hidrocarburos?

## CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS

Con base en los experimentos formular las conclusiones.

## **CUESTIONARIO PREVIO**

---

1. Definir el concepto de corrosión.
2. Describir el proceso de corrosión acuosa.
3. ¿Cómo se genera un par galvánico?
4. ¿A qué se le llama protección catódica y anódica?
5. Describir el proceso a seguir para la obtención de un “acero galvanizado”.
6. Citar dos ejemplos para cada recubrimiento de tipo cerámico y polimérico.
7. Mencionar a qué se le llama recubrimiento electrolítico y donde se llevan a cabo sus principales aplicaciones.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Márquez, U., *et al.*, *Manual de Prácticas del Laboratorio de Ciencia de Materiales*, Facultad de Ingeniería UNAM.
- Cerrud, S., *et al.*, *Corrosión y Protección*, Facultad de Ingeniería UNAM-Udiatem, 2003.
- Ávila, Mendoza Javier y Genesca Joan LLongueras, *Más Allá De La Herrumbre*, FCE, México.
- Bilurbina, Luis Alter, Et. Al., *Corrosión y protección*, Ediciones UPC, 2003.
- Herbert, H. Uhlig, Aguilar Eduardo (traductor), *Corrosión y control de corrosión*, URMO, 1979.

## Práctica 8 : Ensayos de tracción en materiales

Duración 2 hrs.

---

### OBJETIVO

El alumno determinará las propiedades mecánicas de diferentes materiales que se obtienen a través de la prueba de tracción, conocerá el equipo utilizado en esta prueba e interpretará la gráfica de metales y plásticos.

---

### INTRODUCCIÓN

#### Ensayo de tracción

Uno de los ensayos más importantes que se realizan para conocer las cargas que pueden soportar los materiales es el ensayo de tracción, el cual se evalúa a través de la Norma ASTM E-8 para materiales metálicos. El ensayo de tracción consiste en la deformación axial de un material dentro de un rango que contiene tres etapas:

- *Etapa I* - se observa la deformación elástica del material en la que el esfuerzo y la deformación son proporcionales. En esta etapa el material regresa a su estado inicial al retirarle la carga aplicada.
- *Etapa II* - consiste en la deformación del material en la zona plástica. En esta etapa la deformación total se divide en deformación elástica temporal y en deformación plástica permanente, a partir de un cierto tiempo de aplicar la carga hay un desplazamiento de planos de átomos dentro del material, y al dejar de aplicar la carga, el material ya no regresa a su estado original; puesto que sólo desaparece la deformación elástica.
- *Etapa III* - el material empieza a deformarse debido al movimiento de los planos cristalográficos y manifiesta una reducción de área en la sección transversal de la probeta hasta llegar a la fractura.

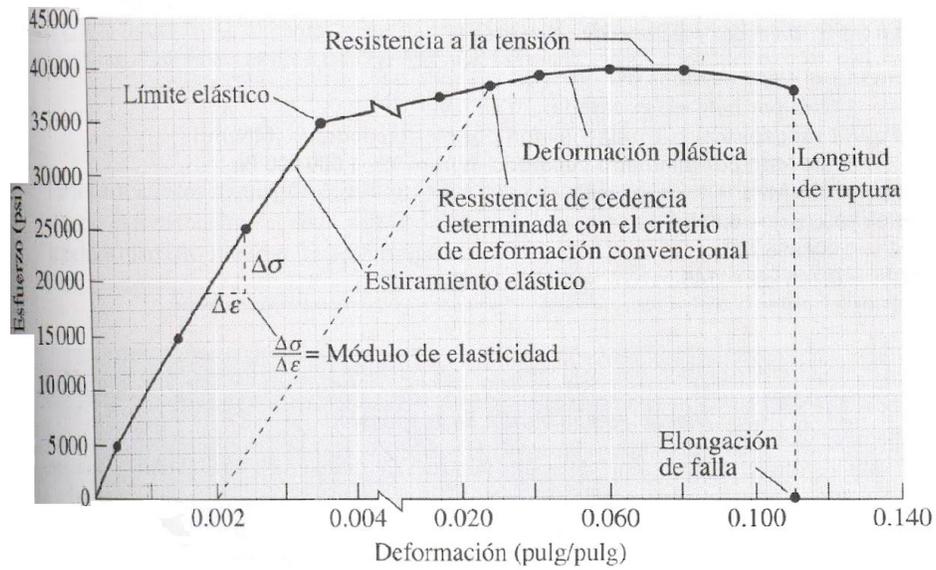


Figura 1. Curva esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril para una aleación de aluminio (Askeland; "Ciencia e Ingeniería de los Materiales", pág. 243)

Este ensayo se lleva a cabo con el uso de una máquina de tracción, cuyas partes principales se muestran en la figura 2.

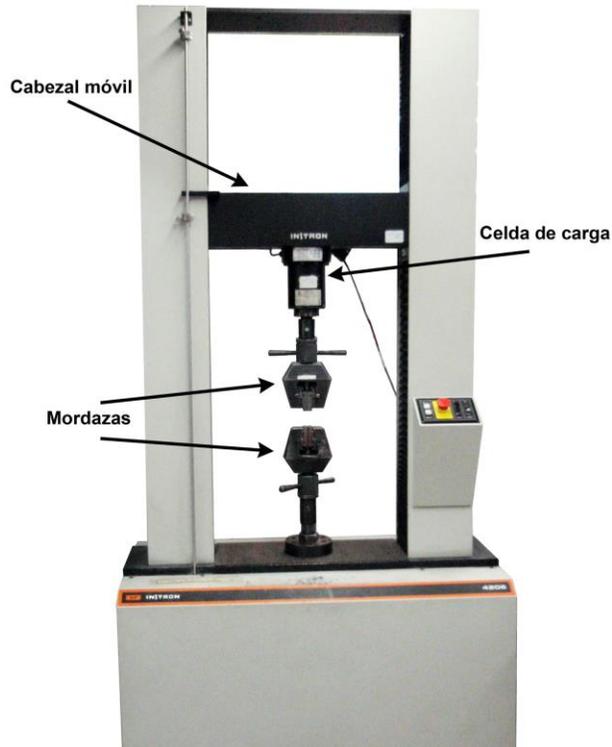


Figura 2. Esquema de una máquina de Ensayo de Tracción.

La máquina de ensayo de tracción aplica la deformación, mediante el desplazamiento del cabezal móvil (sección superior de la máquina) a una velocidad de acuerdo a la norma empleada en el ensayo. La celda de carga conectada a la mordaza fija (sección superior de la máquina), entrega una señal que representa la carga aplicada. Las máquinas cuentan con una pantalla y un elemento para graficar en un eje el desplazamiento y en otro la carga, obteniendo así la gráfica esfuerzo deformación del material en estudio.

En la figura 3 se muestra el diagrama esfuerzo deformación representativo de los materiales dúctiles. El diagrama empieza con una línea recta desde O hasta A. En esta región, el esfuerzo y la deformación son directamente proporcionales y se dice que el comportamiento del material es lineal. Después del punto A ya no existe una relación lineal entre el esfuerzo y la deformación, por lo que el esfuerzo en el punto A se denomina *límite de proporcionalidad*. La relación lineal entre el esfuerzo y la deformación puede expresarse mediante la ecuación, donde E es

una constante de proporcionalidad conocida como el módulo de elasticidad del material. El módulo de elasticidad es la pendiente del diagrama esfuerzo-deformación en la región linealmente elástica y su valor depende del material particular que se utilice.

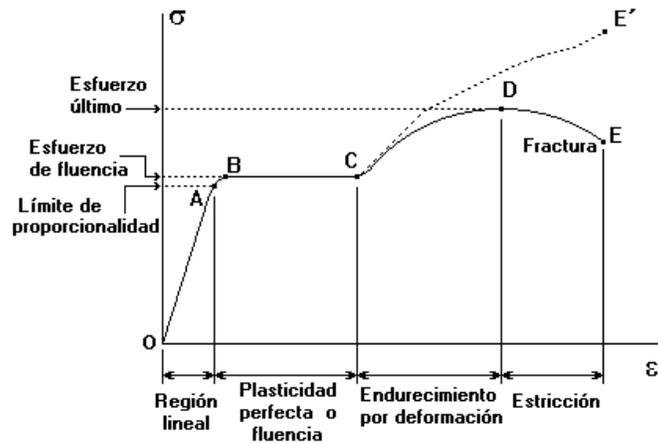


Figura 3. Diagrama esfuerzo-deformación de materiales dúctiles en tensión (fuera de escala).

Si para el cálculo del esfuerzo se emplea el área de la sección transversal en la parte estrecha del cuello ocasionado por la estricción, la curva real esfuerzo-deformación seguirá la línea punteada CE'. La carga total que puede resistir la probeta se ve efectivamente disminuida después de que se alcanza el esfuerzo último (curva DE), pero esta disminución se debe al decremento en área de la probeta y no a una pérdida de la resistencia misma del material. En realidad, el material soporta un aumento de esfuerzo hasta el punto de falla (punto E').

Sin embargo, con fines prácticos la curva esfuerzo-deformación convencional OABCDE, está basada en el área transversal original de la muestra, para facilidad del cálculo, pero suministra información satisfactoria para emplearla en el diseño.

En la figura 4 se muestra la forma de la probeta al inicio, al momento de llegar a la carga máxima y luego de la ruptura.

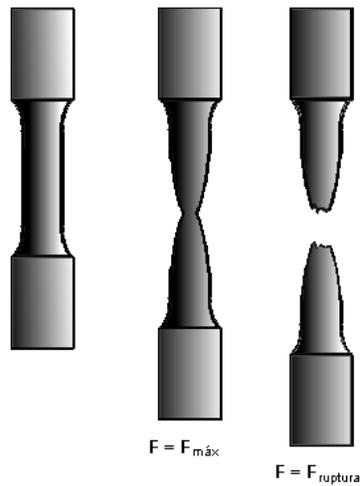


Figura 4. Etapas de una probeta durante el ensayo de tracción.

Para expresar la resistencia en términos independientes del tamaño de la probeta, se dividen las cargas por la sección transversal inicial  $A_0$ , obteniéndose:

resistencia a la fluencia: 
$$\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}$$

resistencia a la tracción: 
$$\sigma_{ult} = \frac{F_{max}}{A_0}$$

Las unidades del esfuerzo se expresan en:  $\text{Kg/mm}^2$  o  $\text{Mpa}$  o  $\text{Kpsi}$ , según el sistema de unidades utilizado.

**Considerando una probeta cilíndrica:** 
$$A_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}$$

La figura 5 ilustra una probeta al inicio del ensayo indicando las medidas iniciales necesarias.

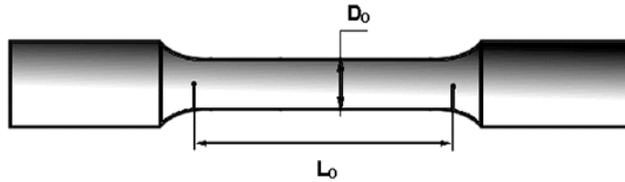


Figura 5. Probeta mostrando el diámetro y la longitud inicial,  $D_0$  y  $L_0$ .

Una vez fracturadas las probetas es posible medir dos parámetros: el alargamiento final  $L_f$  y el diámetro final  $D_f$ , que nos dará el área final  $A_f$  (figura 6).

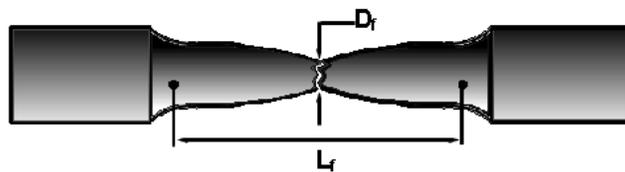


Figura 6. Longitud y diámetro final.

Estos parámetros iniciales y finales se expresan como porcentaje de reducción de área  $\%R_A$  y porcentaje de alargamiento entre marcas  $\%L$ :

$$\%R_A = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \quad ; \quad \text{Elongacion} = \% \Delta L = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100$$

Ambos parámetros son las medidas normalizadas que definen la **ductilidad** del material, que es la capacidad para *fluir*, es decir, la capacidad para alcanzar grandes deformaciones sin romperse.

La **fragilidad** se define como la negación de la ductilidad. Un material poco dúctil es frágil. La figura 7 permite visualizar estos dos conceptos gráficamente.

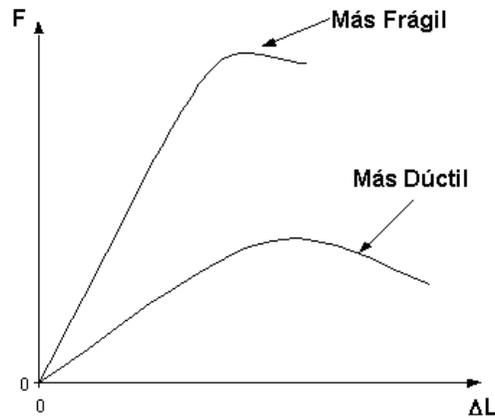


Figura 7. Gráfica de un material dúctil y de uno frágil.

El área bajo la curva fuerza - desplazamiento (F vs L) representa la energía disipada durante el ensayo, es decir, la cantidad de energía que la probeta alcanzó a resistir. A mayor energía, el material es más tenaz.

Los materiales que fallan en tensión a valores relativamente bajos de deformación unitaria se clasifican como materiales frágiles. Sin embargo, es posible distinguir algunas características comunes a los diagramas de varios grupos de materiales y dividirlos en dos amplias categorías: materiales dúctiles y materiales frágiles.

En los siguientes ejemplos de curvas se puede observar las características de diferentes materiales como: el hule que muestra una gran ductilidad al alcanzar una gran deformación ante cargas pequeñas; el yeso y el carburo de tungsteno muestran poca ductilidad, ambos no tienen una zona plástica; se rompen con valores bajos de elongación: son materiales frágiles. La única diferencia entre ellos es la resistencia que alcanzan (figura 8).

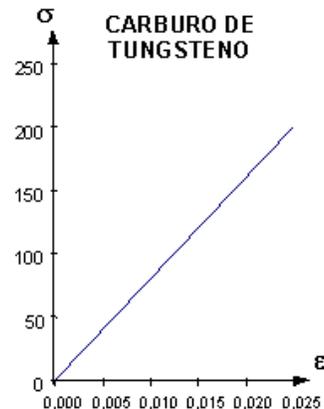
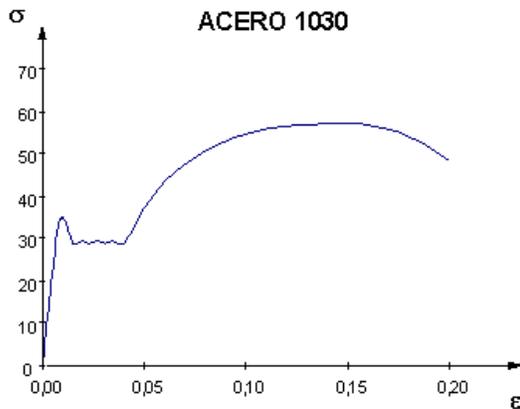
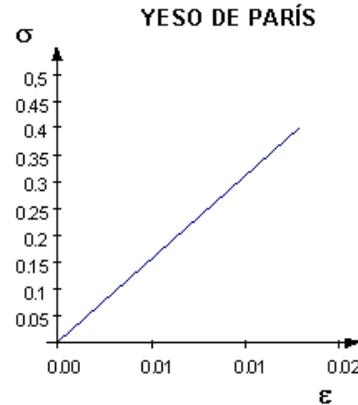
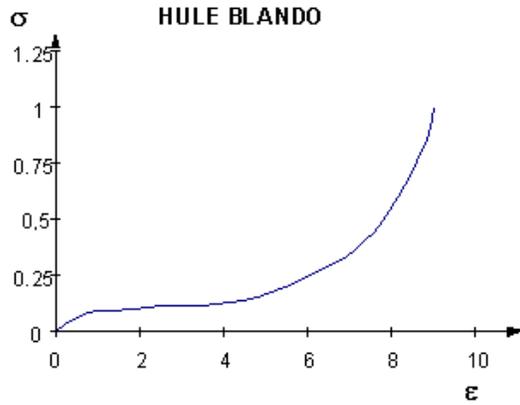


Figura 8. Distintas curvas en (1000 lb/pulg<sup>2</sup>).

A partir de los valores obtenidos en el gráfico fuerza-desplazamiento, se puede obtener la curva esfuerzo-deformación. El esfuerzo, que tiene unidades de fuerza por área. Donde la deformación esta expresada de la siguiente manera:

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$$

En la figura 9 se presenta un ejemplo del gráfico de esfuerzo-deformación del acero y aluminio respectivamente.

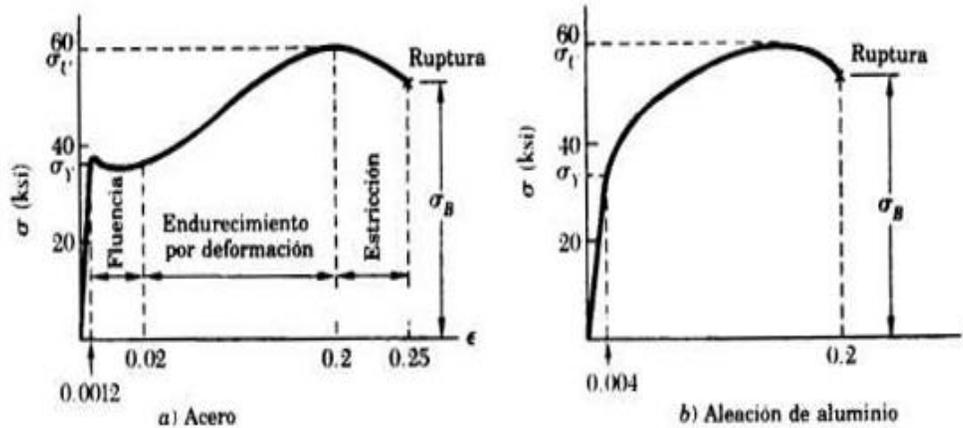


Figura 9. Diagramas esfuerzo-deformación de dos materiales dúctiles típicos.

En la zona elástica se cumple:  $\sigma = E\varepsilon$

Donde  $E$  es el Módulo de Elasticidad =  $2.1 \times 10^6$  (Kg / cm<sup>2</sup>)

Pero,  $\sigma = \frac{F}{A_0}$  y  $\varepsilon = \frac{L - L_0}{L_0}$  con lo que queda  $\frac{F}{A_0} = E \frac{L_f - L_0}{L_0}$  y

finalmente:

$$F = \frac{EA_0}{L_0}(L_f - L_0)$$

Los diagramas esfuerzo-deformación de diversos materiales varían ampliamente y diferentes ensayos de tensión con el mismo material pueden producir resultados diferentes de acuerdo con la temperatura de la probeta y la velocidad de carga.

Las velocidades a las que una prueba de tracción se debe realizar están estandarizadas por la norma ASTM en su límite superior al de la velocidad de deformación, sin embargo, durante un proceso de fabricación por razones económicas, la deformación debe ser tan rápida como sea posible, por lo que bajo estas condiciones la respuesta mecánica de un material dado puede variar, ya

que la resistencia de la muestra tienden a incrementarse si se incrementa la velocidad de deformación.

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [s^{-1}] \text{ o } [Hz]$$

Y si la velocidad del cabezal está dada por  $v = \frac{dl}{dt}$ , entonces, reacomodando términos:

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\left(\ln\left(\frac{L}{L_0}\right)\right)}{dt} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L}$$

Es decir la velocidad de deformación está en función directa de la velocidad del cabezal y la longitud de calibración L.

La variación del esfuerzo aplicado según la ley de Hooke está dada por  $\dot{\sigma} = E \dot{\varepsilon}$ , donde  $\dot{\varepsilon}$  está en función de ella, por lo cual el tamaño de la muestra repercutirá en los resultados obtenidos en el ensayo de tracción.

Las probetas para ensayos de tracción se fabrican en una variedad de formas. La sección transversal de la probeta puede ser redonda, cuadrada o rectangular.

Para la mayoría de los casos, en metales, se utiliza comúnmente una probeta de sección redonda. Para láminas y placas usualmente se emplea una probeta plana (figura 10).

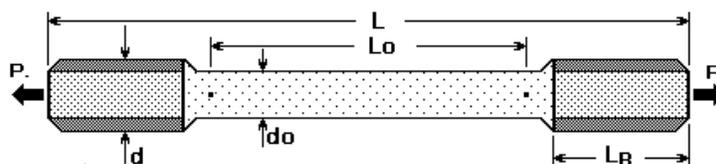


Figura 10. Probeta para ensayo de tracción.

Tabla 1. Medidas de las probetas para diferentes materiales.

Material	L (mm)	d (mm)	L <sub>R</sub> (mm)	L <sub>o</sub> (mm)	d <sub>o</sub> (mm)	d <sub>f</sub> (mm)	L <sub>f</sub> (mm)	Área (mm <sup>2</sup> )
Aluminio	14	1.9	4.1	5.6	1.3	0.66	11.22	1.3273
Acero	14	1.85	2.94	8.16	0.8	0.72	14.34	0.5026

La transición del extremo a la sección reducida debe hacerse por medio de un bisel adecuado para reducir la concentración de esfuerzos causados por el cambio brusco de sección.

El esfuerzo axial en el espécimen de prueba (probeta) se calcula dividiendo la carga P entre el área de la sección transversal (A):

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Cuando en este cálculo se emplea el área inicial de la probeta, el esfuerzo resultante se denomina esfuerzo nominal (esfuerzo convencional o esfuerzo de ingeniería). Se puede calcular un valor más exacto del esfuerzo axial, conocido como esfuerzo real.

Después de realizar una prueba de tensión y de establecer el esfuerzo y la deformación para varias magnitudes de la carga, se puede trazar un diagrama de esfuerzo contra deformación. Tal diagrama es característico del material y proporciona información importante acerca de las propiedades mecánicas y el comportamiento típico del material.

## MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

Material:

- ✓ Probetas maquinadas para ensayo de tracción de acero.
- ✓ Probetas de diferentes polímeros para ensayo de tracción.

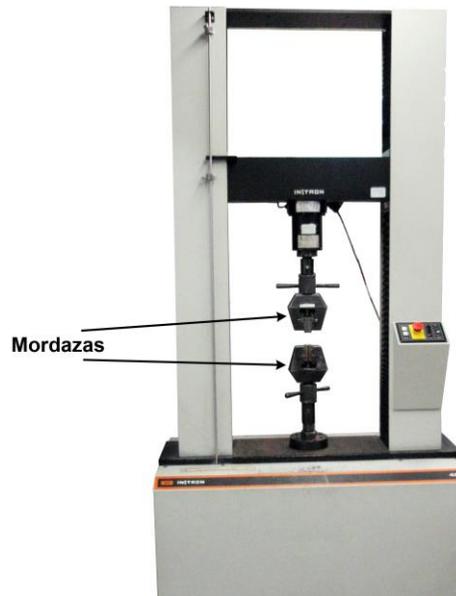
Equipo:

- ✓ Máquina Instron universal para tracción.
- ✓ Vernier.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Realizar varios ensayos de tracción siguiendo los pasos descritos a continuación:

1. Preparar la máquina para ensayos a tracción, colocando los aditamentos correspondientes para sujetar la probeta (figura 12).



*Figura 12. Máquina Instron para ensayos de tracción.*

2. Con ayuda del vernier, tomar las medidas de la probeta (figura 13).



Figura 13. Medir probeta

3. Colocar la probeta en las mordazas de la máquina para ensayos de tracción, asegurando que este bien sujeta antes de iniciar la prueba. Según la probeta que se va a ensayar, es el tipo de mordaza que se tienen que utilizar (figura 14).



a) *Probeta cilíndrica*



b) *Probeta plana*

Figura 14. Tipos de mordazas a) para probeta cilíndrica, b) para probeta plana.

4. Obtener una gráfica de carga contra desplazamiento, proporcionada por el graficador de la máquina de tracción (figura 15).

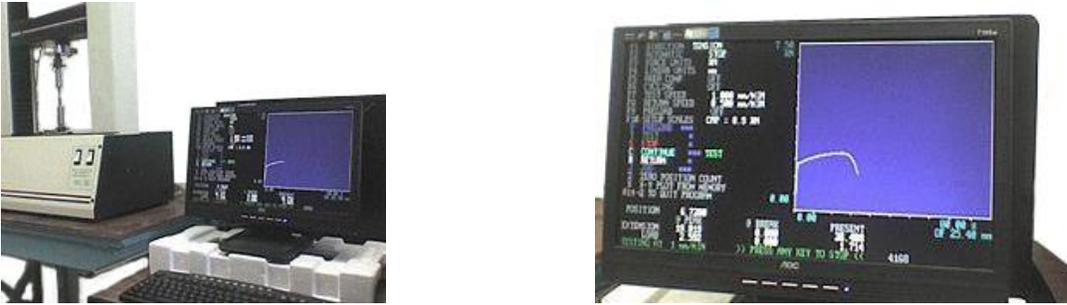


Figura 15. Generación de gráfica.

5. Una vez que ocurre la falla, retire las partes de la probeta ensayada, preséntelas y mida el diámetro de la sección de rotura, así como la nueva longitud entre los puntos de calibración.
6. Al retirar la probeta, analizar los tipos de fracturas, con lo que determinará a simple vista si el material presenta zonas plásticas o no, identificando las zonas de deformación (figura 16).

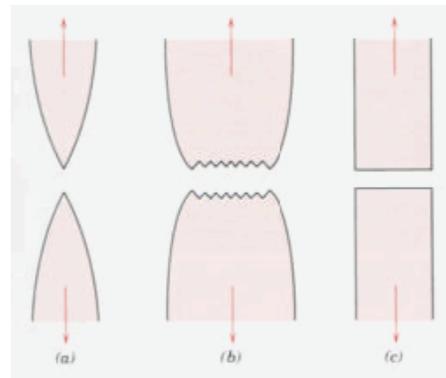


Figura 16. Tipos de fractura: a) dúctil, b) moderadamente dúctil, c) frágil sin deformación plástica.

7. Coloque una nueva probeta en la máquina y repita los pasos anteriores.

## RESULTADOS

1. Completar la siguiente tabla con los datos obtenidos en cada ensayo.

No. de ensayo	Tipo de probeta	Longitud inicial ( $L_o$ )	Diámetro inicial ( $D_o$ )	Longitud final ( $L_f$ )	Diámetro final ( $D_f$ )	Tipo de fractura
1						
2						
3						
4						

2. Transformar la curva proporcionada por el graficador de la maquina a un diagrama esfuerzo-deformación.
3. Determinar los esfuerzos de fluencia, máximo, de ruptura, así como también el modulo de Young para cada probeta.

### ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con los resultados anteriormente obtenidos, realizar las siguientes actividades:

1. Interpretar el diagrama esfuerzo vs deformación, de cada prueba realizada, y determinar los valores y zonas de importancia para el diseño en Ingeniería Mecánica.
2. Comparar los datos de esfuerzos obtenidos para cada material y analizar el significado de la diferencia entre los valores.
3. Comparar la ductilidad existente en las diferentes pruebas realizadas tanto para metales como polímeros.

### CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS

Elaborar las conclusiones a partir de lo observado en los resultados y el análisis de éstos.

---

## **CUESTIONARIO PREVIO**

1. Dibuje las curvas características de un ensayo de tracción para un material dúctil y para un material frágil.
2. Defina e identifique los siguientes puntos en una gráfica esfuerzo vs deformación:
  - a) Esfuerzo máximo
  - b) Esfuerzo de ruptura
  - c) Deformación elástica
  - d) Deformación plástica
  - e) Módulo de elasticidad
  - f) Esfuerzo de fluencia
  - g) Límite elástico
  - h) Límite de proporcionalidad
3. ¿Qué es ductilidad? ¿Cómo la podemos determinar en esta prueba?
4. Partiendo de una gráfica carga vs desplazamiento, ¿Qué cálculos debemos realizar para obtener la gráfica esfuerzo vs deformación?
5. Explique de qué manera influyen en un ensayo de tracción los siguientes parámetros:
  - a) Temperatura
  - b) Velocidad de aplicación
  - c) Forma de la probeta

---

## **BIBLIOGRAFÍA**

- Askeland, Donald R., *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, México, International Thomson Editores, 2004.
- *Manual de prácticas del laboratorio de ciencia de materiales I*, Departamento de Ingeniería Mecánica, División de Ingeniería Mecánica e Industrial.

## Práctica 9 : Ensayo de Dureza

Duración 2 hrs.

---

### OBJETIVO

El alumno comprenderá el concepto de dureza de un material y desarrollará la habilidad para operar los equipos más comunes que se emplean para su determinación.

---

### INTRODUCCIÓN

Para la elaboración de la presente práctica el alumno deberá conocer los siguientes aspectos:

- \* Ensayo de Dureza: qué es, cuál es su función, cuándo se aplica y qué información proporciona.
- \* Condiciones de uso para las Pruebas de Dureza Brinell y Rockwell, y para la Microdureza Vickers.
- \* Normas que rigen los diferentes tipos de ensayos.

### Descripción de los Ensayos de Dureza

El ensayo de dureza, mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material, efectuada por un objeto duro. Esta prueba es, generalmente, realizada imprimiendo en la muestra (la que está en reposo sobre una plataforma rígida) un indentador o penetrador de geometría determinada, bajo una carga estática conocida, que se aplica directamente o por medio de un sistema de palanca. Los métodos más comunes, que se detallarán en la práctica, son: ensayo de dureza Brinell, ensayo de dureza Rockwell y ensayo de microdureza Vickers.

El valor de dureza obtenido en una prueba determinada sirve sólo como comparación entre materiales o tratamientos. La prueba de dureza se utiliza ampliamente para inspección y control.

Los valores de dureza se usan, principalmente, como base de comparación para los materiales, especificaciones de fabricación y tratamiento térmico, control de calidad y correlación con otras propiedades y comportamiento de los materiales.

La dureza se correlaciona de modo estrecho con la resistencia al desgaste y a la abrasión del material.

### **A. Ensayo de Dureza Brinell**

La Prueba Brinell está limitada a secciones de tamaño menor. Sin embargo, esto constituye una ventaja cuando el material probado no es homogéneo. El equipo de dureza Brinell (figura 1), generalmente, consta de una prensa hidráulica vertical de operación manual, diseñada para forzar un indentador de balón dentro de la muestra a probar.



*Figura 1. Equipo para ensayo de dureza Brinell*

La dureza se evalúa relacionando la profundidad de penetración del indentador (de tamaño estándar) con el área de la huella que se imprimió. Según la norma ASTM E10-01 “*Standard Test Method for Brinell Hardness of Metallic Materials*”, el

indentador deberá ser un balín de acero duro (acero templado) o de carburo de tungsteno (WC) de 10, 5, 2.5, 1.125 ó 0.625 mm, y aplicando cargas de 3,000 kg para metales ferrosos y de 500 kg para materiales no ferrosos. Por lo general, el tiempo de permanencia de aplicación de carga por el balín es de 10 a 15 seg. para los materiales ferrosos y de 30 seg. para los materiales no ferrosos; aunque algunos equipos ya determinan este tiempo automáticamente.

El número de dureza Brinell se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$HB = 0.102 \times \frac{2F}{\pi D (D - \sqrt{D^2 - D_i^2})}$$

donde: constante =  $1/g = 1/9.80665 = 0.102$

F = carga de prueba [N]

D = diámetro del balín [mm]

$D_i$  = diámetro promedio de la huella [mm]

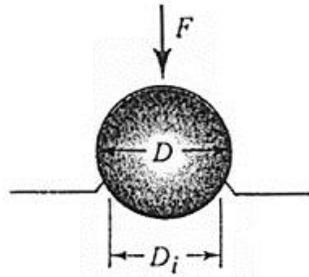


Figura 2. Balín para ensayo Brinell.

El tamaño, o diámetro promedio, de la huella también está estandarizado por la misma norma, en un intervalo del 25% al 60% del diámetro del balín, con la finalidad de que los datos obtenidos sean confiables. Por tanto, el valor de la carga de prueba dependerá de este intervalo y una manera de conocerlo es a través de valores específicos para cada uno de los materiales. De esta manera tenemos la

relación carga vs diámetro del balín (Q), que se emplea para los materiales mostrados en la siguiente tabla:

<i>MATERIAL</i>	Q
Aceros en general	30
Bronces y Latones	10
Aluminio y sus aleaciones	5
Aleaciones de Plomo y Estaño	0.25

Con la constante Q se puede tener un valor aproximado de la carga a utilizar mediante la siguiente tabla:

<i>Diámetro del Balín [mm]</i>	<i>Constante Q</i>			
	30	10	5	2.5
	<i>Cargas Aplicadas [kg]</i>			
10	3000	1000	500	250
5	750	250	125	62.5
2.5	187.5	62.5	31.2	15.6
1.25	46.9	15.6	7.81	3.91
0.625	11.7	3.91	1.95	0.98

Consideraciones importantes durante la realización del ensayo de dureza Brinell:

- a) La relación entre el espesor del material y la huella en la muestra deberá ser 10 veces mayor a la profundidad de la huella.
- b) La superficie sobre la que se va a efectuar la prueba debe estar maquinada, o esmerilada, de tal modo que la impresión de la huella quede suficientemente definida para permitir la medición del diámetro con la exactitud deseada.

## B. Ensayo de Dureza Rockwell

La Prueba Rockwell es una operación rápida y sencilla. Como las cargas y los indentadores, o penetradores, son menores que los utilizados en la prueba Brinell, ésta puede emplearse en muestras más delgadas y probarse tanto los materiales más duros como los más blandos.

En esta prueba de dureza se utiliza un equipo de lectura directa, basado en el principio de medición de profundidad diferencial. Como el orden de los números se invierte en el disco medidor, una impresión poco profunda en un material duro dará un número grande. En tanto que, una impresión profunda en un material blando dará un número pequeño.

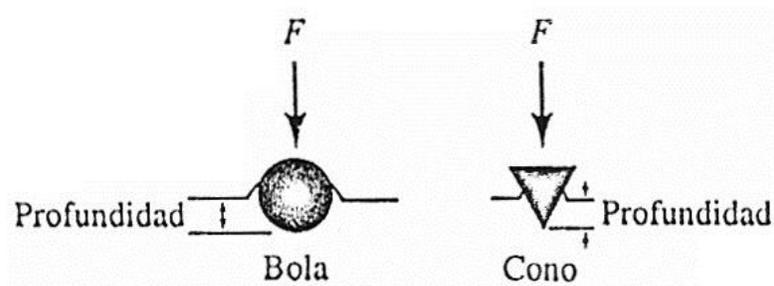


Figura 3. Tipos de indentador para ensayo de dureza Rockwell

Según la norma ASTM E18-03 “*Standard Test Methods for Rockwell Hardness and Rockwell Superficial Hardness of Metallic Materials*”, en este ensayo la muestra es penetrada por un indentador, el cual por lo regular es de punta cónica de diamante (para materiales duros) o de balín de carburo de tungsteno (para materiales blandos). Al aplicarse una precarga de aproximadamente 10 kg el material sufre una primera deformación, estableciendo una profundidad de referencia para la penetración. Después es aplicada la carga principal, la cual, dependiendo de la escala, podrá variar de 60 a 150 kg. Al retirarse la carga, el material se recupera parcialmente, quedando una profundidad de indentación que será convertida automáticamente por el equipo en una lectura, mostrada en su carátula.

La variación de la carga (60, 100 y 150 kg), junto con el tipo de indentador a usarse (punta cónica de diamante o balín de carburo de tungsteno de 1/16, 1/8, 1/4 ó 1/2”), dependerán de la escala utilizada, existiendo 15 diferentes escalas de medición. Además, existen las escalas denominadas “superficiales”, las cuales emplean un indentador cono de diamante o balín de 1/16”, cargas totales de 15, 30 y 45 kilogramos y siendo la precarga de 3 kg. Por lo que, existe un valor aproximado de 21 escalas de dureza Rockwell.



a) Analógico



b) Digital

Figura 4. Equipos para ensayo de dureza Rockwell.

Debido a las muchas escalas Rockwell, el número de dureza debe especificarse mediante el símbolo HR seguido de la letra que designa la escala y precedido de los números de dureza.

Consideraciones importantes durante la realización del ensayo de dureza Rockwell:

- a) Las muestras deben tener un espesor de, por lo menos, 10 veces la profundidad de la huella.
- b) Presentar una superficie limpia, seca, libre de óxidos, porosidades y metales extraños que puedan influir en las mediciones.

### C. Ensayo de Microdureza Vickers

La Prueba de Microdureza Vickers es el equipo (figura 5) más sensible de los utilizados para medir la dureza en la producción industrial. Tiene una escala continua para todos los materiales y el número de dureza es virtualmente independiente de la carga. En esta prueba, el equipo utiliza un marcador piramidal de diamante de base cuadrada con un ángulo incluido de  $136^\circ$  entre las caras opuestas.



Figura 5. Equipo para ensayo de microdureza Vickers

Este ensayo se rige bajo la norma ASTM E92-82 “*Standard Test Method for Vickers Hardness of Metallic Materials*”, y del mismo principio que los anteriores, con la diferencia que la lectura que se obtendrá será a niveles microscópicos y los números se expresan en términos de carga y área de impresión. La muestra se coloca en una platina, parecida a la de los microscopios ópticos, la cual se someterá a una indentación por medio de una punta cónica de diamante. Como resultado de la forma del marcador, la impresión sobre la superficie de la muestra será del tipo de un cuadrado. Una vez que la huella se ha impreso, se procede a medir la longitud de las diagonales que se observarán a través del ocular del microscopio integrado en el equipo, el cual está provisto de una retícula de medición. La escala indicada en la retícula está dada en micras [ $\mu\text{m}$ ].

Por lo general, hay tablas para convertir la diagonal medida al número de dureza piramidal Vickers. De no ser así, con los datos obtenidos se procede a calcularlo mediante la expresión:

$$HV = \frac{2P \operatorname{sen}(\alpha/2)}{d^2} = \frac{1.8544P}{d^2}$$

donde: P = carga aplicada [kgf]

d = longitud de la diagonal promedio del cuadrado de la impresión [mm]

$\alpha$  = ángulo de la cara del diamante =  $136^\circ$  (entre caras opuestas)

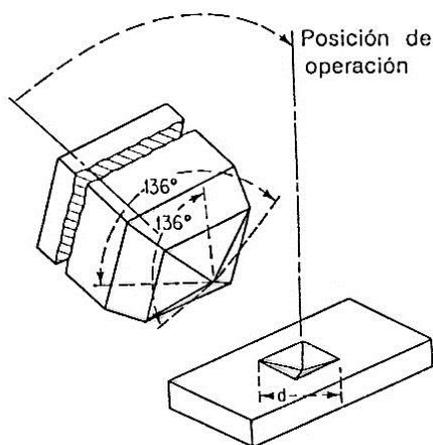


Figura 6. Indentador de punta cónica

Consideraciones durante la realización del ensayo de microdureza Vickers:

- Las superficies de las muestras deberán estar perfectamente pulidas y con un acabado espejo.
- La superficie de la muestra deberá estar lo más perpendicular posible a la punta del indentador.

## MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

Material:

- ✓ Muestras de diferentes materiales y con acabados superficiales diversos
- ✓ Plastilina

Equipo:

- ✓ Durómetro Brinell
- ✓ Durómetro Rockwell
- ✓ Microdurómetro Vickers
- ✓ Equipo y base para montar probetas

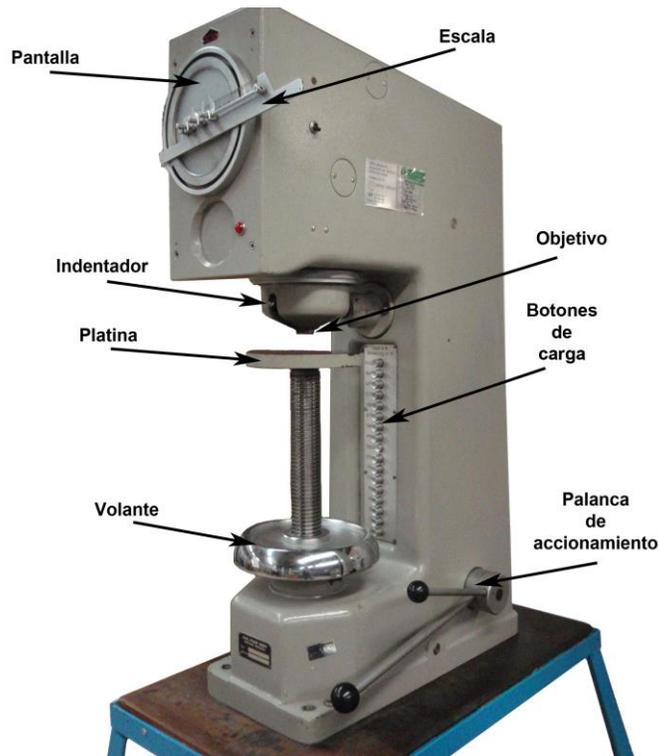
## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El alumno someterá varias muestras a los diversos ensayos de dureza para observar las diferencias que se observan a partir del equipo y material utilizado. Con base en los equipos, se realizarán los ensayos de dureza siguiendo los pasos indicados a continuación:

### **A. Durómetro Brinell:**

1. Preparar la muestra para el ensayo.
2. Seleccionar la carga a aplicar y el indentador con el diámetro adecuado para el tipo de material a probar.
3. Colocar la muestra en el yunque, o platina, y girar el volante hasta que su superficie se enfoque y se observe de manera correcta en la pantalla del equipo.
4. Cambiar el objetivo por el penetrador, de manera cuidadosa y lenta, por medio de la palanca de accionamiento, en ese momento se comenzará a aplicar la carga que se seleccionó.

5. Esperar el tiempo adecuado para que la maquina aplique la carga y después cambie el indentador por el objetivo, otra vez de manera cuidadosa y lenta.
6. Mida el diámetro de la huella obtenida por medio de la escala ocular graduada, o regleta, que se tiene sobre la pantalla. Nótese que la escala está en milímetros y está bajo aumentos de 20x.
7. Realice, por lo menos, 5 mediciones en cada probeta.



*Figura 7. Partes del equipo Brinell*

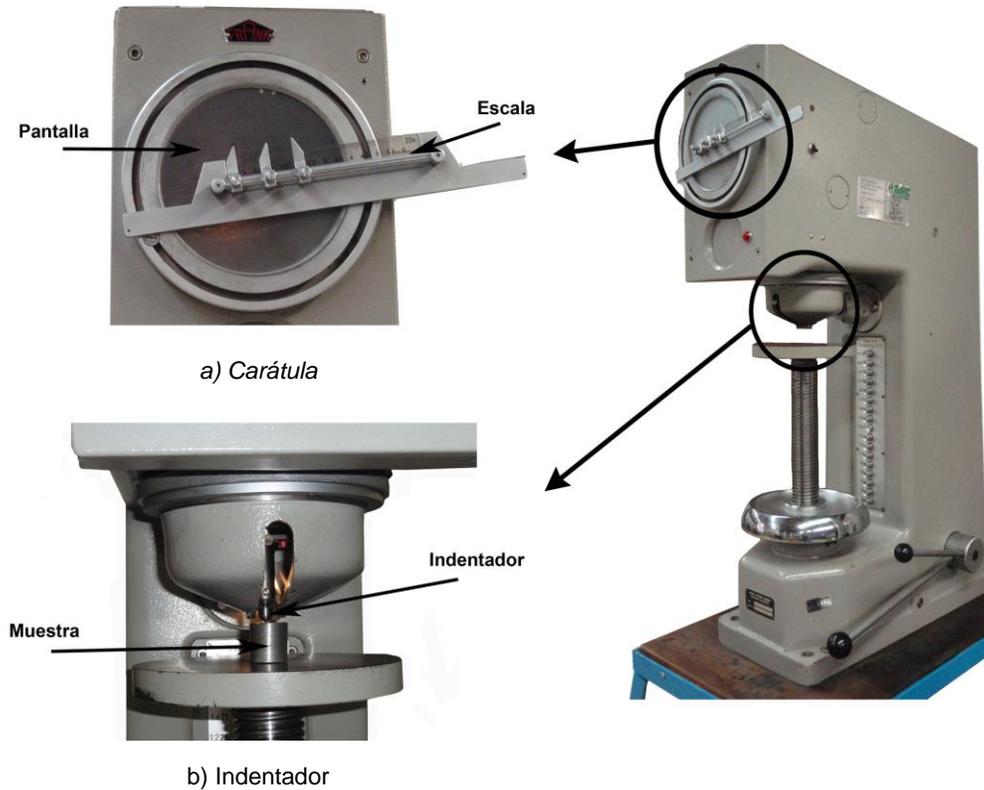


Figura 8. Detalle de la carátula y del sujetador para indentador del equipo Brinell.

## B. Durómetro Rockwell:

1. Preparar la muestra para el ensayo.
2. Seleccionar la carga a aplicar y el indentador, según el material al que se le vaya a realizar el ensayo, y colóquelos en su posición.
3. Gire el volante en sentido positivo de las manecillas del reloj hasta que la pequeña aguja indicadora, que se encuentra en la carátula, esté apuntando el punto rojo de la carátula. Si se pasa de ese punto, hay que volver a empezar este procedimiento en otro, nuevo, lugar de la probeta. En este momento se aplicó la precarga.
4. Ajustar la manecilla grande al cero de la escala negra (punto SET) por medio del movimiento de la carátula hacia donde sea necesario.
5. Aplicar la carga mayor mediante un leve impulso, hacia atrás, de la palanca colocada al costado derecho de la carátula.

6. Esperar hasta que la carga mayor termine de aplicarse para regresar la misma palanca hacia su posición original, de manera cuidadosa y lenta.
7. Lea el número de dureza directamente en la carátula, según la escala que haya elegido previamente.
8. Realice, por lo menos, 5 mediciones en cada probeta.

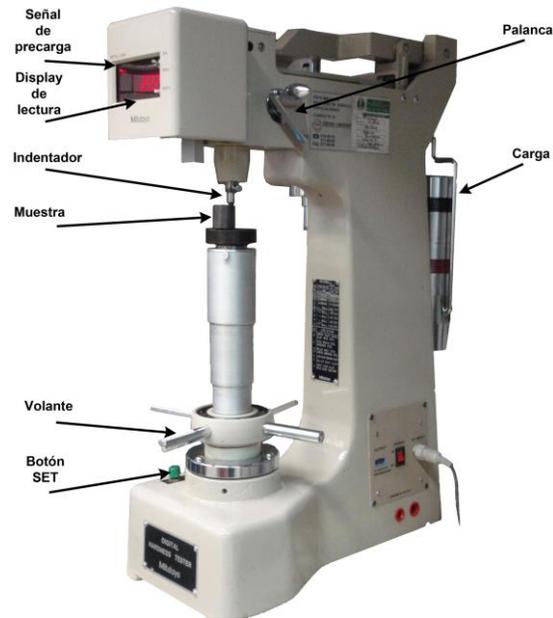


Figura 9. Partes del equipo digital para ensayo Rockwell.



Figura 10. Detalle de la carátula del equipo Rockwell analógico.

### **C. Microdurómetro Vickers:**

1. Preparar la muestra para el ensayo.
2. Asegurar la perpendicularidad del indentador con la superficie a probar, mediante el prensado de la muestra sobre plastilina en una placa, con ello se asegura que la superficie de la muestra es paralela a la platina.
3. Colocar la muestra preparada sobre la platina.
4. Colocar el disparador en su dispositivo.
5. Colocar la pesa del valor a utilizar.
6. Encender el microdurómetro (la luz estará en verde).
7. Enfocar la muestra con el objetivo de 10x.
8. Cambiar, por medio del revólver, del objetivo de 10x al indentador.
9. Aplicar la carga, esto se logra al accionar el disparador (cuando se aplica la carga, la luz pasará de verde a roja).
10. El microdurómetro, automáticamente, pasará de luz roja a ámbar, esto significa que la carga ha terminado de aplicarse y es necesario quitar la carga mediante un giro de la perilla (que se encuentra abajo al costado derecho del equipo) en sentido de las manecillas del reloj, de manera cuidadosa y lenta.
11. Una vez retirada la carga, se gira el revólver al objetivo de 50x, se enfoca la indentación y se mide la diagonal mayor por medio de la escala interna del ocular, como lo indicará el instructor.
12. Realice, por lo menos, 5 mediciones en cada probeta.

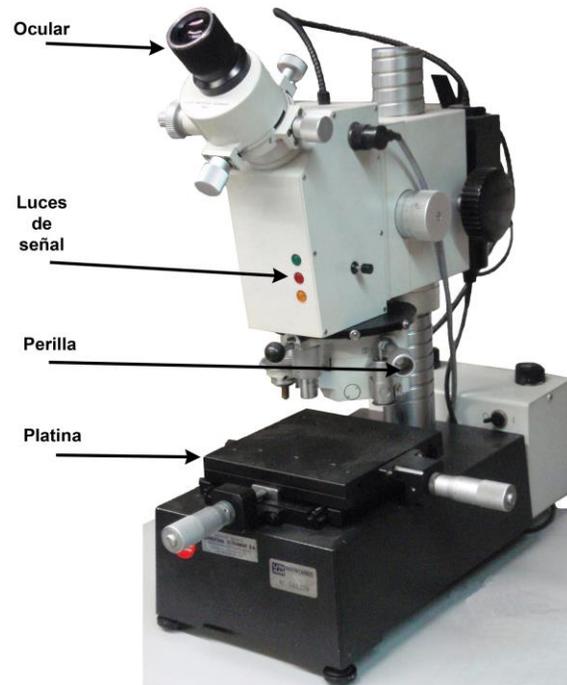


Figura 11. Partes del equipo para ensayo de microdureza Vickers.

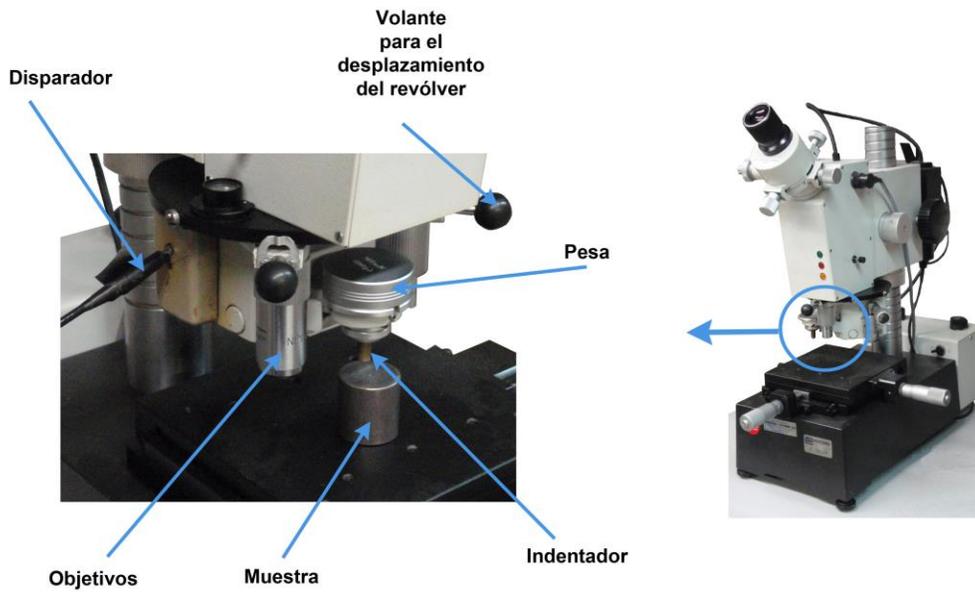


Figura 12. Detalle del equipo Vickers.

**Ensayo Brinell**

<b>Ensayo</b>	<b>Material</b>	<b>Indentador (Q)</b>	<b>Diámetro del balín (D)</b>	<b>Carga (F)</b>	<b>Diámetro de huella (Di)</b>	<b>Dureza Brinell</b>
1						
2						
3						
4						
5						

**Ensayo Rockwell**

<b>Ensayo</b>	<b>Material</b>	<b>Tipo de indentador</b>	<b>Dimensión indentador</b>	<b>Carga (F)</b>	<b>Número de dureza</b>
1					
2					
3					
4					
5					

**Ensayo Vickers**

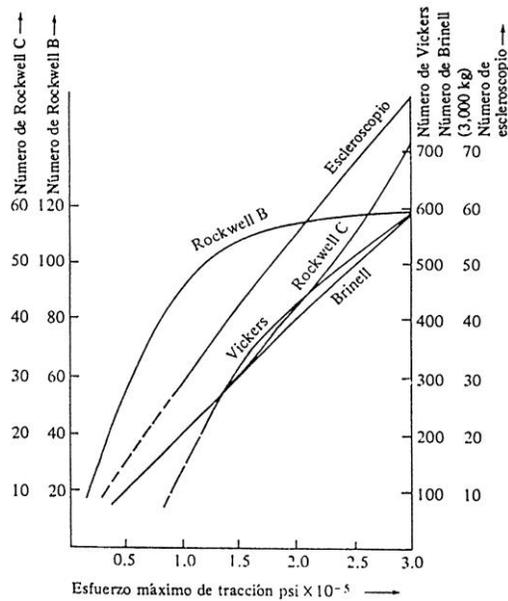
<b>Ensayo</b>	<b>Material</b>	<b>Tipo de indentador</b>	<b>Carga (P)</b>	<b>Diagonal generada (d)</b>	<b>Lectura de escala</b>	<b>Dureza Vickers</b>
1						
2						
3						
4						
5						

Algunos de los factores que influyen en la exactitud de los resultados de cualquier prueba de dureza por indentación son:

1. Condición del marcador de muestras.
2. Exactitud de la carga o esfuerzo aplicado.
3. Cargas o esfuerzos aplicados con impacto.
4. Condición de la superficie de la muestra.
5. Espesor de la muestra.
6. Forma de la muestra.
7. Localización de las impresiones.
8. Uniformidad del material.

A partir de estas consideraciones, contestar:

1. ¿Cómo influyeron estos factores en los resultados de la práctica?
2. Comparar y registrar los resultados de dureza obtenidos con los reportados por otras fuentes, para los materiales ensayados (anotar las fuentes consultadas).
3. ¿Cómo fueron los resultados con base en el análisis comparativo realizado? Exponer ampliamente el comportamiento de los resultados.
4. Mediante la siguiente gráfica, comparar la dureza aproximada entre los diversos valores obtenidos para cada material estudiado y dependiendo del tipo de ensayo:



## CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS

Con base en lo anterior, discutir el concepto de dureza de un material y su representación en las diferentes escalas manejadas, así como los casos de uso de cada método.

Elaborar una conclusión al respecto.

## CUESTIONARIO PREVIO

1. ¿Qué se entiende por dureza de un material? ¿Tiene alguna influencia en la dureza la estructura, el tamaño de grano y la composición?
2. Con los datos que se proporcionan a continuación y utilizando la ecuación para determinar el número de dureza Brinell, obtenga éste e indique el significado de cada término de la ecuación. Carga = 3000 Kg<sub>f</sub>; diámetro del penetrador = 10 mm; diámetro de la marca = 3.2 mm.
3. ¿Cómo es posible modificar la dureza de un material?
4. Es posible comparar los resultados de diferentes ensayos de dureza, ¿cómo se lograría esto?

5. Mencione que acabado superficial deben tener las muestras en cada prueba de dureza.
6. ¿En qué consiste la Microdureza Knoop?

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Anderson, J.C., *Ciencia de los Materiales*, 2a. edición, Limusa, 2000.
- Askeland, Donald R., *Ciencia e Ingeniería de los Materiales*, 4ta edición, México, Thomson, 2004.
- Callister, William D., *Materials Science and Engineering: An Introduction*, 6th edition, U.S.A., John Wiley & Sons, 2003.
- Callister, William D., *Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach*, 2nd edition, U.S.A., John Wiley & Sons, 2004.
- Mangonon, Pat L., *The Principles of Materials Selection for Engineering Design*, U.S.A., Prentice Hall, 1999.
- Smith, William F., *Foundations of Materials Science and Engineering*, 3rd edition, U.S.A., John Wiley & Sons, 2003.
- Shackelford, James F., *Introduction to Materials Science for Engineers*, 5th edition, U.S.A., Prentice Hall, 1999.

## Práctica 10 : Ensayo de Impacto

Duración 2 hrs.

---

### OBJETIVO

El alumno estudiará los conceptos básicos del comportamiento mecánico de los materiales, tales como: ductilidad, fragilidad, temperatura de transición dúctil-frágil, tenacidad, tenacidad relativa y los factores que alteran estas propiedades.

---

### INTRODUCCIÓN

El alumno deberá conocer los siguientes conceptos:

- \* Ensayo de Impacto: qué es, cuál es su función, cuándo se aplica y qué información proporciona.
- \* Normas que rigen el ensayo de impacto.
- \* Metodología de realización de las Pruebas de Charpy e Izod.

Las aplicaciones de los materiales en ingeniería son diversas, desde aquellas que se utilizan para diseño de componentes electrónicos hasta componentes para máquinas de forjado o prensado, donde los dados que se utilizan para ello deben resistir a los choques o golpes repentinos. Los efectos de estos choques pueden ser evaluados a través de una prueba o ensayo de impacto. En el ensayo de impacto las cargas máximas actúan instantáneamente y en algunos casos el esfuerzo al que se somete el material se puede realizar en condiciones parecidas a las de servicio.

Debido a que no es posible predecir o controlar todas las condiciones del ensayo de impacto, éste se utiliza mejor para la comparación y selección de los materiales que para obtener criterios de diseño. Este tipo de pruebas se utiliza en las industrias automotriz, aeronáutica y aeroespacial, que han encontrado que la

prueba de alta resistencia al impacto, generalmente garantizará un servicio satisfactorio de las piezas que pueden experimentar cargas de choque o impacto.

Otros ejemplos que reciben estas condiciones de servicio son: tanques, recipientes a presión y tuberías, que generalmente fallan debido a impactos que reciben, o a las condiciones de trabajo a las que se someten.

### **Ensayo de Impacto Charpy.**

Para poder seleccionar un material que resista un choque o golpe intenso y repentino, debe medirse su resistencia a la ruptura mediante una Prueba de Impacto (figura 1). En el ensayo de impacto, las cargas máximas actúan instantáneamente, en algunos casos, el esfuerzo al que se somete el material actúa en condiciones parecidas a las de servicio.



*Figura 1. Equipo para ensayo de impacto*

Para efectuar esta prueba, se deben maquinar muestras de forma y tamaño normalizados, según la norma ASTM E23-02a “*Standard Test Method for Notched Bar Impact Testing of Metallic Materials*”, que al sujetarse, serán rotas por un solo golpe de un péndulo para después medir la energía absorbida por la muestra durante la ruptura. El péndulo, con un peso  $P$ , se deja caer de una altura  $h$  produciendo un trabajo  $P \times h$ . Dependiendo de la forma de la muestra, será el tipo de ensayo que se realice, ya sea del tipo *Charpy* o del tipo *Izod*.

Por lo general, la máquina de impacto tiene un péndulo oscilante de peso fijo, que es elevado a una altura estándar, dependiendo del tipo de muestra que se pretende probar. A esa altura, con referencia al tornillo de banco, el péndulo tiene una cantidad definida de energía potencial. Cuando el péndulo se libera, esta energía se convierte en energía cinética hasta que golpea la muestra (figura 2).

En cualquier caso, Charpy o Izod, una parte de la energía del péndulo se utilizará para romper la muestra, provocando que el péndulo se eleve en el lado opuesto de la máquina a una altura menor que aquella con que inició su movimiento, desde ese mismo lado de la máquina.

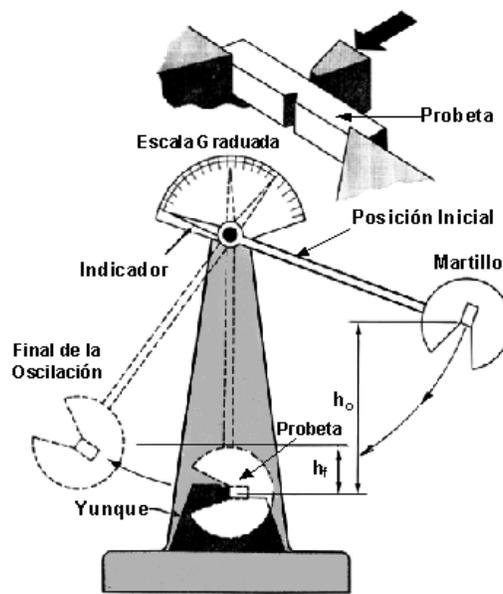


Figura 2. Ensayo de impacto.

Cuando el péndulo golpea a la probeta, ésta absorbe una energía potencial cuyo valor es:

$$\text{Energía de Impacto} = E = P (H - h) \text{ [kgf} \cdot \text{m]}$$

donde:

$E$  = energía absorbida por la muestra durante la ruptura [J].

H = altura inicial del péndulo [m].

h = altura final del péndulo [m] (alcanzada después de realizado el ensayo).

Después de realizar este tipo de ensayo, los parámetros que se pueden evaluar son (figura 3):

- a) *Ductilidad*. Capacidad de un material para deformarse permanentemente, sin romperse cuando se le aplica una fuerza.
- b) *Fragilidad*. Capacidad de un material de presentar poca evidencia, o ninguna, de una deformación plástica antes de que ocurra la falla.
- c) *Temperatura de transición de dúctil a frágil*. Temperatura debajo de la cual un material se comporta de forma frágil en un ensayo de impacto. El cambio de dúctil a frágil también depende de la velocidad de deformación.

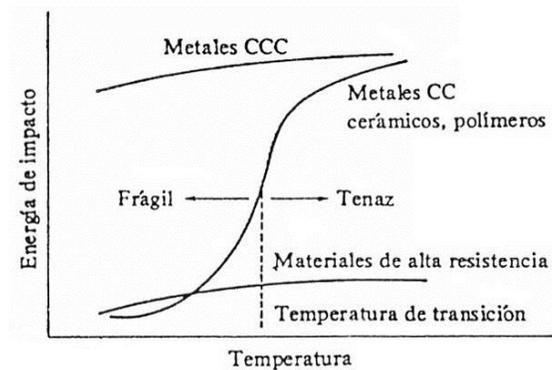
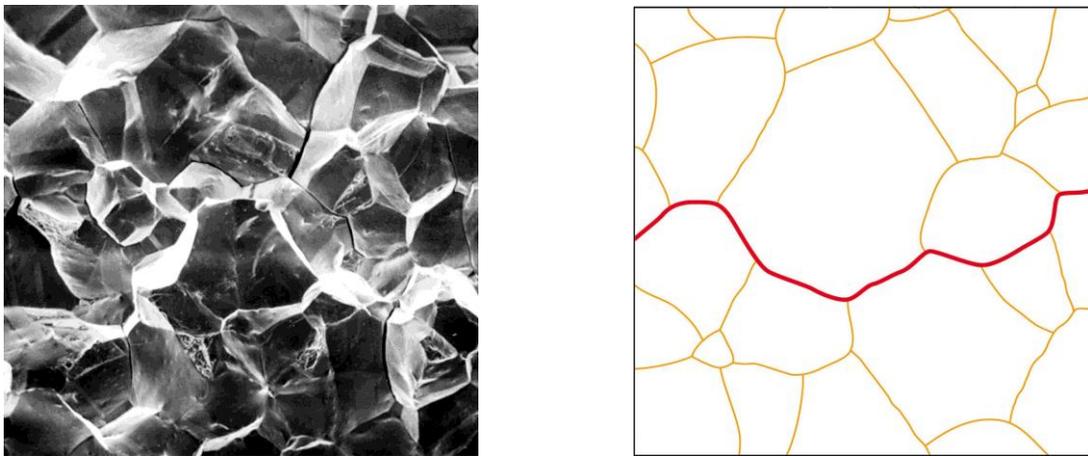


Figura 3. Gráfica Temperatura vs Energía de impacto

- d) *Tenacidad*. Medida cuantitativa de la energía necesaria para causar la ruptura de un material. Una forma de medir la tenacidad es la energía que absorbe un material durante el ensayo impacto.
- e) *Tenacidad relativa al impacto*. Es la energía absorbida por un material, por lo general con una muesca, durante la fractura y bajo las condiciones del ensayo de impacto. La tenacidad obtenida es *relativa*, debido a la existencia de la muesca en la probeta, la cual trabaja como un concentrador de esfuerzos y provoca que la fractura se presente en esa área.

En los materiales de ingeniería se presentan dos tipos de fractura que son: Dúctil y Frágil.

Para que exista una falla, el material debe estar sujeto a esfuerzos excesivos. En la fractura dúctil la deformación será plástica, por lo tanto son fracturas con absorción de energía relativamente alta. Este tipo de falla se caracteriza por la propagación estable de la grieta, esto quiere decir, que si se le quita la carga que produce la grieta, ésta dejará de crecer. A escala macroscópica la fractura presentará una superficie rugosa y, casi siempre, se encontrará rebaba cerca de los bordes de la fractura. A una escala microscópica, mostrará una apariencia picada y una fractura transgranular, esto es a través de los granos (figura 4).



*Figura 4. Fractura dúctil*

En la fractura frágil, la deformación plástica es mínima y la absorción de energía muy baja. Los factores que propician las fracturas frágiles son las temperaturas bajas, cargas aplicadas con rapidez y estados triaxiales de esfuerzos asociados con defectos o grietas. A una escala macroscópica, la superficie de la fractura tiende a ser plana, sin rebaba, a una escala microscópica, muestra una separación de los planos cristalográficos y una fractura intergranular; esto es entre los granos o a lo largo de los límites de grano (figura 5).

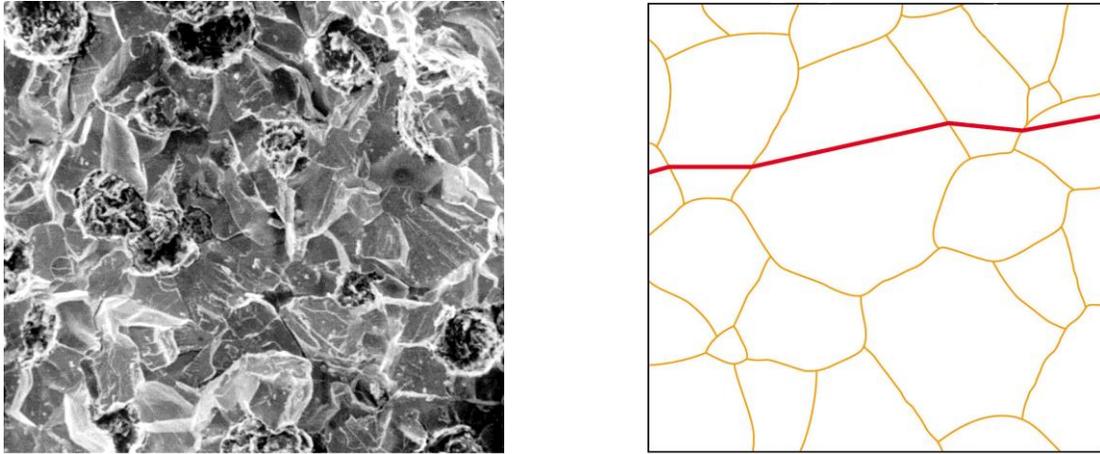


Figura 5. Fractura frágil

### Características de la Probeta para el ensayo de Impacto Charpy:

La norma bajo la cual se rige este tipo de ensayo, establece que las muestras del tipo Charpy, o del tipo Izod, tendrán las siguientes características (figura 6):

- Es importante que las probetas estén bien maquinadas, para evitar concentradores de esfuerzo.
- La presencia de una muesca, o ranura, ocasiona combinación de esfuerzos multiaxiales en dirección perpendicular al mayor esfuerzo y una concentración de esfuerzos en la base de la ranura, por lo que la forma de la entalladura será la más exacta posible. La forma de la muesca puede ser en “V”, “U” o de “ojo de cerradura”.

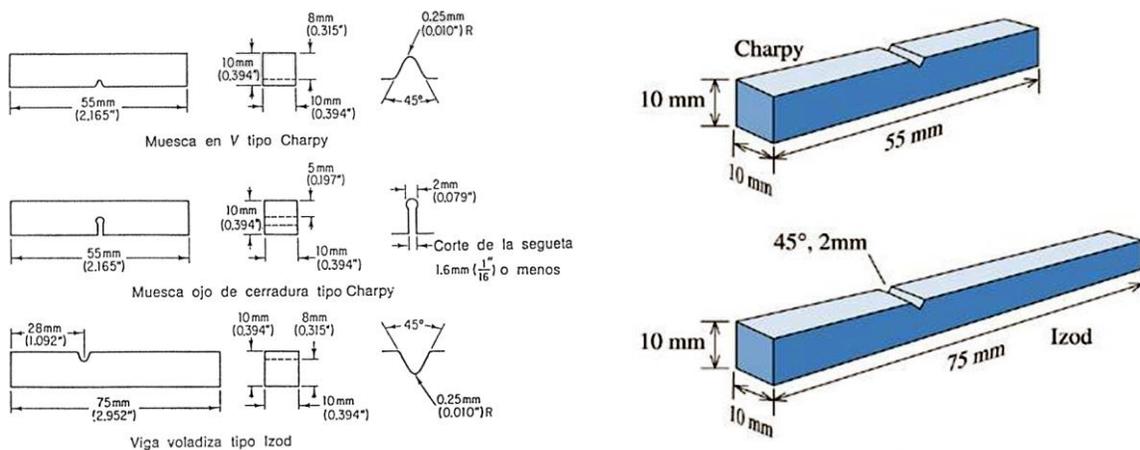


Figura 6. Características de las probetas para ensayo tipo Charpy e Izod.

- c) Colocación de la probeta en la máquina. La posición de la probeta en el ensayo Charpy, es de una viga simplemente apoyada en dos puntos, donde el péndulo golpea la parte posterior de ésta, justo detrás de la muesca. La posición de la probeta en el ensayo Izod, es similar a la de una viga voladiza, donde el péndulo golpea la parte delantera de la muesca (figura 7).

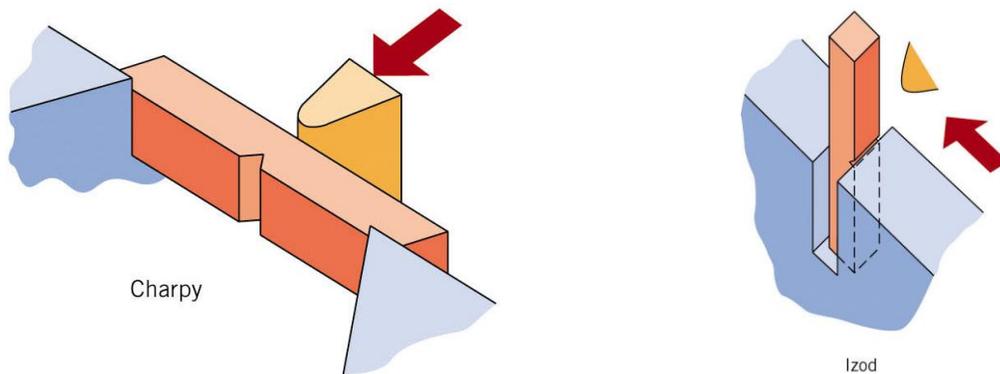


Figura 7. Colocación de la probeta

Existen varios factores que afectan la propagación de la grieta, como pueden ser:

- Muesca.** Es muy importante que las probetas estén bien maquinadas y la forma de la muesca sea la más exacta posible, así como, es necesario señalar el proceso de elaboración de la probeta, pues los valores de tenacidad relativa varían del centro a la periferia y también influye la orientación de la probeta respecto al sentido de la forja o laminación.
- Temperatura.** Es muy importante la temperatura a la cual se efectúa la prueba, porque a mayores temperaturas el material presentará una fractura dúctil y a bajas temperaturas presentará una fractura frágil (figura 8 y 9).
- Dimensiones y formas.** También afectan, ya que pueden requerirse energías de impacto menores para romper materiales de mayor espesor, así como, el que una grieta superficial permite absorber menores energías que una muesca en “V”.

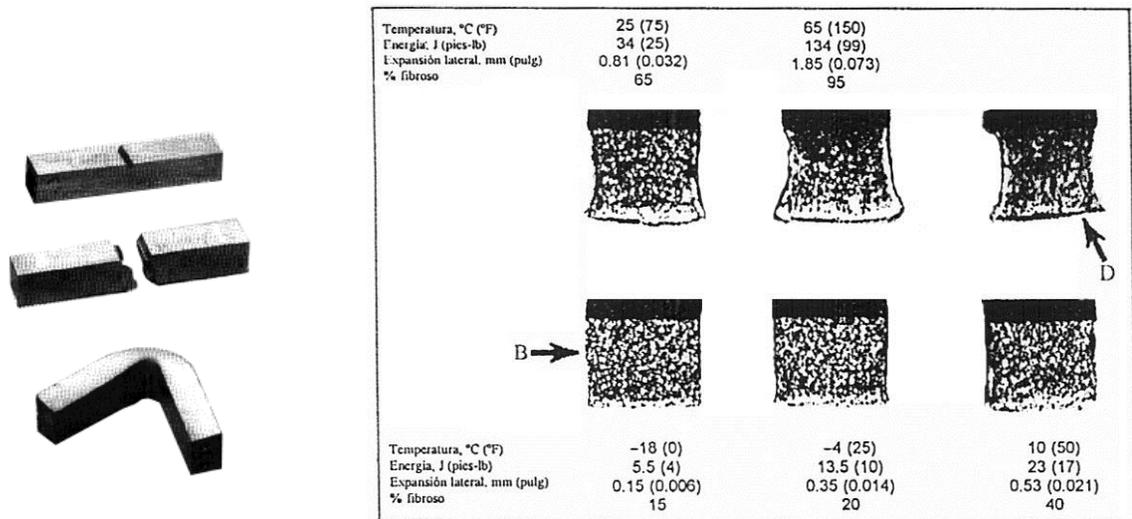


Figura 8. Probetas de acero fracturadas y sus superficies a distintas temperaturas.

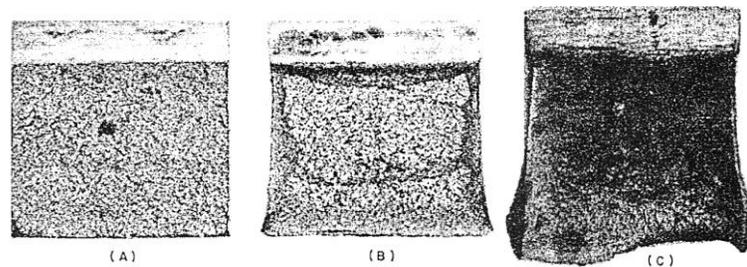


Figura 9. Superficies típicas de las fracturas: (A) Frágil, (B) Parte dúctil, parte frágil, (C) Dúctil

## MATERIAL Y/O EQUIPO NECESARIO

Material:

- ✓ Vaso de poliestireno expandido (unicel).
- ✓ Vasos de precipitado de 500 ml.
- ✓ Nitrógeno líquido.
- ✓ Hielo Seco.
- ✓ Alcohol.
- ✓ Acetona.

Equipo:

- ✓ Máquina para Ensayos de Impacto.
- ✓ Horno precalentado a 300 °C.
- ✓ Pinzas para horno.
- ✓ Guantes para horno.
- ✓ Pinzas de punta.
- ✓ 5 Probetas del tipo Charpy.

## DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El alumno someterá varias muestras al ensayo de impacto tipo Charpy para que observe el funcionamiento de la máquina y verifique la teoría. Los ensayos se realizarán siguiendo los pasos indicados a continuación:

1. Sumergir una probeta del tipo Charpy dentro de un vaso de unicel que contenga nitrógeno líquido.
2. Sumergir una probeta del tipo Charpy dentro de un vaso de precipitado que contenga alcohol con hielo seco.
3. Sumergir una probeta del tipo Charpy dentro de un vaso de precipitado que contenga acetona con hielo seco.
4. Introducir una probeta del tipo Charpy dentro de un horno precalentado a 300 °C, durante 10 minutos.
5. Mantener una probeta a temperatura ambiente.

Para cada uno de los medios antes mencionados, y por separado, realizar los siguientes pasos relacionados con la figura 10:

1. Colocar la carga del péndulo, según el material a probar, y los soportes en la base correspondiente, dependiendo del tipo de prueba de impacto que se vaya a realizar.
2. Colocar la probeta en el soporte.
3. Colocar la aguja indicadora en el valor de la lectura máxima de las escalas mostradas en la carátula del equipo, la cual será arrastrada durante el

movimiento de la aguja que corresponde al péndulo en el momento de la realización de la prueba.

4. Por medio de la manivela colocada en el volante del equipo, elevar el péndulo hasta la altura inicial, indicada en la carátula mediante una línea ubicada en el lado izquierdo superior de la misma.
5. Soltar el péndulo mediante el tornillo de seguridad y la palanca, los cuales están colocados en el brazo del péndulo.
6. Detener el vuelo del péndulo después de que ha alcanzado su altura final máxima del lado contrario de la altura inicial.
7. Tomar la medida de la energía absorbida mediante la lectura de la aguja indicadora sobre la carátula del equipo.

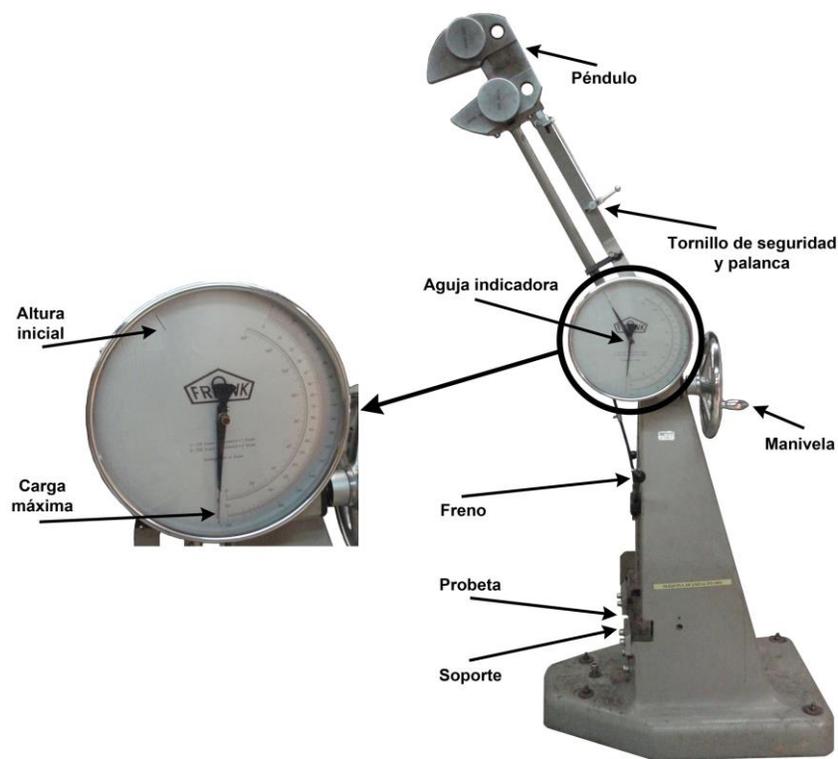


Figura 10. Partes del equipo para ensayo de impacto.

### Precauciones:

- No interponerse (antes, durante y después de realizar la práctica) con la trayectoria del péndulo.

- Dejar un espacio libre alrededor del equipo durante su operación.
- Evitar el contacto con el nitrógeno líquido.
- Tener cuidado con el horno y la probeta caliente, para así evitar posibles quemaduras.

## RESULTADOS

1. Captar imágenes de las probetas después de las pruebas para su posterior análisis (se sugiere contar con cámara para esta actividad).
2. Capturar la información generada en la práctica en la siguiente tabla:

<b>Tipo de probeta</b>	<b>Peso dispuesto en el péndulo (P)</b>	<b>Altura inicial del péndulo (H)</b>	<b>Altura final del péndulo (h)</b>	<b>Energía absorbida (E)</b>

## ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base en lo anterior, el alumno discutirá y elaborará sus conclusiones, respecto a los diferentes conceptos relacionados con el ensayo de impacto de un material.

## CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS

Con base en lo anterior, el alumno discutirá y elaborará sus conclusiones, respecto a los diferentes conceptos relacionados con el ensayo de impacto de un material.

## **CUESTIONARIO PREVIO**

---

1. Describa la forma de realizar un ensayo de impacto.
2. ¿Qué diferencias existen entre los siguientes ensayos? **a) Charpy** e **b) Izod**.
3. ¿Qué propiedad mecánica se obtiene al realizar un ensayo de impacto?
4. Para el caso de los metales, cómo es (dibuje) el comportamiento de la Temperatura vs. Energía Absorbida. Explique el por qué de este comportamiento.
5. ¿Cuál es la temperatura del nitrógeno líquido? Debido a la temperatura que presenta, qué medidas de prevención se deben considerar.
6. ¿Cuál es la finalidad de la muesca en la probeta?
7. ¿Podrán ser utilizados los mismos materiales en el Ecuador que en Siberia? Justifique su respuesta.

## **BIBLIOGRAFÍA**

---

- Callister, William D., Materials Science and Engineering: An Introduction, 6th ed., U.S.A., John Wiley & Sons, 2003.
- Callister, William D., Fundamentals of Materials Science and Engineering: An Integrated Approach, 2nd edition, U.S.A., John Wiley & Sons, 2004.
- Smith, William F., Foundations of Materials Science and Engineering, 3rd ed., U.S.A., John Wiley & Sons, 2003.
- Shackelford, James F., Introduction to Materials Science for Engineers, 5th ed., U.S.A., Prentice Hall, 1999.
- Mangonon, Pat L., The Principles of Materials Selection for Engineering Design, U.S.A., Prentice Hall, 1999.
- Askeland, Donald R., Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 4ta ed., México, Thomson, 2004.
- Anderson, J.C., Ciencia de los Materiales, 2a. ed., Limusa, 2000.