**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA METALÚRGICA

**Manual de Ejercicios de laboratorio**

**2021-I**

**Fundamentos de Metalurgia y Materiales**

**Enseñanza Experimental**

Nombre del Alumno:

No. De Grupo:

Semestre lectivo:

Nombre del Profesor:

**ENSAYO DE DUREZA METALÚRGICA**

**Ejercicio 1.**

**Objetivos:**

El alumno:

1. Conocerá y aplicará los fundamentos mecánico-físicos de la dureza.

2. Comparará la dureza de diferentes materiales.

**Tiempo de realización del ejercicio:** 2 Horas (1 sesión)

**Equipo, material y reactivos:**

• Durómetro Universal

• Microscopio metalúrgico

• Vernier

• Probeta de material metálico

• Probeta de material cerámico

• Probeta de material polimérico

**Procedimiento Experimental:**

1. Identificar el tipo de material.

2. Escoger de acuerdo al material; la escala de dureza a aplicar, la carga, el tipo de penetrador y el tiempo de aplicación de carga para cada material.

3. Realizar el ensayo.

En el caso de dureza Vickers o Brinell se realiza el siguiente procedimiento:

3.1 Colocar la muestra bajo el indentador.

3.2 Realizar una indentación con una carga (calculada o seleccionada).

3.3 Medir el tamaño de la huella.

3.4 Calcular el número de dureza.

En el caso de dureza Rockwell se repiten los pasos 3.1-3.2, y posteriormente se lee el valor de la dureza en el equipo (Carátula ó *Display*).

4. Convertir los resultados a Número de dureza Brinell

5. Graficar Material vs. Número de dureza Brinell.

6. Comparar los números de dureza de los materiales.

**Manejo de Resultados:**

Tablas 1.1. Para ensayo Brinell:

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | Carga  (Kg) | Diámetro del indentador (mm) | Tiempo de aplicación (s) | Diámetro de la huella, d**1** (mm) | Diámetro de la huella, d**2** (mm) | Diámetro promedio, d (mm) | Dureza Brinell (Kg/mm2) | Dureza Brinell (N/mm2) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Tabla 1.2. Para ensayo Rockwell:

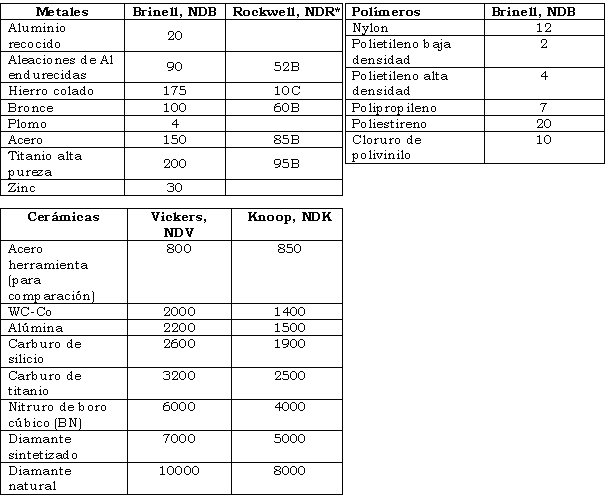
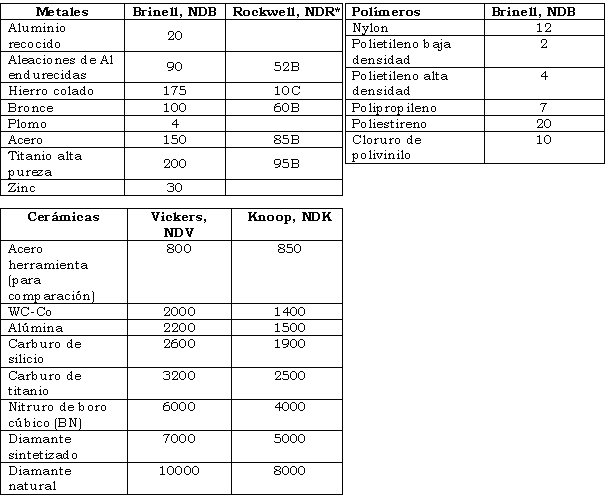
|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | Escala Rockwell | Tipo de penetrador | Carga primaria | Carga secundaria | Dureza Rockwell | Correspondencia a dureza Brinell |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

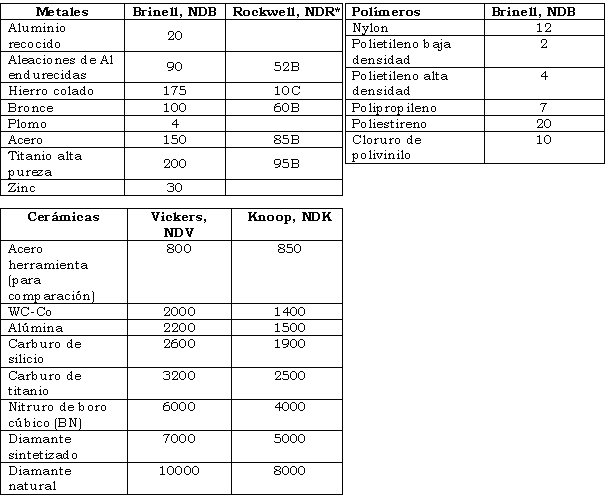
**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

*Material de apoyo*

Tabla 1.3. Ejemplos de durezas para diferentes materiales.



**Normas ASTM**

CERÁMICO:

• ASTM C 1326 Knoop Hardness Of Advanced Ceramics

• ASTM C 1327 Vickers Hardness Of Advanced Ceramics

POLÍMERO:

• ASTM, (Current Edition), Standard Methods For Rockwell Hardness Of Plastics And Electrical

• Insulating Materials, D785-85, Annual Book Of ASTM Standards, Philadelphia.

• ASTM, (Current Edition), Standard Methods For Conditioning Plastics And Electrical Insulating.

• Materials For Testing, D618, Annual Book Of ASTM Standards, Philadelphia

**BIBLIOGRAFÍA**

* Kehl, George L., *The principles of metallographic laboratory practice*, Mc. Graw-Hill, New York, 1949.
* Askeland, D. R., *La Ciencia y la ingeniería de los materiales*, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1987.
* American Society for Testing and Materials. *Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedure*, Philadelphia, EU, 2000.

**ENSAYO DE TENSIÓN - ENSAYO DE COMPRESIÓN**

**Ejercicio 2.**

**Objetivos:**

**Para el Ensayo de Tensión:**

El alumno:

1. Conocerá y aplicará los fundamentos del Ensayo de Tensión.

2. Obtendrá las propiedades mecánicas inherentes al Ensayo de Tensión.

3. Comparará las propiedades mecánicas obtenidas del Ensayo de Tensión de diferentes materiales.

**Para el Ensayo de Compresión:**

1. Conocerá y aplicará los fundamentos del Ensayo de Compresión.

2. Obtendrá las propiedades mecánicas inherentes al Ensayo de Compresión.

3. Comparará las propiedades mecánicas obtenidas del Ensayo de Compresión de diferentes materiales.

**Tiempo de Realización del ejercicio:** 4 Horas (2 sesiones)

**Procedimiento Experimental:**

Ensayo de Tensión

Para cada probeta de material se debe:

1. Medir el diámetro inicial de la probeta y marcar en la sección reducida una longitud inicial de 50.8 mm (2 plg).

2. Efectuar el ensayo.

3. Unir las dos partes obtenidas para medir la longitud final y el diámetro de la estricción.

4. Analizar el tipo de fractura que presenta cada material utilizando una lupa.

Ensayo de Compresión:

Para cada probeta de material se debe:

1. Medir el diámetro y la altura iniciales de la probeta.

2. Efectuar el ensayo.

3. Medir el diámetro y altura finales.

**Manejo de Resultados:**

**Ensayo de Tensión**

Tabla 2.1 Dimensiones de probeta iniciales y finales

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | Diámetro inicial “D*o*” (mm) | Longitud inicial “*lo*” (mm) | Diámetro final “D*f*” (mm) | Longitud final “*lf*” (mm) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Análisis de la fractura:**

Tabla 2.2. Tipo de Fractura

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Material | % de fractura frágil | % de Fractura dúctil |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

Para los datos del Ensayo de Tensión:

* A partir de los datos generados, efectuar la gráfica esfuerzo-deformación ingenieriles correspondiente a cada material ensayado, expresando el esfuerzo en Pascales (Pa) y la deformación en milímetros sobre milímetros (mm/mm).
* Con base en la gráfica, determinar las propiedades mecánicas (módulo de Young, esfuerzo de fluencia, resistencia a la tensión, resistencia a la rotura).
* De los datos de diámetros y longitudes iniciales y finales, calcular el porcentaje de reducción de área y porcentaje de elongación.

Tabla 2.3 Propiedades mecánicas resultantes del ensayo de Tensión

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | Modulo de Young “E”  (Pa) | Resistencia a la fluencia “(fl)”  (Pa) | Resistencia a la fluencia convencional “(fl)”  (Pa) | Resistencia a la tensión “(tr)”  (Pa) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Material | Resistencia a la rotura “(rot)”  (Pa) | % de  alargamiento | % de  reducción de área |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |
|  |  |  |  |

**Ensayo de Compresión**

Tabla 2.4 Dimensiones de probeta iniciales y finales

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | Diámetro inicial, “D*o*” (mm) | Longitud inicial, “*lo*” (mm) | Diámetro final “D*f*”  (mm) | Longitud final “*lf*”  (mm) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

Para los datos del ensayo de Compresión:

* Con base en los datos generados efectuar la gráfica esfuerzo-deformación ingenieriles correspondiente a cada material ensayado, expresando el esfuerzo en Pascales (Pa) y la deformación en milímetros sobre milímetros (mm/mm).
* De los datos de diámetros iniciales y finales, calcular el % de alargamiento
* De los datos de longitudes iniciales y finales, calcular el porcentaje de acortamiento.

Tabla 2.5 Propiedades mecánicas resultantes del ensayo de Compresión

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Material | Módulo de Young “ε”  (Pa) | Resistencia a la fluencia “(fl)”  (Pa) | % de alargamiento (Diámetro) | % de acortamiento (Altura) |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |

**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

**Bibliografía:**

• Kehl, George L., *The principles of metallographic laboratory practice*, Mc. Graw-Hill, New York, 1949.

• Askeland, D. R., *La Ciencia y la ingeniería de los materiales*, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1987.

• American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedure*, Philadelphia, EU, 2000.

**ENSAYO DE IMPACTO.**

**Ejercicio 3.**

**Objetivos**

**El alumno:**

1. Conocerá y aplicará los fundamentos del Ensayo de Impacto.
2. Observara el efecto de la temperatura en la energía absorbida en una probeta de impacto.
3. Determinará la temperatura de transición a través de la gráfica por ciento de fractura frágil-por ciento de fractura dúctil-temperatura.

**Tiempo de realización del ejercicio**: 2 horas (1 sesión)

**Equipo, material y reactivos**

* Maquina Péndulo de Impacto
* Vernier
* Termómetro
* Mufla
* Pinzas para mufla
* Guantes aluminizados
* Vasos de Precipitados
* Recipiente de unicel
* Lupa.
* Acetona
* Sal
* Alcohol
* Hielo
* Probetas Charpy de Acero

**Procedimiento Experimental**

1. Medir el ancho y espesor en la zona del entalle de cada probeta
2. Seleccionar 5 temperaturas diferentes de trabajo
3. Colocar cada probeta a cada temperatura de trabajo por un tiempo aproximado de 20 minutos
4. Realizar el ensayo para cada probeta
5. Registrar la energía absorbida para cada temperatura ensayada
6. Analizar la fractura frágil y/o dúctil de cada probeta

**Manejo de Resultados**

Tabla 3.1. Datos y resultados

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Probeta No. | Temperatura  (°C) | L1  (mm) | L2  (mm) | Área  (mm2) | Energía pérdida  (Kgm) | Energía absorbida  (Kgm) | Energía efectiva  (Kgm) |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Probeta No. | Energía/área  (Kgm/mm2) | Energía/área  (J/m2) |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

L1 = Altura de la probeta

L2 = Ancho en el entalle

Tabla 3.2. Análisis de la fractura

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Probeta No. | Temperatura de ensayo | Tipo de fractura  (Frágil, dúctil o mixta) |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |
|  |  |  |

* Graficar energía absorbida vs temperatura.
* Graficar % de fractura dúctil- % de fractura frágil vs temperatura.
* Determinar la ***zona*** de transición dúctil-frágil

**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

**Bibliografía**

• Askeland, D.R. La Ciencia y la ingeniería de los materiales, México, Grupo Editorial Iberoamérica, (1987).

• American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedure, Philadelphia PA., USA, (2000).

**RELACIÓN: PORCENTAJE DE DEFORMACIÓN-DUREZA**

**Ejercicio 4.**

**Objetivo**

**El alumno:**

Determinará el efecto de la deformación plástica de materiales metálicos sobre la dureza metalúrgica

**Tiempo de Realización del ejercicio:** 2 Horas (1 sesión)

**Equipo, material y reactivos:**

• Máquina de tensión

• Durometro Rocwell

* Vernier

• Probetas cilíndricas de aluminio, cobre y acero

**Procedimiento Experimental:**

1. De alguno de los extremos de las probetas de tensión utilizadas en la práctica de ensayo de tensión – ensayo de compresión cortar una probeta cilíndrica con relación H/D aproximadamente igual a 1
2. En la máquina de tensión proporcionarles al menos tres porcentajes de deformación plástica a cada probeta
3. Cada que se haga una deformación medir la dureza rockwell alcanzada
4. Manipular detalladamente los materiales reunidos.
5. Observar sus características con la ayuda del equipo proporcionado.

**Manejo de Resultados:**

Tabla 4.1. Observaciones y resultados

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Material metálico | % de deformación (1) | Dureza Rockwell | % de deformación (2) | Dureza Rockwell | % de deformación (3) | Dureza Rockwell |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

Realizar la gráfica % de deformación vs. dureza

**Análisis de resultados**

**Conclusiones**

**Bibliografía**

* Askeland, D. R., *La Ciencia y la ingeniería de los materiales*, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1987.
* American Society for Testing and Materials. *Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedure*, Philadelphia, EU, 2000.

**PROPIEDADES TERMOELÉCTRICAS**

**Ejercicio 5.**

**Objetivos:**

**El alumno:**

1. Conocerá y aplicará los principios termoeléctricos.

2. Construirá un termopar.

3. Determinará la relación temperatura-milivoltaje para un par metálico.

**Tiempo de Realización del ejercicio:** 2 Horas (1 sesión).

**Equipo, material y reactivos:**

* Registrador de temperaturas
* Multímetro
* Mechero
* Puntas caimán
* Alambre de cobre
* Alambre de acero
* Termopar chromel alumel

**Desarrollo Experimental:**

1. Para cada uno de los alambres proporcionados:

* Medir el voltaje entre los dos extremos (a temperatura ambiente)
* Calentar uno de los extremos del alambre.
* Colocar en los dos extremos las puntas caimán de un multímetro
* Medir el voltaje entre los dos extremos.
* Registrar el milivoltaje.

2. Unir un extremo del alambre de cobre con un extremo del alambre de acero (junta caliente).

3. Calentar la unión

4. Colocar en los extremos libres las puntas caimán de un multímetro.

5. Medir y registrar el milivoltaje.

Para el termopar chromel-alumel:

6. Conectar la unión fría de un termopar chromel-alumel al adquisidor de datos

7. Introducir la unión caliente del termopar en el baño de plomo y registrar los cambios de temperatura y cambios con respecto al tiempo.

**Manejo de Resultados:**

Tabla 5.1 Datos de milivoltaje

|  |  |
| --- | --- |
|  | mV |
| Alambre de cobre |  |
| Alambre de acero |  |
| Termopar Cobre-Acero |  |

De los datos obtenidos a través del adquisidor de datos para el plomo líquido construir la gráfica temperatura – tiempo por medio de Excel. Lo anterior es la curva de solidificación.

**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

##### Bibliografía:

##### • Kehl, George L., The *principles of metallographic laboratory practice*, Mc. Graw-Hill, New York, 1949.

##### • American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedu*re, Philadelphia, EU, 2000.

**PREPARACIÓN MICROGRÁFICA DE MATERIALES**

**Ejercicio 6.**

**Objetivos:**

El alumno:

1. Aprenderá la técnica adecuada de preparación de materiales para su observación al microscopio.

2. Conocerá y utilizará el microscopio correspondiente a cada material.

3. Observará y conocerá la microestructura de cada material bajo el microscopio.

**Tiempo de Realización del ejercicio:** 8 Horas (4 sesiones)

**Equipo, material y reactivos:**

• Cortadora de disco

• Montadora

• Desbastadora Manual

• Pulidora (Desbaste grueso y fino)

• Microscopio

• Analizador de imágenes

• Lijas (240, 320, 400 y 600)

• Material metálico

• Material cerámico

• Material polimérico

• Mineral

• Reactivos de ataque (Nital, Cloruro férrico, HF, etc.)

• Alúmina (1 y 0.05 micras)

• Baquelita

**Desarrollo Experimental:**

1. Selección del área de corte de la muestra.

2. Corte.

3. Montaje de la probeta en baquelita o resina epóxica.

4. Desbaste grueso.

5. Desbaste fino.

6. Pulido grueso.

7. Pulido fino.

8. Análisis microscópico sin ataque.

9. Ataque químico (sí el material lo requiere).

10. Observación al microscopio.

11. Obtención y registro de imágenes.

Nota: las imágenes registradas deben acompañarse al pie de la siguiente información:

- Figura número

- Material

- Descripción breve de la microestructura

- Aumentos (100X, 500X, etc.)

- Reactivo de ataque (sí se utilizó)

**Manejo de Resultados:**

Tabla 6.1. Datos

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Material** | **Corte**  1. Arco con segueta.  2. Cortadora con disco | **Montaje**  1. En caliente  2. En frío  Indicar:  a) material  b) temperatura  c) presión  d) tiempo | **Desbaste grueso**  Grado de lija | **Desbaste fino**  Secuencia de grados de lijas | **Pulido fino**  1. Tipo de paño  2. Tipo de abrasivo y tamaño | **Ataque químico**  Reactivo y formulación |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

|  |  |
| --- | --- |
| **Material** | **Observaciones**  Rayas, granos, límites de grano, inclusiones, etc. |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

**Bibliografía:**

• Kehl, George L., *The principles of metallographic laboratory practice*, Mc. Graw-Hill, New York, 1949.

• Askeland, D. R., *La Ciencia y la ingeniería de los materiales*, Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1987.

• American Society for Testing and Materials, *Annual Book of ASTM Standards, Metals Test Methods and Analytical Procedure*, Philadelphia, EU, 2000.

**CARACTERIZACIÓN DE UN COMPONENTE METÁLICO**

**Ejercicio 7.**

**Objetivos**

El alumno:

1. Realizará la búsqueda bibliográfica sobre la fabricación y usos de un componente metálico.

2. Diseñará un plan de trabajo para la caracterización del componente.

3. Aplicará los conocimientos de los ensayos mecánicos realizados y las técnicas de preparación metalográfica en la caracterización del componente.

**Tiempo de Realización del ejercicio:** 10 Horas (5 sesiones)

**Equipo, material y reactivos:**

• Cortadora de disco

• Montadora

• Desbastadora Manual

• Pulidora

• Microscopio metalográfico

• Analizador de imágenes

• Lijas para desbaste

• Componente metálico

• Reactivos de ataque (Nital, Cloruro férrico, HF, etc.)

• Alúmina (1 y 0.05 micras)

• Baquelita

• Durómetro Universal (Rockwell, Brinell y Vickers)

**Desarrollo Experimental:**

1a Sesión: Presentación del plan de trabajo (al inicio del curso se proporcionará un componente metálico e iniciará la búsqueda bibliográfica).

2a Sesión: Preparación metalográfica.

3a Sesión: Adquisición de imágenes.

4a Sesión: Realización de los ensayos mecánicos.

5ª Sesión: Presentación ante el grupo de los resultados obtenidos de la caracterización del componente (obligatoria en Power Point).

**Análisis de Resultados**

**Conclusiones**

**Presentación**

***La presentación debe comprender:***

*Carátula (aunque no está en el manual, la carátula debe observar: UNAM, Facultad de Química, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Nombre de la materia, el grupo, su nombre, el nombre del profesor, el semestre. En fin, la carátula de cada informe o preinforme que entregarán, quizá con otra distribución, con más o menos datos.*

A continuación, dicha presentación debe contener los siguientes aspectos:

* Nombre de la pieza o componente
* Nombre de la aleación (de preferencia con la composición química)
* Historia de la fabricación, (ayudada con imágenes de procesos de manufactura relativos a la fabricación de la pieza o componente, ***es importante este punto para poder entender el proceso de fabricación o manufactura***)
* El plan de trabajo que se va a seguir: número de cortes, preparación metalográfica, reactivos de ataque, tipo de análisis químico, ensayos mecánicos, etc.
* Resultados a obtener (imágenes con datos de la microestructura encontrada y aumentos a las que se analizó, composición química, datos de dureza, tensión, impacto, etc., ya sea de ensayos efectuados (si se realizaron) o bien de información encontrada en la bibliografía (si no se pudieron realizar algún ensayo mecánico y/o análisis químico).
* Análisis de Resultados
* Conclusiones
* Presentación.