
	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	1/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Manual de Prácticas del Laboratorio de Materiales I

Elaborado por:	Revisado por:	Autorizado por:	Vigente desde:
Dr. Armando Ortiz Prado M. en C. Ubaldo Eduardo Márquez Amador Dr. Arturo Barba Pingarrón M. en C. Jorge Luis Romero Hernández	Dr. Agustín Eduardo Bravo Benard Ing. Adrián Mancilla Velasco M. en C. David Martínez Hernández Ing. Adolfo Altamirano Meza M. en C. Liliana C. Osnaya Soto Ing. José Luis Almaraz Moreno Jefe de Academia de Materiales M. en C. Jorge Luir Romero Hernández	Dr. Francisco Javier Solorio Ordaz	24 de enero de 2020

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	2/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Índice de prácticas


Práctica 1	Seguridad en el laboratorio de Ingeniería de Materiales	3
Práctica 2	Caracterización metalográfica de los materiales	20
Práctica 3	Caracterización mecánica de los materiales	46
Práctica Optativa 1	Ensayo de tracción en materiales	85
Práctica Optativa 2	Diagramas de equilibrio	105
Práctica Optativa 3	Difusión de sólidos	115

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	3/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 1

Seguridad en el laboratorio de Ingeniería de Materiales




	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	4/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

1 Sesión

Contenido

- 1.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN
- 1.2 OBJETIVOS
- 1.3 INTRODUCCIÓN
- 1.4 INSTALACIONES DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA DE MATERIALES
 - 1.4.1 RUTAS DE EVACUACIÓN Y PUNTO DE REUNIÓN
 - 1.4.2 DOCUMENTACIÓN EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA DE MATERIALES
- 1.5 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL
- 1.6 SUSTANCIAS QUÍMICAS EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA DE MATERIALES
 - 1.6.1 LÍQUIDOS INFLAMABLES Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN DE FUEGO
 - 1.6.2 TIPOS DE FUEGO Y EXTINTORES
- 1.7 ACTIVIDAD DE LA PRÁCTICA
- 1.8 REPORTE
- 1.9 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	5/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Reactivos químicos	Reacciones cutáneas

1.2 OBJETIVOS

El alumno conocerá las instalaciones, equipo e instrumental de las diferentes áreas del Laboratorio de Ingeniería de Materiales (LIM), así como el reglamento correspondiente.

El alumno podrá identificar el equipo de protección personal a utilizar en el laboratorio y la importancia del uso permanente de éste.

El alumno será capaz de identificar los posibles riesgos dentro del laboratorio, así como las medidas de prevención y las acciones a seguir en situaciones de emergencia.


1.3 INTRODUCCIÓN

Una cultura de prevención, en materia de seguridad e higiene en laboratorios académicos, implica el respeto del derecho a gozar de un espacio de trabajo seguro y saludable a todos los niveles; la participación activa de las autoridades, los académicos y los estudiantes para asegurar un medio ambiente positivo a través de un sistema de derechos, responsabilidades y deberes definidos y la atribución de la máxima prioridad al principio de la prevención. El trabajo en el LIM involucra el uso de equipo, así como de instrumental y reactivos químicos, cuyos riesgos es necesario conocer y que, en todos los casos, será necesario prevenir. Se debe hacer énfasis, en que **considerar las cuestiones de seguridad en el laboratorio no es un mero requisito de formalidad**. El riesgo de que se provoquen accidentes está siempre presente.

La presente práctica ofrece una guía que conduzca a la prevención de accidentes dentro de las diferentes áreas del LIM y con ello, se busca que en el desarrollo de las prácticas experimentales se reduzca el riesgo, es decir, minimice la probabilidad de que suceda un accidente.

Para reducir la probabilidad de accidentes se debe:

- Practicar el hábito de la prevención de accidentes.
- Utilizar equipo de protección personal todo el tiempo que se esté en el laboratorio.
- Atender a cabalidad las indicaciones por parte del profesor, tanto el desarrollo experimental, como en el manejo de sustancias, instrumental y equipamiento.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	6/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- Anticipar las posibles consecuencias del trabajo que se va a realizar en el laboratorio.

La seguridad e higiene en un laboratorio académico se refiere a la aplicación de un conjunto de medidas sobre la seguridad y prevención de riesgos en las labores de los estudiantes y de quienes laboran en ellos.


Por una parte, la seguridad se relaciona con todas aquellas medidas y políticas que gestionan la protección y bienestar de las personas evitando riesgos. Por su parte, se entiende por higiene todos aquellos métodos y hábitos que tienen las personas para el cuidado y aseo personal, así como por el mantenimiento de los espacios de convivencia y trabajo, a fin de prevenir enfermedades o diversos problemas de salud.

Sin embargo, desde hace unos años se utiliza el término seguridad y salud laboral, ya que se considera que trabajar es una fuente de salud que aporta beneficios como ingresos económicos, vínculos con otras personas, incentiva las actividades físicas y mentales, entre otros, siempre y cuando las condiciones sean adecuadas.

Por otro lado, los riesgos laborales son todos aquellos aspectos del trabajo que pueden causar posibles daños, por lo que promueve todo lo relacionado con seguridad, higiene y bienestar laboral.

Por sus propias características, el trabajo en el laboratorio presenta una serie de riesgos de origen y consecuencias muy variadas, relacionados básicamente con las instalaciones, los productos que se manipulan y las operaciones que se realizan con ellos. Con respecto a los productos, debe tenerse en cuenta que suelen ser peligrosos y aunque normalmente se emplean en pequeñas cantidades y de manera discontinua, es de suma importancia conocer o tener a la mano las características de peligrosidad de dichas sustancias, así como los protocolos de manejo de los residuos, lo cual forma parte de la documentación del LIM y deberá estar disponible a profesores y alumnos.

DIRECTORIO DE ATENCIÓN A EMERGENCIAS	
CENTRAL DE ATENCIÓN A EMERGENCIAS, UNAM 55 / 5616 0289 / 5616 0914	VIGILANCIA UNAM 5622 2430 al 33
PROTECCIÓN CIVIL UNAM 5622 6557	COMISIÓN LOCAL DE SEGURIDAD FI 04455 5965 9826
BOMBEROS UNAM 5622 0565 / 5622 0566 / 5616 1560	PROTECCIÓN CIVIL (COYOACÁN) 5610 8173
URGENCIAS UNAM 5616 0240	EMERGENCIAS 911
AMBULANCIAS UNAM 5622 0140 / 5622 0202	LOCATEL 5658 1111

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	7/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.4 INSTALACIONES DE LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA DE MATERIALES

El Laboratorio de Ingeniería de Materiales está conformado por 4 áreas de trabajo, designadas como Metalografía 1, Metalografía 2, Caracterización y Pruebas Mecánicas, que se encuentran en el Edificio O, “Ing. Alberto Camacho Sánchez”, el cual a su vez forma parte del conjunto sur (Anexo) de la Facultad de Ingeniería.

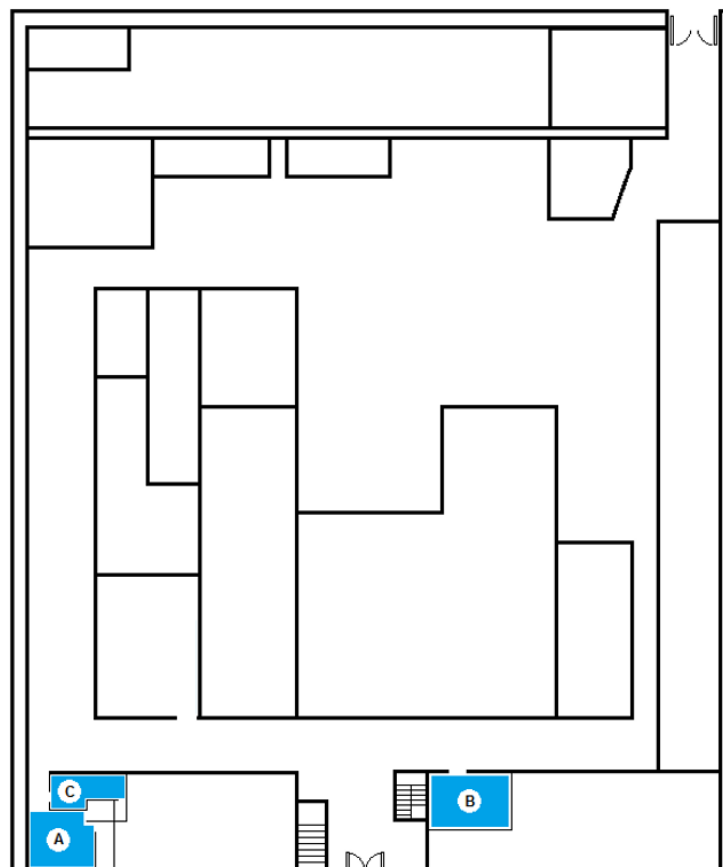



Figura 1.1. Esquema del Edificio O “Alberto Camacho Sánchez”, Planta baja. Se indica ubicación de: **A:** Metalografía, **B:** Pruebas mecánicas y **C:** Caracterización.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	8/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.4.1 RUTAS DE EVACUACIÓN Y PUNTOS DE SEGURIDAD

Acorde a los protocolos de la Comisión Local de Seguridad (CLS), se deberán conocer las instalaciones, así como la localización de lugares seguros o puntos de reunión, las rutas de evacuación y las salidas de emergencia.

El sistema de comunicación, o señalética, para acasos de emergencia dentro del edificio que alberga las instalaciones de los LIM cumplen la función de guiar u orientar a una o más personas en un espacio determinado y durante eventos extraordinarios que planteen dilemas de comportamiento. Con ello se identificará la ruta de evacuación desde cualquier punto de las instalaciones, así como la ubicación de extintores y puntos de reunión. Por otra parte, todos los laboratorios cuentan con botiquín de primeros auxilios con los suministros básicos para la atención de alguna emergencia.

Los puntos de seguridad se encuentran señalados fuera del edificio y son de fácil acceso. Periódicamente se programan simulacros de evacuación y son llevados a cabo por la CLS. La figura 1.2 muestra la señalética dentro del edificio.

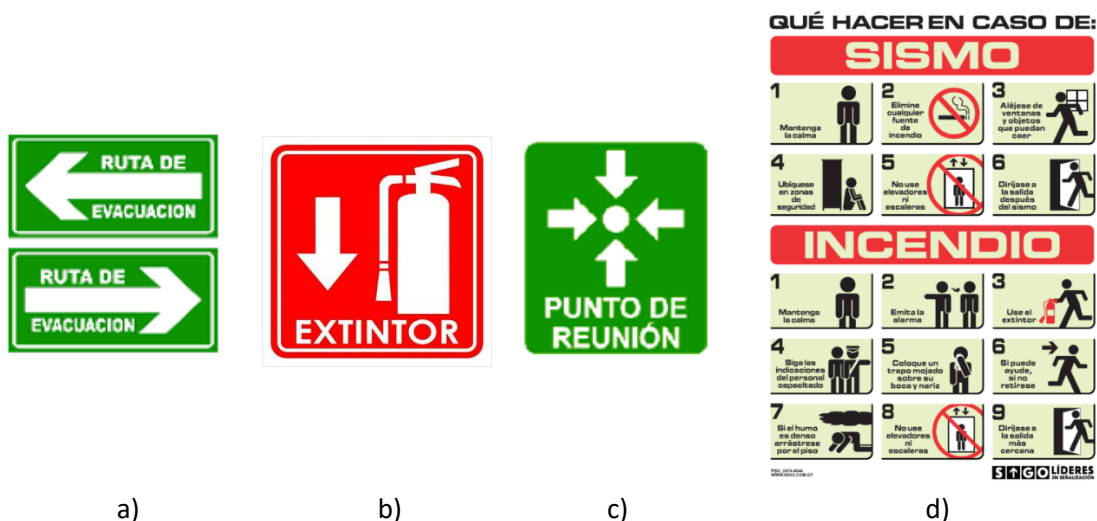



Figura 1.2. Simbología utilizada en el edificio que alberga las instalaciones de los LIM. a) Ruta de evacuación b) Extintor c) Punto de reunión d) Acciones a tomar en caso de siniestro.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	9/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.4.2 DOCUMENTACIÓN EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA DE MATERIALES

La siguiente documentación se encuentra físicamente dentro de los laboratorios y de manera digital en la página electrónica correspondiente.


Reglamento. Cada una de las áreas de los laboratorios cuenta con un reglamento que lo rige y es aplicable a profesores, personal de apoyo, alumnos y usuarios en general. Se encuentra físicamente en un lugar visible de cada área y tiene por objetivo proporcionar los lineamientos y medidas de seguridad pertinentes para el correcto uso del material, equipo e instalaciones de los laboratorios durante el desarrollo de las prácticas experimentales programadas y las labores adicionales de investigación y desarrollo de proyectos.

Plan de contingencia ante siniestros. Acorde a los lineamientos institucionales, cada área cuenta físicamente, y a la mano, con el *Plan de Contingencia Ante Siniestros*, el cual fue adaptado a las características del área en la que aplica y tiene como objetivo establecer un plan de acción con procedimientos claros y concisos que proporcionen una respuesta eficiente ante situaciones de contingencia o emergencia, para minimizar daños graves a la integridad física.

Hojas de Datos de Seguridad (área de Metalografía). La hoja de seguridad para materiales describe los riesgos de un material y suministra información sobre cómo se puede manipular, usar y almacenar el material con seguridad. Debe presentar un resumen de la información de seguridad sobre el material. Para que esté completo y sea claro, debe contener información sobre el producto químico e información sobre el proveedor, los componentes químicos o peligrosos, identificación de los peligros, primeros auxilios, medidas para apagar incendios, medidas cuando hay escape accidental, manipulación y almacenamiento, controles de exposición, protección personal, propiedades físicas y químicas y reactividad.

Manual de prácticas. Sera el documento en físico con todas las prácticas que se imparten en cada asignatura programada.

Por otra parte, el LIM cuentan con la documentación propia del *Sistema de Gestión de Calidad*, misma que deberá ser atendida o empleada acorde a los lineamientos del Sistema.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	10/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.5 EQUIPO DE PROTECCIÓN PERSONAL (EPP)

La prevención de accidentes es responsabilidad de todos los que se encuentren en el laboratorio y por lo tanto es necesaria la cooperación activa de cada uno. La seguridad debe ser lo más importante, tanto para el profesor de laboratorio, como para los alumnos. Todos son responsables por la prevención de accidentes, especialmente quien lleva cabo los procedimientos de laboratorio.

El EPP está regulado bajo la NOM-017-STPS-2008

Vestimenta.

El uso de bata en los laboratorios tiene la función de proteger la piel de la parte torácica y de los brazos ante cualquier derrame de sustancias químicas tóxicas o ante algún caso de reacción inflamable; para ello existen distintos materiales recomendados para las funciones a realizar.

Se recomienda el uso de las batas de algodón o de lana para el laboratorio, por la cantidad de ventajas en lo que a protección personal se refiere, es necesario para actividades donde se esté expuesto a altas temperaturas y que sea fácilmente removible



Figura 1.3. Simbología de uso obligatorio de bata.


Protección de los ojos.

Los lentes de protección contra salpicaduras son parte importante de la protección de usuario, su objetivo es la protección de los ojos, ante cualquier residuo que pueda ser despedido por algún material, o mal manejo de algún dispositivo o aparato en función. Además de la protección ante exposiciones de gases tóxicos nocivos, e irritantes a los ojos.

Existen diferentes tipos de gafas de seguridad y dependen de las circunstancias del trabajo, no obstante, los recomendados son aquellos que protegen de salpicaduras y escurrimientos, tales como los llamados goggles o splash goggles, como los mostrados en la siguiente imagen.



Figura 1.4. Splash goggles para antiescurrimiento facial.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	11/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Guantes.

Los guantes de seguridad se fabrican en diferentes materiales (PVC, PVA, nitrilo, látex, neopreno, etc.) en función del riesgo que se pretende proteger. Para su uso en el laboratorio, además de la necesaria resistencia mecánica a la tracción y a la perforación, es fundamental la impermeabilidad frente a los distintos productos químicos. Los guantes de seguridad únicamente serán utilizados para el manejo, preparación y deposición de sustancias químicas; evite su uso en otro tipo de dispositivos o aparatos, ya que, al tener mayor fricción, puede provocar un incidente de riesgo mecánico.



Téngase en cuenta que la utilización de guantes no impermeables frente a un producto, si hay inmersión o contacto directo, no solamente no protege, sino que incrementa el riesgo. Por estos motivos a la hora de elegir un guante de seguridad es necesario conocer su desempeño, en función de los productos químicos


Figura 1.5. Guantes de seguridad para manejo de reactivos.

Equipo de protección térmica.

El desarrollo de las prácticas asociadas a tratamientos térmicos requiere el uso de protección térmica, siendo lo más apropiado, el uso de caretas de protección facial, guantes de alta temperatura y petos de carnaza.



Figura 1.6. Equipo de protección térmica. Peto de carnaza, guantes de asbesto y careta facial.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	12/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Protectores de vías respiratorias.

Los equipos de protección individual de las vías respiratorias son aquellos que tratan de impedir que el contaminante penetre en el organismo a través de las vías aerobias, y que representan un riesgo a la salud mediante inspiración. Para ello existen distintos de equipos de protección como mascarillas o respiradores.

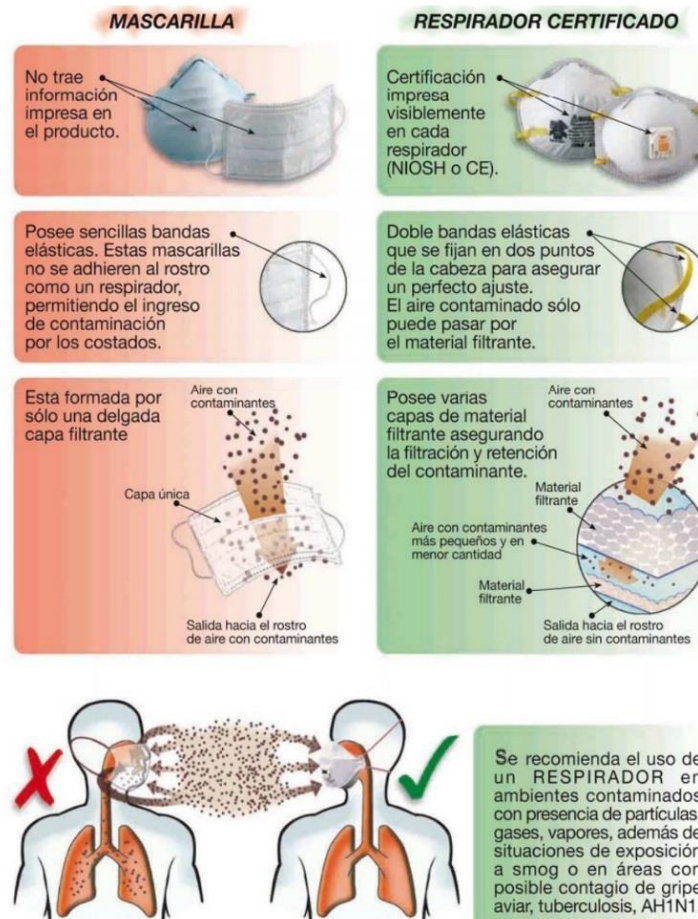



Figura 1.7. Diferencia entre mascarilla y respirador

[Tomado de adolfocursosssoma.blogspot.com/2016/07/cursos-ssoma-diferencia-entre-una.html].

En general se recomienda el uso de pantalón largo, por efecto de alguna exposición a sustancias corrosivas. El calzado deberá ser cerrado, evitar el uso de joyería y, en caso de usar cabello largo, éste deberá ser recogido. Queda estrictamente prohibido el uso de audífonos y celulares.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	13/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.6 SUSTANCIAS QUÍMICAS EN LOS LABORATORIOS DE INGENIERÍA DE MATERIALES

Una sustancia es cualquier material con una composición química definida y se consideran peligrosas cuando, por sus propiedades físicas y químicas, al ser manejadas, transportadas, almacenadas o procesadas presentan la posibilidad de afectar la salud de las personas expuestas o cause daños materiales a las instalaciones.

El desarrollo de las prácticas programadas dentro de los laboratorios de Ingeniería de Materiales involucra el uso de sustancias químicas, cuyo manejo y aplicación, de manera adecuada, son un elemento indispensable en la caracterización y estudio de los materiales. La Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2015 regula la identificación y comunicación de riesgos por sustancias químicas y con ello se valoran los peligros de los reactivos que se empleen en el laboratorio.

Dicha norma se basa, tanto en la clasificación de productos químicos según la NFPA 704 (National Fire Protection Association), como el Sistema HMIS III (Hazardous Materials Identification System).

La Asociación Nacional De Protección Contra El Fuego, mejor conocida por sus siglas en inglés NFPA, es una entidad internacional voluntaria creada para promover la protección y prevención contra el fuego, es ampliamente conocida por sus estándares (National Fire Codes), a través de los cuales recomienda prácticas seguras desarrolladas por personal en el control de incendios. La norma NFPA 704 es el código que explica el *diamante del fuego*, utilizado para comunicar los peligros de los materiales peligrosos (ver figura 1.8).

El sistema HMIS III sirve para etiquetar de forma sencilla y comprensible productos químicos, es similar, pero no igual, que el del rombo de seguridad de la NFPA. Mientras el enfoque del NFPA es para un accidente o emergencia, el HMIS III está diseñado para el manejo de los materiales en situaciones normales. Fue desarrollado en 1976 por la National Paint Coatings Association (NPCA), para informar a los usuarios sobre los peligros de las sustancias químicas y los elementos de protección con que se debían manejar (ver figura 1.9).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	14/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 1.8. Modelo rombo (NFPA).

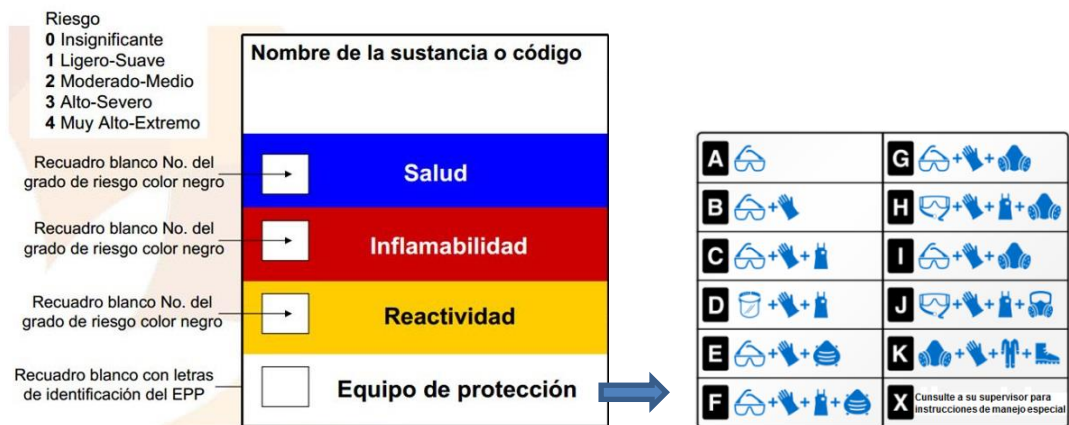



Figura 1.9. Ejemplo de identificación del modelo rectángulo (HMIS III).

El elemento principal del Sistema de Comunicación el cual proporciona información inmediata de la sustancia química para su adecuado manejo es la Hoja de Datos de Seguridad (HDS) y deberá contener la información de estos modelos, totalmente en español, sin espacios en blanco y continuamente actualizada.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	15/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.6.1 LÍQUIDOS INFLAMABLES Y MECANISMOS DE EXTINCIÓN DE FUEGO.

El adjetivo inflamable se usa para clasificar a aquello que puede encenderse de manera sencilla y que no tarda en desprender llamas. Por el riesgo de incendio, los productos inflamables deben manipularse con precaución. Se llama punto de inflamación o punto de ignición a la combinación de condiciones físicas que se requieren para que una sustancia comience a arder cuando esta cerca de una fuente de calor y luego conserve la flama si dicha fuente se retira. Si la sustancia tiene un punto de inflamación a una temperatura baja, recibe la calificación de inflamable.

Se debe tomar en cuenta que:

Los vapores de los líquidos inflamables son los que arden.

Son los vapores que se encienden y si se mezclan con el oxígeno en la proporción debida, la combustión es tan rápida que origina una explosión.

Donde quiera que haya vapores de estos, habrá riesgo de explosión e incendio.

Mecanismos de extinción de fuego:

1. **Enfriamiento.** Es la reducción de temperatura presente en el proceso del fuego, haciendo que la misma caiga por debajo de su punto de inflamabilidad. Esto se logra en un principio con agua y/o Bióxido de Carbono.
2. **Sofocación.** Es la minimización del oxígeno presente en el aire o atmósfera. Esto se logra en un principio, envolviendo el incendio en forma tal que no haya circulación de vapor y aire, y/o aplicando un gas inerte que no alimente la combustión y que sea más pesado que el aire para que lo desplace.
3. **Aislamiento.** Es la eliminación del material combustible en forma directa, apartando del fuego el material combustible, o separando los vapores del combustible.
4. **Inhibición química de la llama.** Es la eliminación de los radicales libres desprendidos en la descomposición química del material que se quema.

Ante un conato de fuego en el laboratorio, en primera instancia, se debe asegurar la integridad individual y después grupal. Se deberá llamar inmediatamente a los servicios de emergencia y si es posible, mediante la HDS determinar la naturaleza de la sustancia inflamable. El uso de extintores será, de preferencia, por parte de personal calificado, además, la HDS proporcionará información complementaria concerniente a estos casos.







	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	16/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 1.1 Tipos de fuego y su simbología, la cual debe estar indicada en el extintor para así acotar el uso de éste. Las columnas del lado derecho indican el agente extintor en cada tipo de cilindro.

Símbolo de clase	Tipo de fuego	Ejemplos	ABC polvo químico	BC polvo químico	Pulv. Seco	Agua	Espuma	Químico húmedo	Halogenado	Bióxido de carbono
	Combustibles Comunes	Madera, papel, tela, etc.								
	Líquidos inflamables	Gasolina y solventes								
	Equipos eléctricos	Computadores, máquinas de fax								
	Metales Combustibles	Magnesio, Litio, Titanio								
	Medios de cocinar	Grasas y aceites de cocina								

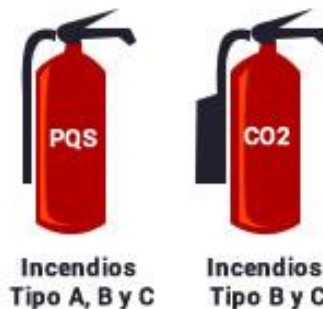



Figura 1.10. Esquema de los tipos de extintores disponibles al interior del edificio, así como en los laboratorios. De lado izquierdo extintor con polvo químico seco (PQS) para conatos de incendio tipo A, B y C; de lado derecho, y de boquilla expandida, extintor con Bióxido de Carbono (CO₂) para conatos de incendio tipo B y C.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	17/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.7 ACTIVIDAD DE LA PRÁCTICA

El profesor deberá mostrar las instalaciones que conforman el laboratorio de Ingeniería de Materiales, indicando las señales de evacuación y la ubicación de los extintores. Deberá leer el reglamento correspondiente al área en la que se encuentra, así como mostrar la documentación descrita anteriormente.


Posteriormente, el alumno realizará las siguientes actividades:

1. Describir los elementos básicos de seguridad personal y su importancia.
2. En un esquema de las instalaciones del laboratorio, determine la ruta de evacuación, los puntos de reunión y la localización de los extintores.
3. ¿Cuántos y de que tipo son los extintores disponibles en los laboratorios?
4. ¿Qué información proporcionan los ejemplos de identificación que se muestran en la siguiente página? Y ¿Qué sistema utilizan?
5. Con base en las HDS dibuje el código de identificación de las siguientes sustancias: Ácido Nítrico, Alcohol etílico, Acetona y Agua destilada.
6. En el hipotético caso de derrame de ácido clorhídrico con contacto directo en las manos, ¿Cuáles son las acciones a seguir?

1.7 REPORTE.


El reporte se entregará de manera individual con el siguiente contenido:

1. Carátula de la práctica con los siguientes datos:
Nombre del profesor, materia, grupo, número de práctica, nombre del alumno, semestre, fecha
de entrega y espacio para calificación.
2. Objetivo.
3. Respuestas y esquemas de los ejercicios realizados durante la actividad de la práctica.
4. Generar conclusiones de la práctica donde el alumno indique la importancia de la práctica e indicando si se alcanzaron los objetivos planteados.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	19/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1.8 BIBLIOGRAFÍA.

1. *Seguridad en los laboratorios químicos académicos*, Sociedad Americana de Química, Vol. 1, 7ª Edición. 2002.
2. Guía de clasificación de riesgo, peligrosidad y primeros auxilios de sustancias químicas de uso en los laboratorios de nivel medio superior. Irma C. Gavilán García, et. al. Facultad de química UNAM, 2014.
3. *NOM-018-STPS-2000*, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Diario Oficial de la Federación, octubre del 2000.
4. *Guía informativa de la Norma Oficial Mexicana NOM-018-STPS-2000*, Sistema para la identificación y comunicación de peligros y riesgos por sustancias químicas peligrosas en los centros de trabajo. Secretaría del trabajo y previsión social.


	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	20/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica 2

Caracterización

Metalográfica de los Materiales




	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	21/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

3 Sesiones

Contenido

- 2.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN
- 2.2 OBJETIVOS
- 2.3 INTRODUCCIÓN
- 2.4 MATERIAL Y EQUIPO
- 2.5 DESARROLLO
- 2.6 RESULTADOS
- 2.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS
- 2.8 CONCLUSIONES
- 2.9 REPORTE
- 2.10 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	22/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Esmeril	Lesión por partícula en ojos
2	Desbastadoras	Raspaduras, impactos
3	Pulidoras	Laceraciones leves
4	Reactivo químico	Quemadura leve

2.2 OBJETIVOS

Objetivos generales:

El alumno conocerá y aplicará los métodos para la preparación de las muestras metalográficas, a partir de lo cual podrá realizar la observación microestructural mediante microscopía óptica e identificará los microconstituyentes, asociados al tipo de material en cuestión.

Objetivos específicos:

Sesión 1:

- El alumno preparará una muestra metálica, seleccionando la superficie a tratar para análisis microestructural y aplicará las técnicas de desbaste apropiadas.

Sesión 2:

- El alumno continuará la preparación metalográfica de la muestra, en la superficie seleccionada, aplicando técnicas de desbaste fino y/o pulido.


Sesión 3:

- El alumno finalizará la preparación metalográfica de la muestra asignada y hará el ataque químico correspondiente a la superficie tratada para la caracterización microestructural.
- El alumno observará e identificará los defectos (inclusiones) presentes en aleaciones ferrosas y entenderá el concepto de tamaño de grano y las diferentes metodologías para su determinación.

2.3 INTRODUCCIÓN

Si bien el examen macroscópico de una muestra se emplea en pruebas rutinarias de control de calidad o de investigación, la información que puede obtenerse de esta inspección es limitada.

Es a partir de la observación de su microestructura, que se puede predecir el comportamiento general de los materiales. A través de la observación de algunas características como son las fases presentes y su proporción, el tamaño de grano, los límites de grano y la formación de precipitados

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	23/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

en éstos, la presencia en general de precipitados y su tipo, las inclusiones, maclas y grietas se pueden considerar que influyen en las propiedades, en la distribución de esfuerzos y en el movimiento de dislocaciones en un material. Estas características pueden observarse con relativa facilidad mediante técnicas de microscopía convencionales.

Debe aclararse que defectos de dimensión atómica tales como las vacancias, átomos intersticiales y las dislocaciones, si bien tienen gran influencia dentro del comportamiento mecánico, dada su dimensión no pueden ser observados mediante las técnicas convencionales de microscopía.

Por tal motivo, adquiere gran relevancia la correcta preparación de las muestras para observar su microestructura mediante el uso de las técnicas metalográficas adecuadas a tal fin. En contraparte, si la microestructura está parcial o totalmente alterada, esto es producto de una pobre técnica de preparación, lo cual puede llevar a interpretaciones incorrectas, que a su vez se traducen en fallas de proceso y como consecuencia costos adicionales.


La metalografía es esencialmente el estudio de la estructura física, es decir, de las características estructurales de la constitución de un metal o una aleación en relación con sus propiedades físicas y mecánicas.

2.3.1 PREPARACIÓN DE LA MUESTRA

La correcta preparación de una muestra comienza con la selección de un espécimen adecuado, entendiéndose por esto que sea representativo del fenómeno o comportamiento que se pretende estudiar y continúa hasta la etapa de ataque donde se revela la estructura del espécimen. El examen microscópico define entonces claramente las características estructurales tales como el tamaño del grano, el tamaño, la forma y la distribución de las fases y las inclusiones no metálicas, así como segregación y otras condiciones heterogéneas. A partir de la visualización de la microestructura también puede obtenerse una imagen acorde a los tratamientos térmicos y mecánicos que el material ha recibido.

Las etapas de las que consta la preparación metalográfica son:

1. Selección de una muestra.
2. Corte y seccionado.
3. Montaje.
4. Desbaste.
5. Pulido.
6. Ataque.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	24/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. Selección de una muestra

Debido a que la preparación de una muestra involucra de un considerable tiempo y gasto, es de importante poner atención en lo que respecta a la selección de una muestra con respecto al número, localización y orientación con respecto del elemento o componente con el objetivo de que pueda obtenerse la mayor cantidad de información posible con el menor costo de material, tiempo y recursos humanos para efectuar esto.

La orientación del plano de preparación depende esencialmente del proceso de manufactura, forma del producto y características a estudiar.


2. Corte y seccionado

Aunque existen casos donde la muestra es del tamaño correcto para su preparación, en la mayoría de los casos se requiere seccionarse para facilitar su manejo. Para esto existe una amplia variedad de técnicas de corte, teniendo cuidado al elegir una, que el corte no debe alterar significativamente la estructura aún en zonas lejanas a las del corte.

La profundidad del daño durante el corte varía en función de la técnica empleada y del material a cortar. Por ejemplo, una de las técnicas más comunes de corte es mediante el uso de discos abrasivos, junto con un fluido de corte, aunque también puede emplearse discos que contienen un recubrimiento de diamante o discos de diamante y los que se caracterizan por ser más delgados y producir cortes más finos.

Esto se explica, de acuerdo con las conclusiones generadas en varios estudios, ya que al emplear discos más gruesos se produce una mayor deformación en la pieza (hasta casi 1mm de profundidad respecto del corte), mientras que el daño con un disco más delgado produce una deformación menor (entre 0.55 y 0.2mm de profundidad respecto de la zona de corte).

Otro efecto indeseable durante el corte, ya que provoca la alteración de la microestructura y por ende produce una falsa caracterización metalográfica, es un elevado calentamiento (quemado) de la zona de corte; por esta razón es que se emplea un fluido de corte para disminuir lo más posible este efecto.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	25/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

De manera muy general las operaciones de corte pueden obtenerse, dependiendo del material, mediante corte abrasivo (metales y materiales compuestos de matriz metálica), corte con disco de diamante (cerámicos, electrónica, biomateriales, minerales), o corte fino con un microtomo (plásticos). Existen otras operaciones para generar el corte como por ejemplo la electroerosión, la cual se emplea en materiales eléctricamente conductores o el uso de cizallas y seguetas, por mencionar algunos.

En el caso de los mencionados discos de corte abrasivo base de carburo de silicio (SiC) para el corte de metales no ferrosos, de alúmina (Al_3O_2) para ferrosos (Tabla 2.1) y discos de diamante (contienen un recubrimiento de diamante en su superficie) para el corte de algunos metales, cerámicos y minerales (Tabla 2.2).


Tabla 2.1. Guía general para la selección de un disco abrasivo de corte.

Material (aleación)	Clasificación	Abrasivo/Ligante
Aluminio, latón, zinc, etc.	No ferrosos suaves	SiC/Disco de hule
Aleaciones tratadas térmicamente	No ferrosos duros	Al_3O_2 /Resina de hule
Aceros con dureza HRC<45	Aceros suaves	Al_3O_2 /Resina de hule
Aceros con dureza HRC>45	Aceros duros	Al_3O_2 /Resina de hule
Superaleaciones	Aleaciones de alto Ni-Cr	SiC/Disco de hule

Esto ya que a mayor dureza del material se debe elegir un disco más suave para que la velocidad de desgaste de éste coincida con la dureza del material a cortar. Existen 2 excepciones: es necesario un disco de corte duro para aleaciones de Fe de gran dureza y un disco blando para cortar aluminio.

Tabla 2.2. Ejemplo de guía para la selección de discos de diamante empleados para el corte.

Material	Característica	Velocidad (rpm)	Carga (gr)	Disco (abrasivo/concentración)
Substrato de silicio	Suave/Frágil	<300	<100	Fino/Bajo
Arseniuro de galio	Suave/Frágil	<200	<100	Fino/Bajo
Compuestos de boro	Muy frágil	500	250	Fino/Bajo

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	26/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3. Montaje

Éste va en función del tamaño de la muestra a manipular, ya que en caso de ser muy pequeña o de geometría irregular será necesario su montaje. Básicamente la operación del montaje cumple tres funciones importantes (1) protege el borde del espécimen y mantiene la integridad de los materiales superficiales (2) rellena huecos en materiales porosos y (3) mejora el manejo de muestras con forma irregular, especialmente para la preparación automatizada de muestras.

En general la mayoría de los montajes son de sección circular con diámetros de 1,1 ¼ o 1 ½ pulgadas y su altura va usualmente de ½ a ¾ de pulgada.


La mayoría del montaje de una muestra metalográfica se realiza encapsulando la muestra en un compuesto de montaje el cual puede ser una resina epóxica o en una termofija (baquelita conductora), cuidando la adecuada limpieza previa de la muestra.

4. Desbaste

La técnica para la preparación de muestras metálicas se puede dividir en dos grupos, los procesos que implican el uso de papeles de abrasivo y abrasivos gruesos (desbaste) y las subsiguientes operaciones con abrasivos finos (tratamiento de pulido), como se puede observar en la tabla 2.3.

Tabla 2.3. Guía general para la etapa de preparación de desbaste y pulido de la muestra.

Etapa	Abrasivo	Lubricante	Paño
Desbaste grueso	SiC (180 o menor)	Agua corriente	
Desbaste fino	Grano 240	Agua corriente	
	Grano 320	Agua corriente	
	Grano 400	Agua corriente	
	Grano 600	Agua corriente	
	Grano 1200	Agua corriente	
Pulido fino	Alumina 0.05µm	Agua corriente	Rayón

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	27/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El desbaste es muy importante en la preparación de la muestra, ya que el daño introducido al momento del corte es eliminado en este paso, así también se garantiza la obtención de una superficie plana.

La preparación de la muestra debe llevarse a cabo cuidadosamente, de tal manera que se conserven todos los componentes microscópicos de la superficie y que el medio de desbaste no se encuentre incrustado en la muestra.

Para conseguir esto, el espécimen es desbastado en grados sucesivamente más finos del papel de abrasivo, siendo los más empleados los de SiC, esto porque es un abrasivo excelente para un desbaste plano, es muy duro y mantiene un filo de corte cuando se rompe durante el desbaste (Figura 2.1). Los abrasivos de SiC se enumeran típicamente por el tamaño de grano o número de malla (Tabla 2.4).

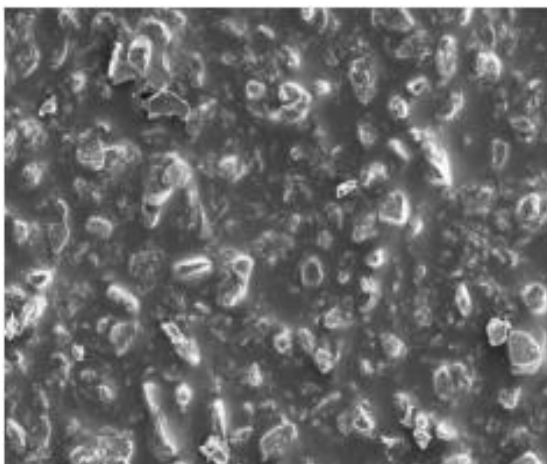



Figura 2.1. Imagen obtenida mediante microscopía electrónica de barrido de una lija abrasiva con tamaño de grano 600 a 150x.

Tabla 2.4. Tamaño de grano para las lijas abrasivas más comunes.

Tamaño estándar (No de granos por pulgada)	Diámetro promedio (μm)
60	250
80	180
100	150
120	106
150	90
180	75
220	63
240	58.5
280	46.2
320	40.5
360	30.5
400	25.75
500	18.3
600	15.3
800	6.5
1200	2.5

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	28/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Los especímenes se lijan hacia adelante en una dirección hasta que la superficie está completamente desbastada, es decir, hasta que sólo se pueden ver las marcas debidas al papel en particular en toda la superficie.

Para los siguientes pasos se van seleccionando lijas con un tamaño de grano cada vez más fino, en cada cambio la muestra se deberá desbastar formando un ángulo recto con el paso inmediato anterior. Dado que la muestra se mantiene con las rayas recién formadas en ángulo recto con respecto a las marcas introducidas por el desbaste anterior, de manera que la eliminación de las anteriores marcas se observa fácilmente.

Para algunas aleaciones tratadas térmicamente y en particular para muchos de los metales blandos, es una ventaja usar el papel abrasivo completamente mojado.

Se debe evitar la aplicación de una presión indebida ya que la perturbación de capa que se produce al generar la nueva superficie puede extenderse a una profundidad considerable y provocar un efecto indeseable. Como norma general se debe considerar aplicar una mayor presión con materiales más duros.


Es importante que el abrasivo no se transporte de una secuencia a otra. Por lo tanto, se deben lavar tanto los especímenes como las manos entre cada paso del desbaste completamente en agua hasta llegar al pulido.

5. Pulido

Durante la etapa de pulido, el objetivo es eliminar cualquier pequeña deformación generada en la etapa previa de desbaste, manteniendo un solo plano en la muestra y conservando todas las inclusiones o fases secundarias, así como la integridad de la microestructura.

El pulido mecánico puede realizarse mejor sujetando la muestra contra un disco giratorio cubierto con un paño adecuado que está impregnada con una suspensión de alúmina de pulido o aceite de polvo de diamante.

De preferencia, los bordes de los especímenes metálicos cilíndricos deben primero ser biselados para evitar dañar los paños de pulido. Para Mg y Al y sus aleaciones, se deben utilizar los paños de pulido de aluminio.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	29/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

6. Ataque

El propósito del ataque es descubrir las características microestructurales tales como las fases y el tamaño de grano a observarse mediante las técnicas de microscopía. Sin embargo, de preferencia, la muestra pulida debe ser examinada primero sin atacar. De esta forma las inclusiones, defectos, rayas y otros defectos pueden ser observados de esta manera, y si se identifican antes del ataque, cualquier confusión y mala interpretación posterior pueden evitarse.

El ataque altera selectivamente la superficie, a través de una oxidación controlada, cuya velocidad dependerá de los reactivos, su concentración, la composición del material, el estado de tratamiento térmico y los esfuerzos internos. La técnica más común para revelar la microestructura es el ataque químico selectivo, para lo cual se han desarrollado al paso del tiempo diferentes formulaciones de reactivos, cuya selección dependerá de la composición del material a estudiar, así como de los microconstituyentes que se pretenden observar. En la Tabla 2.5 se presentan algunos de los reactivos más comúnmente utilizados en la práctica metalográfica.

En lo que respecta al tiempo de ataque, es imposible establecer reglas generales para éste. Por lo general, el efecto deseado se producirá entre diez segundos y dos minutos. El espécimen después del ataque debe ser lavado en agua corriente. La superficie debe ser secada, sin tocarse, manteniendo la corriente de aire. Cuando se seleccionan tiempos de ataque, es más deseable una falta de ataque que sobreatacar. Si se comprueba que una muestra está insuficientemente atacada después de un primer intento, el proceso de ataque normalmente puede repetirse sin preparación adicional de la superficie. Un espécimen que está sobreatacado sólo se puede corregir repuliendo y luego reatacando por un tiempo más corto.



	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	30/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 2.5. Algunos de los ataques químicos más comúnmente empleados.

Ataque	Composición	Aplicación	Condiciones	Comentarios
Ataque de Keller	190ml Agua destilada 5ml Ácido nítrico 3ml Ácido clorhídrico 2ml Ácido fluorhídrico	Aleaciones de aluminio	10-30s de inmersión.	Sólo usar ataques frescos.
Reactivo de Kroll	92ml Agua destilada 6ml Ácido nítrico 2ml Ácido fluorhídrico	Titanio	15 s	
Nital	100ml Etanol 1-10ml Ácido nítrico	Aceros al carbono, estaño y aleaciones de níquel	Segundos a minutos	
Reactivo de Kallings	40ml Agua destilada 2g Cloruro de cobre (CuCl ₂) 40ml Ácido clorhídrico 40-80ml Etanol (85%) o Metanol (95%)	Aceros inoxidables forjados, aleaciones Fe-Ni-Cr	Inmersión o aplicación con un algodón humedecido por unos pocos segundos a minutos	
Reactivo de Lepito	50ml Ácido acético 50ml Ácido nítrico	Aceros de alta temperatura	Aplicación con un algodón humedecido	
Reactivo de Marble	50ml Agua destilada 50ml Ácido clorhídrico 10g Sulfato de cobre	Aceros inoxidables, aleaciones de níquel	Inmersión o aplicación con un algodón humedecido por unos pocos segundos	
Reactivo de Murakami	100ml Agua destilada 10g K ₃ Fe(CN) ₆ 10g NaOH o KOH	Aceros inoxidables forjados, aleaciones de tungsteno, de plata, SiC, B ₄ C	Inmersión o aplicación con un algodón humedecido por unos pocos segundos a minutos	Usar fresco
Picral	100ml Etanol 2-4g Ácido pícrico	Hierro y acero, aleaciones de estaño	Segundos a minutos	No dejar que cristalice o seque-explosivo
Reactivo de Vilella	45ml Glicerol 15ml Ácido nítrico 30ml Ácido clorhídrico	Aceros inoxidables, aceros al carbono, fundiciones de hierro	Segundos a minutos	

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	31/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2.3.2 OBSERVACIÓN DE MACRO Y MICROESTRUCTURA

Macroscopía

La macroscopía se refiere a la observación de la macroestructura, la cual se efectúa sin aumento o con aumentos menores de aproximadamente 30x. La estructura puede aparecer después de tratamientos especiales de ataque. Estos hacen aparentes algunos de los defectos en el material, principalmente las heterogeneidades tales como:

- Segregaciones; se trata de distribuciones de concentración desiguales de algún elemento, como, por ejemplo: azufre, fósforo, silicio, etc.
- Fibras; durante la deformación plástica del material ocurre un alargamiento de las inclusiones y de los granos, lo cual lleva a un aspecto fibroso del material con éstas orientadas en una dirección paralela a la deformación principal.
- Texturas; se trata de orientación preferencial de los cristales debido a fenómenos de recristalización, deformación o recocido.

El examen macroscópico permite obtener conclusiones referentes a los procesos de conformado previos y a la calidad del material utilizado.

Microscopía

La microscopía se refiere a la observación de la estructura del material con ayuda de elementos que permitan distinguir detalles que a simple vista o bajos aumentos son imposibles de observar tales como tamaño de grano y fases presentes (Figura 2.2). Este tipo de observaciones se puede hacer con luz visible, ultravioleta, Rayos X, así como con el auxilio de haz de electrones o de iones, los cuales se consideran generalmente como partículas, pero se comportan como radiación.


	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	32/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			




Figura 2.2. Microscopio metalográfico convencional (de reflexión) de luz visible y partes importantes.

Normalmente en los metales, es suficiente para su observación, contar con ampliaciones de hasta 1000 X, lo cual se puede realizar mediante microscopía con luz visible, de luz ultravioleta y en caso de contar con la facilidad, microscopía electrónica de barrido en el caso que se requieran más de 2000x. Estas técnicas permiten distinguir defectos de dimensión 1 (dislocaciones, éstas de manera indirecta por la aparición de picaduras), dimensión 2 (tamaño de grano, distribución de fases, etc) y dimensión 3 (inclusiones, distribución de precipitados, entre otros).

El uso de películas delgadas o réplicas que son transparentes a los electrones permiten la observación con mayores aumentos (hasta 1 000 000x) y con mayor poder de resolución (hasta unos 3 Å).

2.3.3 IDENTIFICACIÓN DE LOS MICROCONSTITUYENTES Y FASES

Los microconstituyentes son los diferentes elementos microestructurales que se observan en la muestra. Por ejemplo, en el caso de un acero de bajo contenido de carbono (AISI 1020) se tienen dos microconstituyentes: ferrita ($Fe-\alpha$) y perlita (mezcla de $Fe-\alpha$ y Fe_3C). La perlita es un microconstituyente del acero que consta de dos fases, ferrita ($Fe-\alpha$) y cementita (Fe_3C o carburo de hierro). En la figura 2.3 se observan estos dos microconstituyentes, sin embargo, el aumento de la imagen no es suficiente para poder distinguir la mezcla de las dos fases en la perlita. En la figura 2.4 se pueden distinguir claramente las dos fases. Para esto es importante notar la barra de escala de las dos imágenes.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	33/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

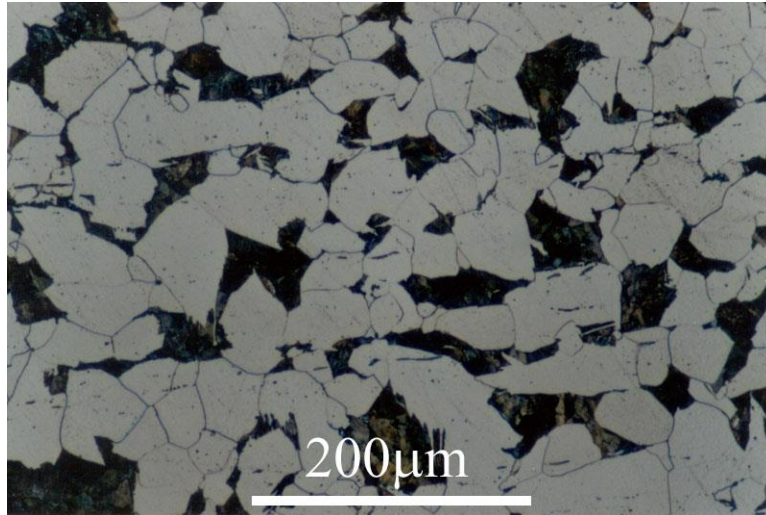


Figura 2.3. Microestructura de un acero AISI 1020. Los granos claros corresponden a la fase ferrita, los oscuros a la perlita [Tomada de www.doitpoms.ac.uk/miclib/index.php].

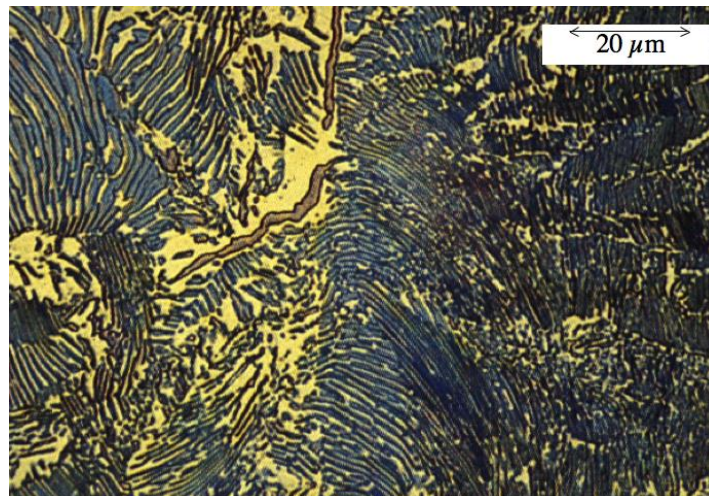



Figura 2.4 En un grano de perlita se tienen dos fases: ferrita (zonas claras) y cementita (zonas oscuras). Estas dos fases en el microconstituyente perlita solo se pueden ver a grandes aumentos [Tomada de www.phase-trans.msm.cam.ac.uk/2008/Steel_Microstructure/SM.html].

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	34/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


2.4 MATERIAL Y EQUIPO

1. Probetas de 25.4 mm de diámetro por 18mm de alto de diferentes aleaciones metálicas, ocupándose como mínimo tres aleaciones diferentes. Por ejemplo, considerando el material existente en el laboratorio, pueden ocuparse las siguientes:

- Acero AISI 1018
- Acero AISI 1045
- Latón (CW603-CuZn36Pb3-)

Sin limitarse a los materiales antes referidos; por ejemplo, en el caso de las aleaciones ferrosas pueden emplearse otros aceros de bajo, medio y alto contenido de carbono, mientras que en el caso de las no ferrosas podrían utilizarse otras aleaciones de cobre o de aluminio en función de la disponibilidad del material del laboratorio, empleando de preferencia una aleación en lugar de un material puro, para que sea más ilustrativa la práctica.

2. Cortadora de disco abrasivo.
3. Discos de corte abrasivo para materiales ferrosos (y no ferrosos, opcional).
4. Alúmina gris.
5. Alúmina blanca.
6. Nital (preferentemente, al 2%).
7. Alcohol.
8. Papel de lija abrasivo (carburo de silicio) de los siguientes grados: 180, 240, 360, 400, 500 y 600. O similares.
De manera opcional, se pueden ocupar lijas de 80, 1000 o mayores. Todas, proporcionadas por los alumnos.
9. Desbastadora de banda (opcional).
10. Desbastadoras manuales.
11. Pistola de aire.
12. Esmeril.
13. Pulidora.
14. Microscopio metalográfico.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	35/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2.5 DESARROLLO

Sesión 1: Preparación de las muestras: selección de superficie y desbaste profundo.


1. El profesor de laboratorio proporcionará, a cada alumno y al azar, las muestras a estudiar de tal manera que analicen diferentes tipos de materiales.

2. Los alumnos que reciban muestras de aleación ferrosa, deben revisarlas e identificarlas. En caso de identificar alguna con un muy mal acabado superficial (notables efectos del corte), para evitar un daño en las lijas de papel abrasivo que se ocuparán más adelante, deberán emplear la desbastadora para desaparecer éstas.

3. Dado que algunas muestras provienen de un proceso de laminación, se debe de identificar la dirección de laminado, de tal manera que se cuente con muestras cuya superficie a preparar sea paralela (longitudinal) al eje de laminación, o bien, con superficies que sean perpendiculares a éste (transversal). En caso de que no se cuente con muestras previamente cortadas, la primera fase de la práctica corresponderá con esta actividad. Para esto primero deberán de verificar si la cortadora tiene instalado un disco de corte adecuado al material a cortar, ya que de otra forma primero se deberá cambiar éste, asimismo. Para el empleo de la cortadora, deberán tener especial cuidado con la fuerza y velocidad que se aplican para evitar la fractura del disco empleado o el incremento desmedido de la temperatura y de la región deformada plásticamente, lo cual modificara la estructura del material.

El corte de la muestra también puede realizarse mediante otros métodos, que pueden generar superficies con mayor o menor deformación, y que pueden ser usados en función de la disponibilidad del equipo de laboratorio.

4. El desbaste se realiza con lijado manual, el cual se debe de efectuar mediante el uso de las desbastadoras, o bien, sobre una superficie inclinada, en donde debe verterse agua con cierta periodicidad, el movimiento de la muestra respecto de la lija se realiza de arriba hacia abajo. Mientras que se ocupe una lija con determinado tamaño de grano, no se debe rotar la muestra, de tal forma que al enjuagar el área de preparación se observen líneas de desbaste en una sola dirección. Solamente se debe rotar 90° la muestra, respecto de las rayas de desbaste, al pasar a una lija con diferente tamaño de grano, a través de lo cual se busca el tener una referencia de la lija empleada y su avance respecto de una precedente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	36/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Lo anterior es con el objetivo de eliminar la zona de deformación provocada por el corte, sin importar el método empleado. Además, se pretende que la superficie de interés no sea lastimada durante la preparación, por lo que debe tenerse especial precaución con la fuerza ejercida y como se distribuye ésta durante el lijado, así como que las partículas previamente removidas no se incrusten en la probeta.

La primera lija utilizada es la de 180, esto hasta desaparecer las rayas y marcas del corte. Posteriormente se procede con lijas de grano más grande, es decir, 240, 360 o incluso 400; siempre alineando el desbaste de la probeta de forma perpendicular al desbaste anterior.

El uso de la desbastadora previo al lijado es opcional y debe utilizarse sólo en casos muy particulares, como por ejemplo si la superficie a preparar presenta marcas muy profundas, ya que es muy fácil generar más de un plano al ocuparla, por lo que debe tenerse especial cuidado.

Sesión 2: Desbaste fino y pulido de superficies a analizar en la probeta.


1. Terminada la etapa de desbaste con lija de grano grueso se procede al desbaste fino, el cual utiliza lijas de grano 400, 500, 600. Si el profesor lo considera pertinente, se usarán lijas de grano más fino, las cuales se utilizan hasta desaparecer en su totalidad las rayas dejadas por la lija previa.

2. Una vez terminada la etapa de desbaste fino, se procede al pulido de la muestra, para el cual se ocupa primeramente un polvo abrasivo con un tamaño de diámetro de grano $3\mu\text{m}$ (alúmina gris) y posteriormente un polvo de alúmina de grado metalográfico (alúmina blanca) con un tamaño de diámetro de grano $1\mu\text{m}$, hasta obtener una superficie lisa y reflejante como la de un espejo.

De preferencia deberá prepararse una pasta con la alúmina indicada y agua destilada.

Sesión 3: Identificación de los microconstituyentes, fases presentes e identificación de Inclusiones (aceros)

1. Una vez pulida a espejo la superficie a observar se procederá al correspondiente ataque, el cual depende de la composición del material, su tratamiento y los microconstituyentes que son de interés. En caso de utilizar un ataque de tipo químico, la tabla 2.5 muestra el tipo de soluciones que pueden prepararse para tal fin, y para realizarlo basta con depositar un poco en un vidrio de reloj o en una caja de Petri, de tal manera que la cantidad depositada alcance para cubrir la superficie a preparar.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	37/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El tiempo de ataque varía en función del reactivo y de la muestra pudiendo ser desde unos pocos segundos hasta algunos minutos. Una recomendación es sumergir la superficie a atacar durante unos pocos segundos, enjuagar con agua corriente y observar el nivel y la uniformidad del “oscurecimiento” generado por el ataque, y en el caso que esto sea deficiente se debe repetir el ataque por unos cuantos segundos más.


Una vez que la superficie de interés se ha atacado de manera adecuada, debe enjuagarse ésta, agregar alcohol y pasar al secado con aire caliente.

Al concluir, se observa la pieza en el microscopio. En caso de que durante esta observación se note la presencia de rayas provenientes del desbaste, casi imperceptibles a simple vista, se recomienda repetir las etapas de pulido y ataque unas cuantas veces hasta desaparecerlas.

2. Se procede a la observación en el microscopio metalográfico. Ésta debe comenzarse a 100x, que es el aumento de referencia (para esto será necesario ajustar el objetivo y los oculares para alcanzar el nivel de amplificación antes enunciado, se debe de recordar que la amplificación está dada por el producto de la amplificación del objetivo por la correspondiente a los oculares). En caso de observar un sitio de interés, posteriormente puede ser visto a mayores aumentos.

El primer ejercicio a realizar en esta observación es la identificación las fases presentes en la aleación en cuestión.

A partir de la observación a bajos aumentos, comenzando con la de referencia que es a 100x, deben identificarse las inclusiones presentes en las probetas de acero al carbono (de bajo contenido -1018- y de medio contenido -1045-). De acuerdo con las Figuras 2.5 a la 2.8, se indican encerradas en color morado a la alúmina, en verde a los óxidos, en azul se tienen a los silicatos y en rojo a los sulfuros.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	38/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

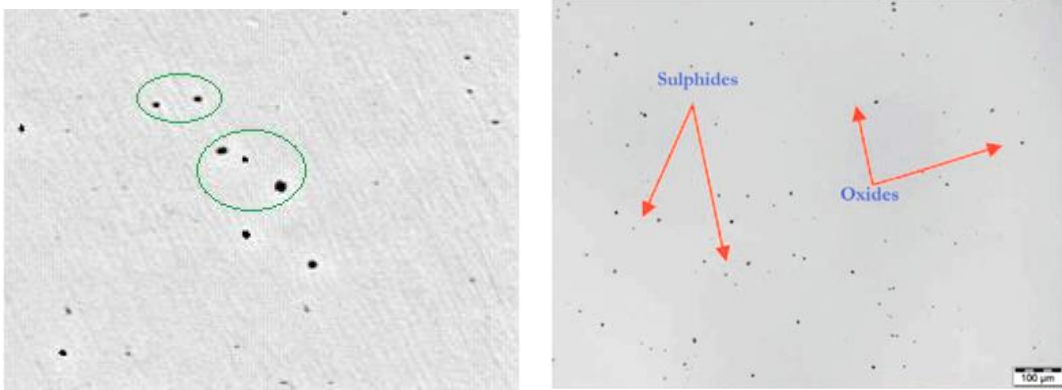


Figura 2.5. Imagen de un óxido. Este tipo de inclusiones se caracteriza por ser de geometría globular y tener una tonalidad oscura.

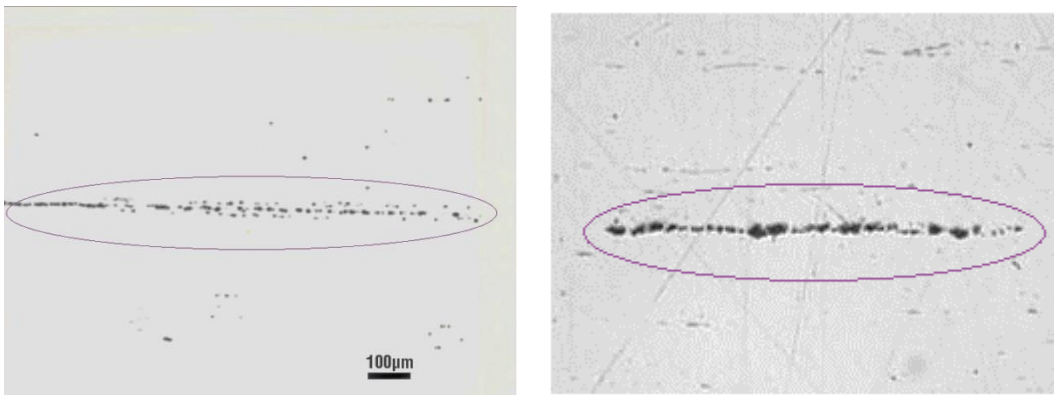



Figura 2.6. Imagen de una inclusión de alúmina. Este tipo de inclusiones se caracteriza por ser de geometría irregular, así como por estar acompañados de varios de estos alineados en una cierta longitud. Poseen una tonalidad gris.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	39/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

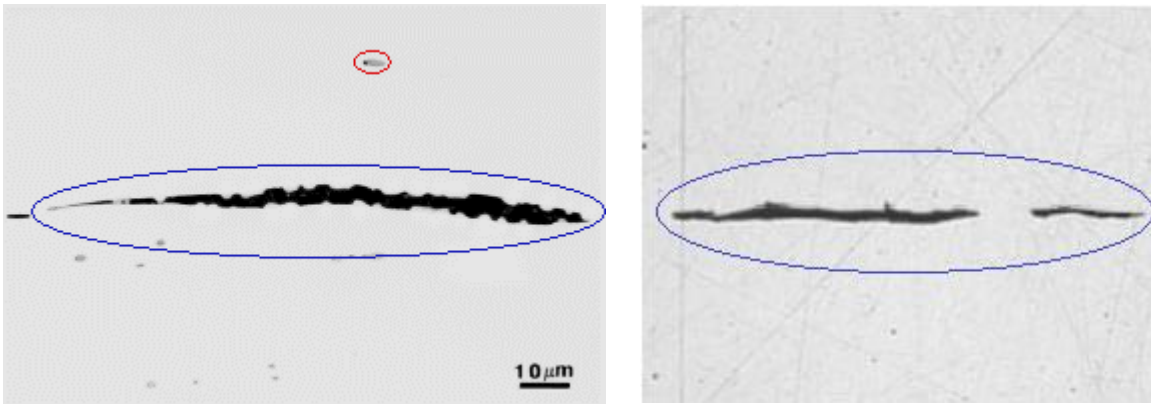


Figura 2.7. Imagen a 100x de una inclusión de silicato. Se caracteriza por tener bordes afilados. Al atacar con nital también se observa que posee una tonalidad oscura (negro).

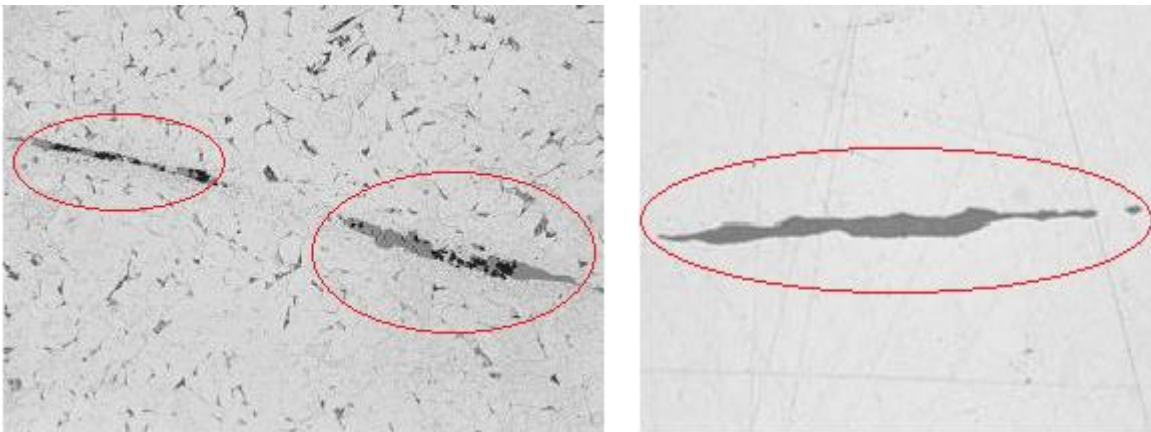



Figura 2.8. Imagen a 100x de una inclusión de un sulfuro. Este tipo de inclusiones sólo es posible visualizarla en un corte longitudinal, en una transversal se vería con una geometría redonda, y se caracteriza por tener bordes más suaves y redondeados. Al atacar con nital también se observa que posee una tonalidad gris claro.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	40/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Determinación del tamaño de grano

La determinación del tamaño de grano representa una importante práctica de la metalografía, debido a la influencia de este parámetro en las propiedades y comportamiento del material (por ejemplo, para verificar esto, se puede considerar la ecuación de Hall-Petch con las reservas de cada caso, ya que es válida para un tamaño de grano homogéneo y considerando un material con no más de dos fases).

Sin embargo, se trata de medir un elemento tridimensional a partir de su observación en el plano.

Para esto se han definido el tamaño de grano planar, que no son otra cosa que mediciones que pueden usarse para expresar el tamaño de grano, como:


- Diámetro promedio
- Área promedio
- Número de granos por unidad de área
- Intercepción promedio sobre una longitud
- Número de granos por unidad de volumen
- Diámetro promedio basado en el volumen promedio del grano

Es entonces que las diferentes técnicas para medir el tamaño de grano planar están definidas en la norma ASTM E112.

- Una de estas es el tamaño de grano ASTM (G) o Tinken. A partir de ésta se determina un tamaño de grano promedio, por lo cual se limita a materiales con granos equiaxiales y de un tamaño homogéneo. Ésta se define como el número de granos por pulgada cuadrada observados a un aumento estándar o de referencia de 100x y se calcula de acuerdo a:

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

$$G = \frac{\log N}{\log 2} + 1$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	41/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

donde

N -número de granos por pulgada cuadrada a 100x

G -Tamaño de Grano ASTM

Por ejemplo, para determinar este parámetro se traza una cuadrícula de 1x1in en una micrografía tomada a 100x y se realiza el conteo de granos dentro de la cuadrícula, los cuales cuentan como uno, y los granos que son cortados por la cuadrícula, los cuales cuentan como una mitad de grano (por ejemplo, los granos encerrados en óvalos anaranjados en la figura 2.9).

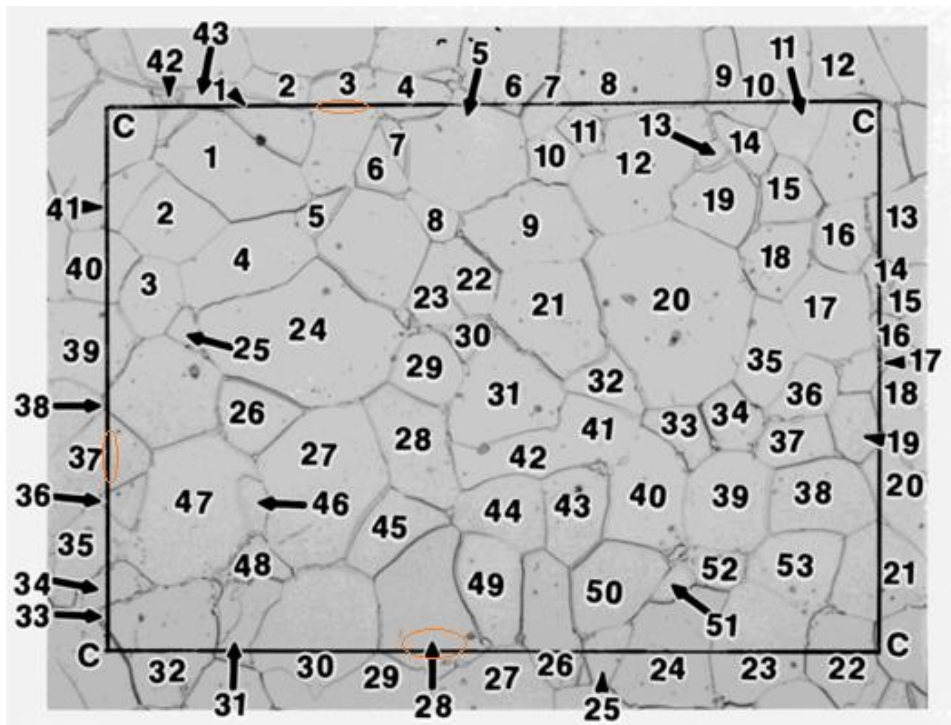



Figura 2.9. Imagen a 100x donde se ha dibujado la cuadrícula de 1in por lado, y el respectivo conteo de granos dentro de esta, para determinar el tamaño de grano.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	42/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Con diferentes aumentos al de referencia (100x), es posible determinar el tamaño de grano, este será mayor en un factor Q que el tamaño de grano aparente determinado a un cierto aumento diferente del de referencia.

$$Q = 6.64 \log \frac{M}{M_b}$$

donde

M - número de aumentos en los que se determinó un tamaño de grano aparente

M_b - número de aumentos de referencia (100x)

Por ejemplo si a 200x se determinó un tamaño de grano aparente $G_{ap200x}=8$, entonces se tiene que:

$$\Rightarrow Q = 6.64 \log \frac{200}{100} = 2$$

$$\therefore G = G_{ap200x} + Q = 8 + 2 = 10$$


- Método de intercepción lineal o de Heyn. Éste es ideal para la medición de materiales con granos no equiaxiales. Ésta se define a partir de los siguientes parámetros:

$$S_v = 2N_L$$

$$N_L = \frac{N}{L_T / M}$$

$$\bar{L} = \frac{1}{N_L}$$

$$G = [-6.6457 \log \bar{L}] - 3.298$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	43/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

donde

N_L - número de intercepciones por unidad de longitud

S_v – área superficial por unidad de volumen de límites de grano

N - número de granos interceptados


M - número de aumentos de la micrografía de trabajo

L_T - longitud total de la línea [mm]

\bar{L} - número de intercepciones por milímetro [1/mm]

La longitud de la línea se define al gusto del usuario, sin embargo, se recomienda elegir una línea que contenga entre 50 a 150 intercepciones.

Por ejemplo, para determinar este parámetro se traza una línea, que puede o no ser tomada a 100x, y se realiza el conteo de granos interceptados los cuales cuentan como uno, para las intercepciones de triple punto se cuenta como uno y medio, si la línea queda tangente a un límite de grano se cuenta como medio y si la línea trazada acaba dentro de un grano se cuenta como medio también (figura 2.10). Esto para materiales con estructuras con una sola fase. Para estructuras con dos fases o más, estas reglas de conteo cambian.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	44/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

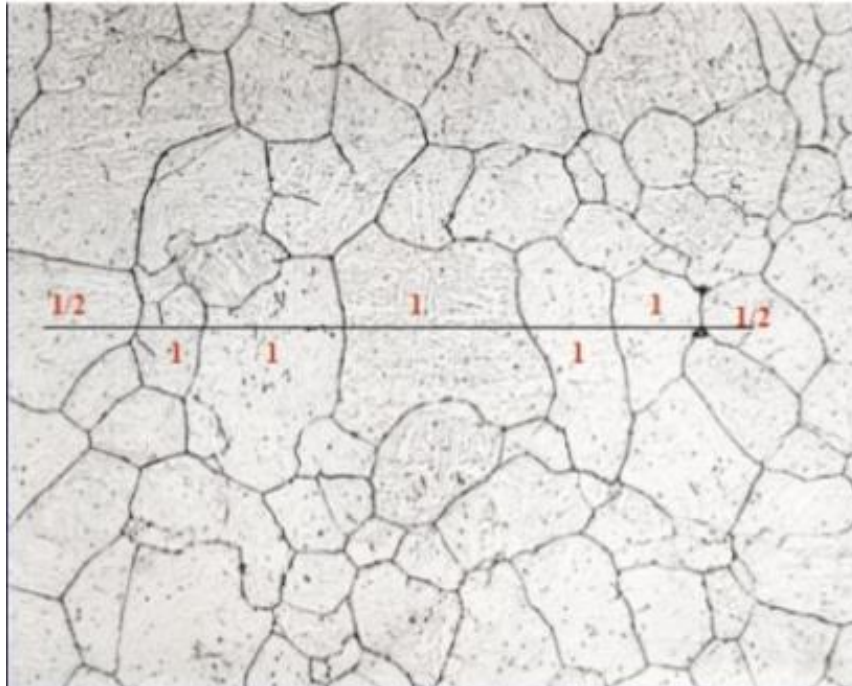



Figura 2.10. Imagen a 100x donde se han realizado el conteo del número de granos interceptados con una línea de cierta longitud. Se recomienda que al menos se intercepten 50 granos.

2.6 RESULTADOS

Los resultados de gráficos corresponden a micrografías obtenidas con el microscopio óptico a 100x, 200x o 500x, según considere apropiado.

Utilizando dichas micrografías, deberá interpretarse la microestructura que presenta el material analizado, presencia de fases, inclusiones, orientación de conformado, etc.

Por otra parte, y utilizando la imagen adecuada, deberá determinarse el tamaño de grano ASTM en base en el procedimiento numérico descrito anteriormente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	45/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

2.7 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

Con base en lo anterior, el alumno discutirá los resultados observados, relacionando el material proporcionado con la morfología detectada.

2.8 CONCLUSIONES

El alumno elaborará sus conclusiones, comentando su experiencia en el desarrollo de la práctica.

2.9 REPORTE

El reporte se entregará de manera individual con el siguiente contenido:

- Carátula de la práctica con los siguientes datos:
- Nombre del profesor, materia, grupo, número de práctica, nombre del alumno, semestre, fecha
- de entrega y espacio para calificación.
- Objetivo.
- Resultados e imágenes capturadas, correspondientes a las micrografías obtenidas, así como el análisis de éstas.
- Conclusiones generales, indicando, además, si se alcanzaron los objetivos planteados.

2.10 BIBLIOGRAFÍA

Vander Voort G. F., Metallography Principles and Practice, American Society for Metals (ASM) International, Estados Unidos, 1999.

Kehl G. L., The Principles of Metallographic Laboratory Practice, Metallurgy and Metallurgical Engineering Series, Mc Graw-Hill, Estados Unidos, 1949.

American Society for Metals (ASM), Metals Handbook, Vol. 8: Metallography, Structures and Phase Diagrams, American Society for Metals 8a edición, Estados Unidos, 1973.



**Manual de prácticas del
Laboratorio de Materiales I**

Código:

MADO-92

Versión:

01

Página

46/126

Sección ISO

8.3

Fecha de
emisión

24 de enero de 2020

Facultad de Ingeniería

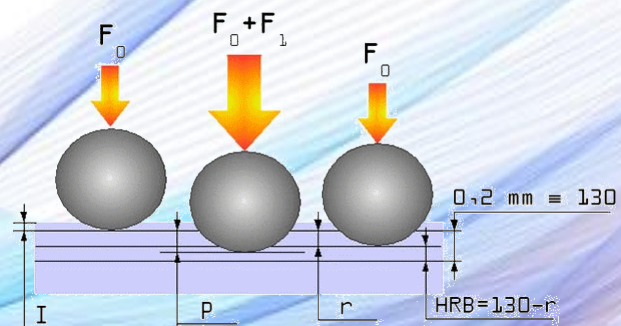
Área/Departamento:
Laboratorio de Ingeniería de Materiales


La impresión de este documento es una copia no controlada

Práctica 3

Caracterización

Mecánica de los Materiales



	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	47/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

2 Sesiones

Contenido

1ª Sesión – Ensayo de dureza


- 3.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN
- 3.2 OBJETIVOS
- 3.3 INTRODUCCIÓN
- 3.4 MATERIAL Y EQUIPO
- 3.5 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA
- 3.6 RESULTADOS
- 3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

2ª Sesión – Ensayo de Impacto

- 3.8 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN
- 3.9 OBJETIVOS
- 3.10 INTRODUCCIÓN
- 3.11 MATERIAL Y EQUIPO
- 3.12 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA
- 3.13 RESULTADOS
- 3.14 ANÁLISIS DE RESULTADOS

REPORTE DE PRÁCTICA

- 3.15 CONCLUSIONES Y/O RESULTADOS GENERALES
- 3.16 REPORTE
- 3.17 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	48/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1ª Sesión – Ensayo de dureza

3.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Durómetros	Machucaduras en dedos

3.2 OBJETIVOS

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

Nota

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

- Ensayo de Dureza: qué es, para qué sirve, 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.

3.3 INTRODUCCIÓN

El ensayo de dureza mide la resistencia a la penetración sobre la superficie de un material, efectuada por un objeto duro (Figura 3.1). 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.

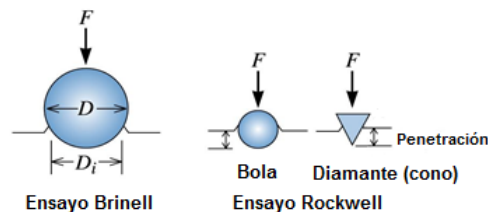



Figura 3.1. Principio de operación de las pruebas de dureza.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	49/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 a la tracción, resistencia al desgaste y a la abrasión del material.

A. Ensayo de dureza Brinell

El equipo de dureza Brinell (figura 3.1), generalmente, consta de una prensa hidráulica vertical de operación manual, diseñada para forzar un indentador de balín dentro de la muestra a probar. La prueba Brinell está limitada a secciones de tamaño menor. Sin embargo, esto constituye una ventaja cuando el material probado no es homogéneo.



Figura 3.2. Equipo para ensayo de dureza Brinell

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	50/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 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 s para los materiales ferrosos y de 30 s para los materiales no ferrosos; aunque algunos equipos ya determinan este tiempo automáticamente.

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

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

donde:

F = carga de prueba [Kg]

D = diámetro del balín [mm]

D_i = diámetro de la huella [mm]

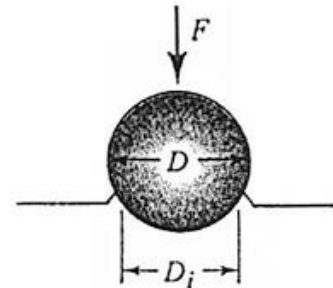


Figura 3.3. Balín para ensayo Brinell.

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	51/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla 3.1. Tabla de valores del factor Q (relación carga vs diámetro del balón).

<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:

Tabla 3.2. Tabla de cargas aplicadas en el ensayo en función de Q

<i>Diámetro del balón [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:

- La relación entre el espesor del material y la huella en la muestra deberá ser 10 veces mayor a la profundidad de la huella.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	52/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 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.

Tabla 3.3. Mínimo espesor de las muestras para las pruebas de dureza Brinell.

Minimum Thickness of Specimen		Minimum Hardness for Which the Brinell Test May Safely Be Made		
in.	mm	3000-kgf Force	1500-kgf Force	500-kgf Force
1/16	1.6	602	301	100
1/8	3.2	301	150	50
3/16	4.8	201	100	33
1/4	6.4	150	75	25
5/16	8.0	120	60	20
3/8	9.6	100	50	17

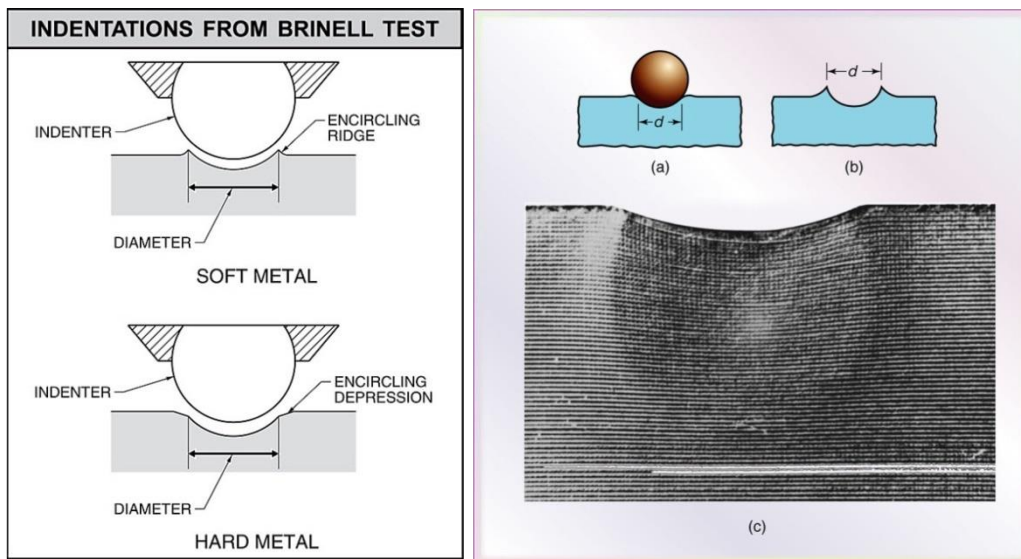


Figura 3.4. Indentaciones y deformación en la prueba de dureza.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	53/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

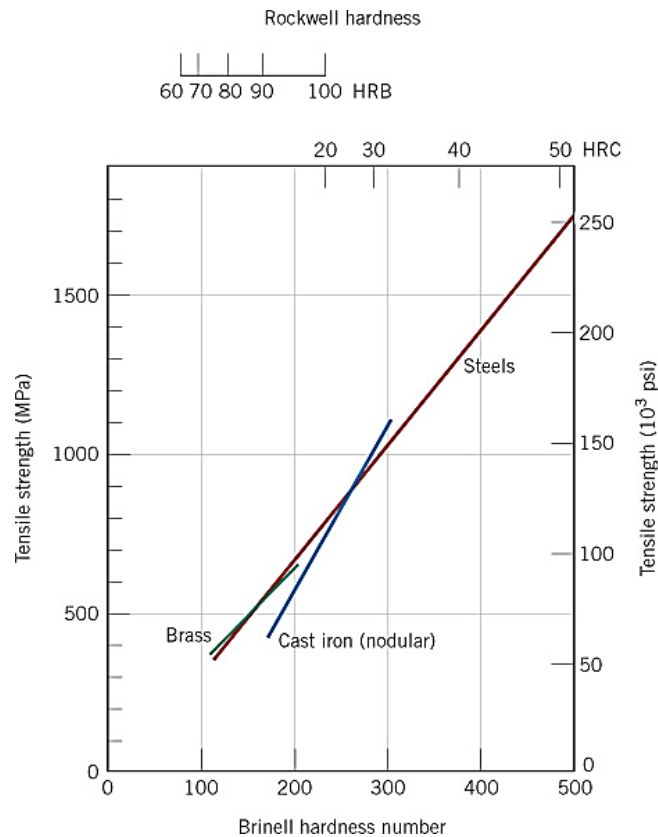


Figura 3.5. Correlación de la dureza Brinell con la resistencia a la tracción.

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 a materiales duros, como 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	54/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

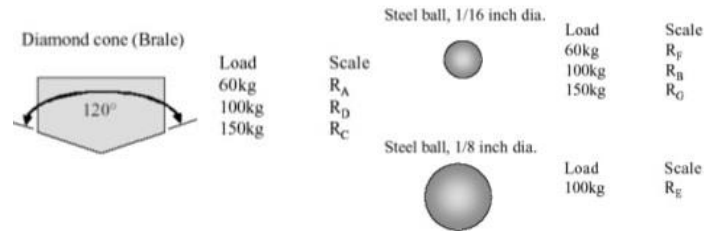


Figura 3.6.Tipos de indentador para ensayo de dureza Rockwell.

Con base en 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.


	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	55/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Figura 3.7. Equipo analógico para ensayo de dureza Rockwell.




Figura 3.8. Equipo digital para ensayo de dureza Rockwell.



Tabla 3.4. Escalas de dureza Rockwell.

ROCKWELL HARDNESS SCALES					
Group	Scale Symbol Prefix Letter	Indenter	Major Load (kg)	Dial Numbers	Typical Applications
Common Scales	B	1/16" ball (1.6 mm)	100	Red	Copper alloys, soft steel, aluminum (Al) alloys, malleable iron.
	C	Diamond cone	150	Black	Steel, hard cast iron, pearlitic malleable iron, deep case-hardened steel
General Scales	A	Diamond cone	60	Black	Cemented carbides, thin steel, shallow case-hardened steel
	D	Diamond cone	100	Black	Thin steel, medium case-hardened steel
	E	1/8" ball (3.2 mm)	100	Red	Cast iron, aluminum and magnesium alloys, bearing metals
	F	1/16" ball (1.6 mm)	60	Red	Annealed copper alloys, thin soft sheet metals
	G		150	Red	Phosphor bronze, beryllium, copper, malleable iron
	H	1/8" ball (3.2 mm)	60	Red	Aluminum, lead (Pb), zinc
K	150		Red		
Special Scales	L	1/4" ball (6.4 mm)	60	Red	Bearing metals and other very soft or thin materials
	M		100	Red	
	P		150	Red	
	R	1/2" ball (12.7 mm)	60	Red	
	S		100	Red	
	V		150	Red	

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	56/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

Tabla 3.5. Espesores mínimos de las muestras según la escala empleada.

Minimum Thickness		Rockwell Scale		
		A	C	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness C-Scale ⁴	Dial Reading
0.014	0.36	...	...	...
0.016	0.41	86	69	...
0.018	0.46	84	65	...
0.020	0.51	82	61.5	...
0.022	0.56	79	56	69
0.024	0.61	76	50	67
0.026	0.66	71	41	65
0.028	0.71	67	32	62
0.030	0.76	60	19	57
0.032	0.81	...	...	52
0.034	0.86	...	...	45
0.036	0.91	...	...	37
0.038	0.96	...	...	28
0.040	1.02	...	...	20

Minimum Thickness		Rockwell Scale		
		F	B	
in.	mm	Hardness Reading	Approximate Hardness B-Scale ⁴	Hardness Reading
0.022	0.56	...	...	...
0.024	0.61	98	72	94
0.026	0.66	91	60	87
0.028	0.71	85	49	80
0.030	0.76	77	35	71
0.032	0.81	69	21	62
0.034	0.86	...	...	52
0.036	0.91	...	...	40
0.038	0.96	...	...	28
0.040	1.02	...	...	...

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	57/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

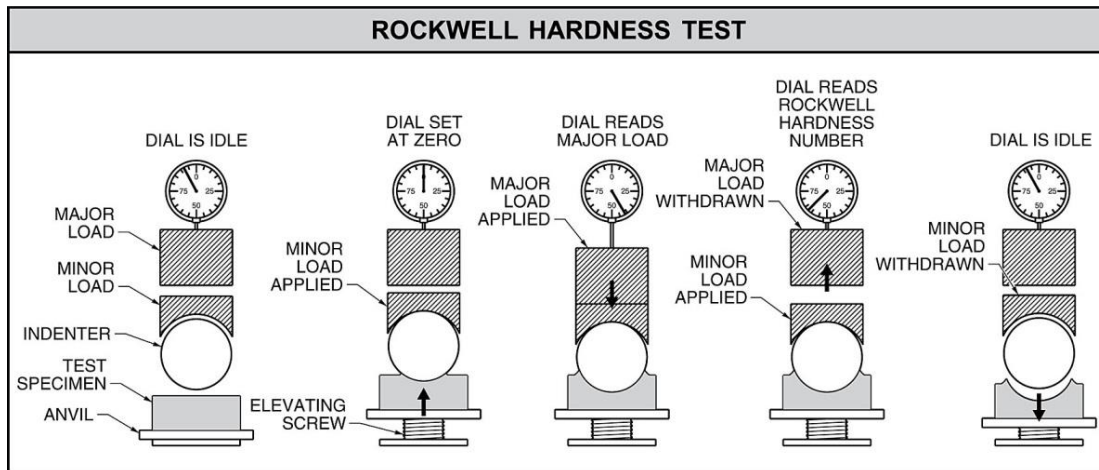


Figura 3.9. Secuencia de pasos para medición de durezas Rockwell.

C. Ensayo de Microdureza Vickers

La prueba de microdureza Vickers es el equipo (figura 3.10) 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° entre las caras opuestas.

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 mide 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 [μm].


	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	58/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



Figura 3.10. Equipo para ensayo de microdureza Vickers.

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 calcula 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]
 α = ángulo de la cara del diamante = 136° (entre caras opuestas)

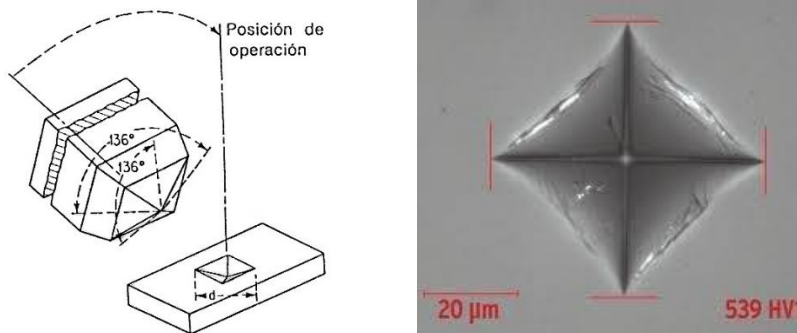



Figura 3.11. Indentador de punta cónica.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	59/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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 (es muy importante que las superficie de la muestra sea paralela a la platina del equipo).

Ventajas del método de dureza Vickers:

Se pueden probar materiales muy duros y blandos; las pruebas pueden realizarse con cargas bajas y también en el rango de microdurezas; el valor de dureza Vickers es independiente de la carga aplicada (arriba de 5 kg); la impresión piramidal no daña a la pieza o la daña muy poco.

Aplicaciones de las pruebas de microdureza. Se emplea para probar:

- Piezas pequeñas de precisión.
- Recubrimientos delgados.
- Materiales muy delgados.
- Alambres de diámetro pequeño.
- Para investigación de pequeñas áreas.
- Dureza de microconstituyentes o fases.
- Dureza cercana a los filos de herramientas de corte, buriles, brocas, etc.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	60/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

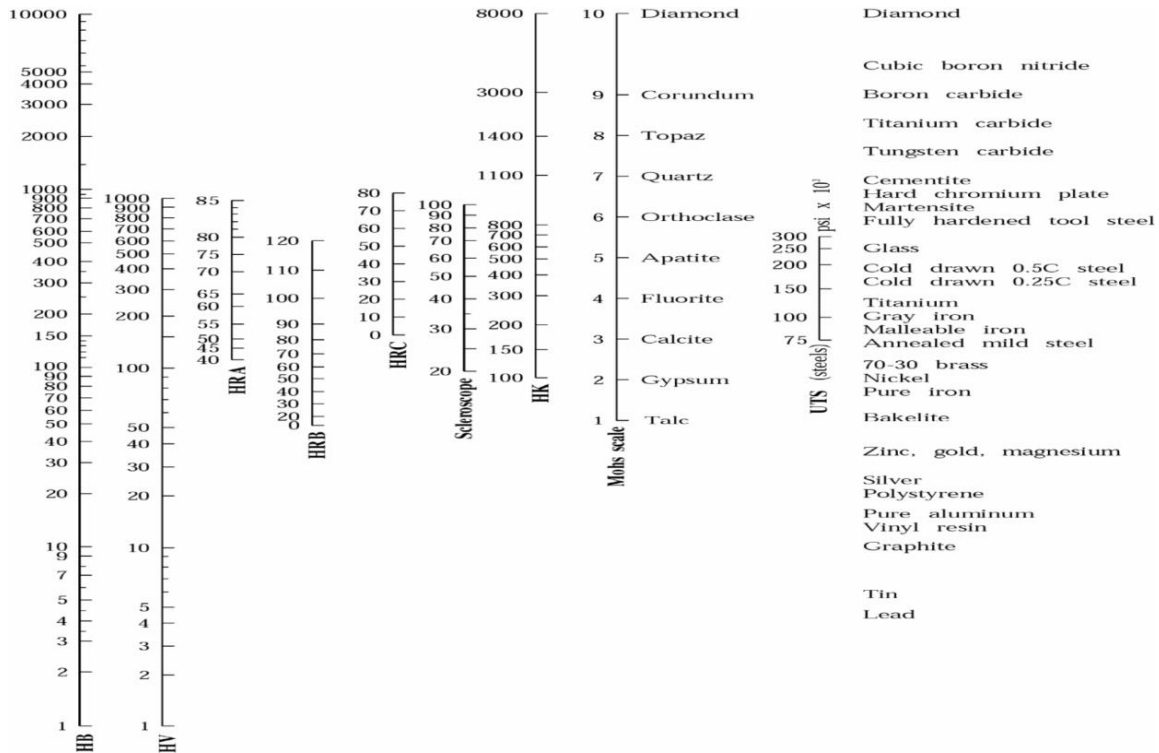


Figura 3.12. Tabla de conversión de dureza (aproximada) entre diferentes escalas.


3.4 MATERIAL Y EQUIPO

Material:

- Muestras de acero, aluminio o latón, planos o cilíndricos.

Equipo:

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	61/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


3.5 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

El alumno someterá varias muestras metálicas (aluminio, latón o acero) a ensayo de dureza, utilizando, al menos, uno de los durómetros anteriormente descritos, para observar las diferencias que se presentan a partir del equipo seleccionado y el material utilizado. De acuerdo con el equipo, o equipos, seleccionados, los ensayos se realizarán siguiendo los pasos indicados a continuación:

A. En caso de utilizar – Durómetro Brinell:

1. Preparar la muestra para el ensayo si es necesario.
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 alrededor de 12 segundos con la carga aplicada.
6. Después retire la carga y cambie el indentador por el objetivo, otra vez de manera cuidadosa y lenta.
7. 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.

Realice hasta 5 mediciones en cada probeta.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	62/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

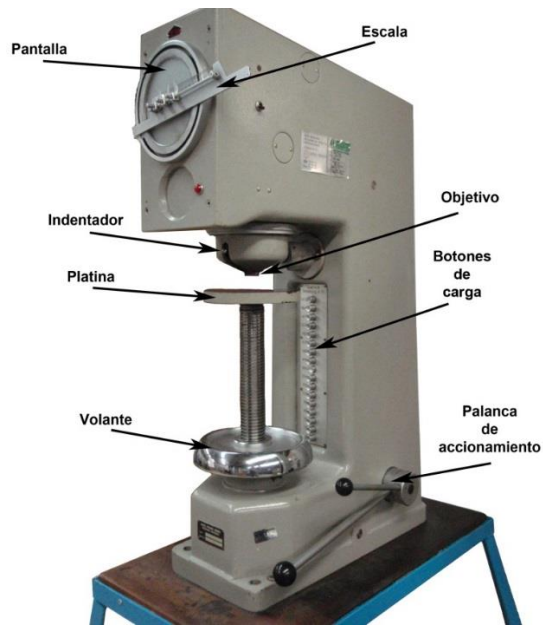


Figura 3.13. Partes del equipo Brinell

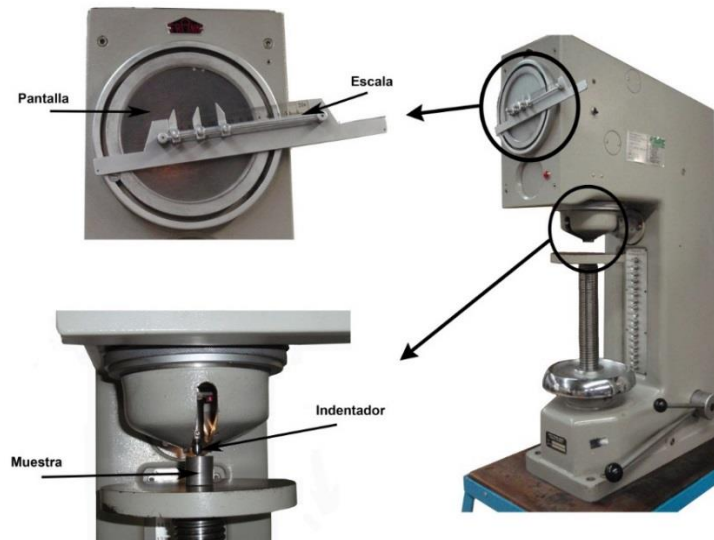



Figura 3.14. Detalle de la carátula y del sujetador para indentador del equipo Brinell.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	63/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


B. En caso de utilizar – Durómetro Rockwell analógico:

1. Preparar la muestra para el ensayo si es necesario.
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. Aplicar una precarga, evitando un impacto entre el indentador y el material, girando 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.
4. Si se pasa de ese punto, hay que volver a empezar este procedimiento en otro lugar de la probeta.
5. Ajustar la manecilla grande al cero de la escala negra (punto SET) por medio del movimiento de la carátula hacia donde sea necesario.
6. Aplicar la carga mayor mediante un leve impulso, hacia atrás, de la palanca colocada al costado derecho de la carátula.
7. Esperar hasta que la carga mayor termine de aplicarse y esperar 12 segundos aproximadamente antes de regresar la misma palanca hacia su posición original, de manera cuidadosa y lenta.
8. Lea el número de dureza directamente en la carátula, según la escala que haya elegido previamente.

Realice hasta 5 mediciones en cada probeta.

En caso de utilizar – Durómetro Rockwell digital:

1. Preparar la muestra para el ensayo si es necesario y encienda el equipo.
2. Seleccionar la escala, según el material al que se le vaya a realizar el ensayo y colóquelos en su posición y coloque el selector de indentador según la escala elegida.
3. Oprimir botón rojo "RESET" y aplicar una precarga, evitando un impacto entre el indentador y el material, girando el volante en sentido positivo de las manecillas del reloj hasta que en el display se indique el valor de -20 ± 1 .

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	64/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

4. Si se pasa de ese punto, hay que volver a empezar este procedimiento en otro lugar de la probeta.
5. Oprimir botón verde "SET".
6. Aplicar la carga mayor mediante un leve impulso, hacia atrás, de la palanca colocada al costado derecho de la carátula.
7. Esperar hasta que la carga mayor termine de aplicarse y esperar 12 segundos aproximadamente antes de regresar la misma palanca hacia su posición original, de manera cuidadosa y lenta.
8. Lea el número de dureza directamente en el display.

Realice hasta 5 mediciones en cada probeta.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	65/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

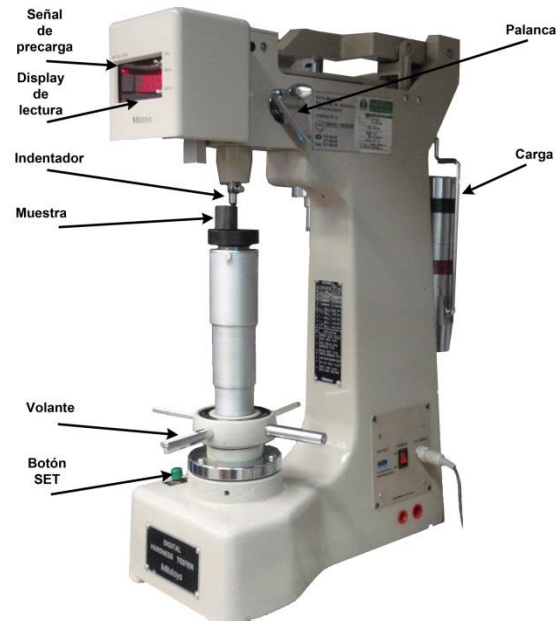



Figura 3.15. Partes del equipo digital para ensayo Rockwell.




Figura 3.16. Detalle de la carátula del equipo Rockwell analógico.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	66/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

C. En caso de utilizar – Microdurómetro Vickers (ENSAYO DEMOSTRATIVO):

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.

Realice hasta 5 mediciones en cada probeta.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	67/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

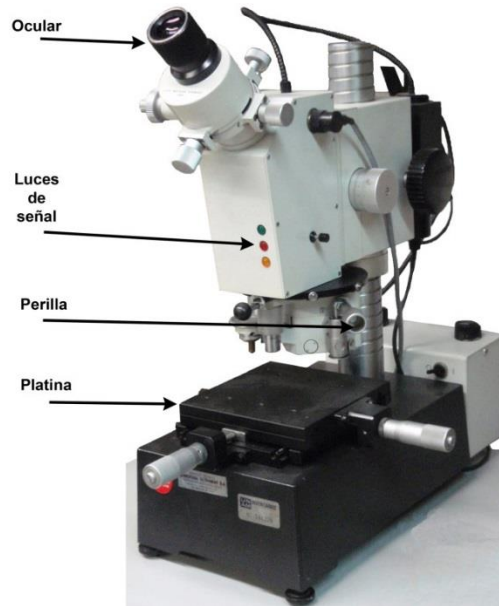


Figura 3.17. Partes del equipo para ensayo de microdureza Vickers.

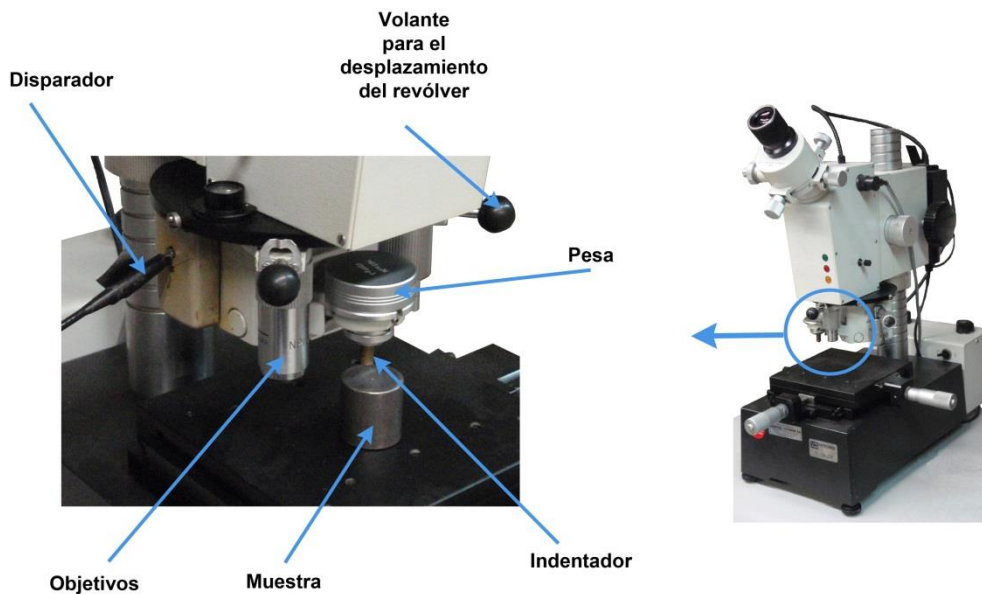



Figura 3.18. Detalle del equipo Vickers.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	68/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.6 RESULTADOS


Las lecturas obtenidas de los equipos utilizados se reportarán de la siguiente manera:

Ensayo Brinell

Ensayo	Material	Factor Q	Diámetro del balón D (mm)	Carga F (Kg)	Diámetro de huella D _i (mm)	Dureza Brinell (Kg/mm ²)
1						
2						
3						
4						
5						

Ensayo Rockwell (analógico y/o digital)

Ensayo	Material	Carga (Kg)	Tipo de indentador y diámetro (si aplica)	Dureza Rockwell	Escala
1					
2					
3					
4					
5					

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	69/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Ensayo Vickers

Ensayo	Material	Tipo de indentador	Carga (P)	Diagonal generada (d)	Dureza Vickers
1					
2					
3					
4					
5					

3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

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 aplicada.
3. Cargas aplicadas 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	70/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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, determinar la equivalencia de la dureza obtenida, en promedio, en otras escalas o tipos de ensayo:

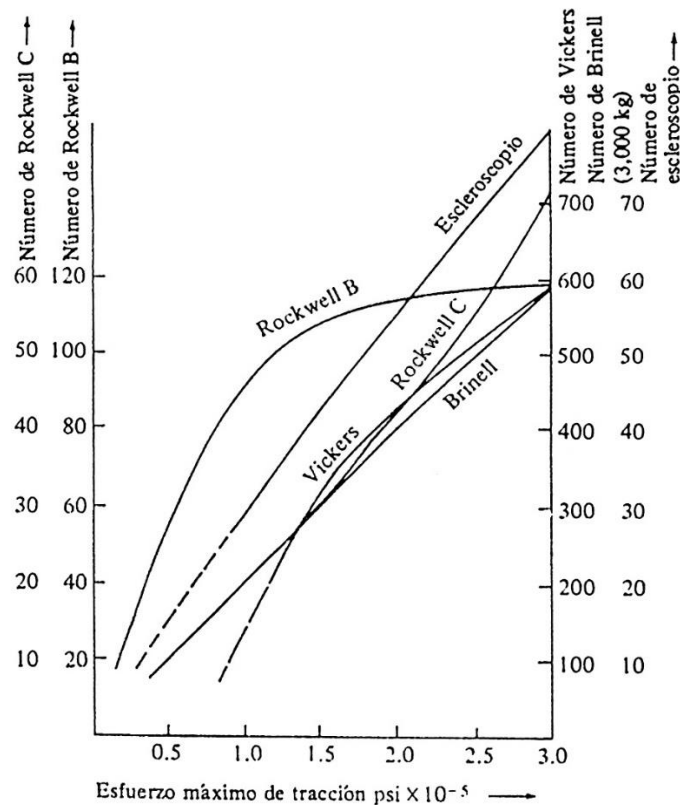



Figura 3.19. Gráfica donde se correlaciona la resistencia mecánica y la dureza.

2ª Sesión – Ensayo de Impacto

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	71/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.8 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Máquina de impacto	Golpe severo por impacto
2	Nitrógeno líquido	Daño severo en la piel
3	Mufla	Quemaduras

3.9 OBJETIVOS

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.

Nota


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.

3.10 INTRODUCCIÓN

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 los impactos 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 llega el material puede presentar 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	72/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

Existen cinco clases de fractura en los metales, con base en la naturaleza del proceso de fractura:

- Dúctil
- Frágil
- Cortante Adiabático
- Termofluencia
- Fractura por Fatiga

Una de las fracturas más catastróficas es la de tipo frágil. Tres factores contribuyen a una fractura frágil tipo clivaje: estado de esfuerzos triaxial, baja temperatura y altas velocidades de aplicación de carga.

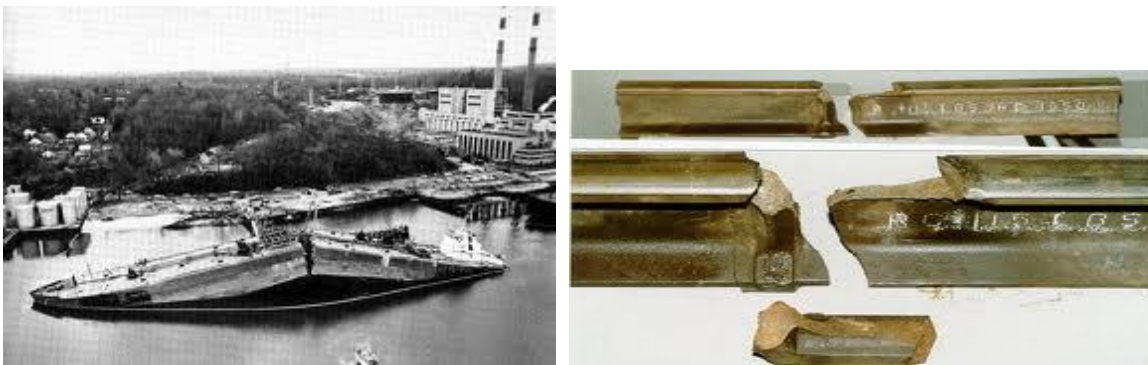



Figura 3.20. Ejemplos de fallas catastróficas por fracturas frágiles: izquierda, barcos soldados y tanques hechos de acero de medio C, afectados por las bajas temperaturas durante la Segunda Guerra Mundial; derecha, Rieles de trenes durante largos períodos de invierno muy fríos.

El ensayo de impacto evalúa el grado de fragilidad que tiene un material en su fractura. Existen dos tipos de ensayo de Impacto, el Charpy y el Izod.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	73/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Ensayo de Impacto Charpy o Izod.

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 3.21 y 3.22). En el ensayo de impacto, las cargas máximas actúan instantáneamente, en algunos casos, el estado de esfuerzos se asemeja a las condiciones de servicio.

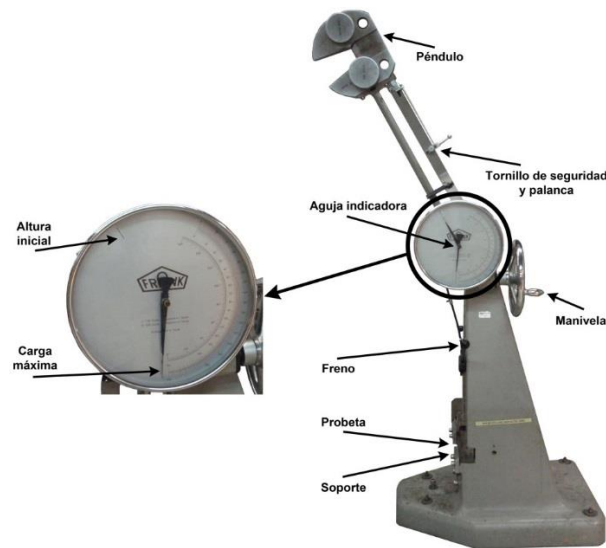



Figura 2.21. Equipo para ensayo de impacto y sus partes.

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, podrán ser fracturadas por un solo golpe del 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. 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 3.22).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	74/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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.

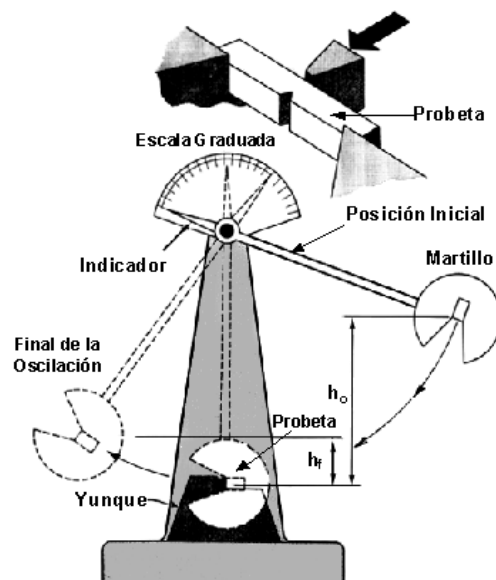



Figura 3.22. Ensayo de impacto Charpy.

Cuando el péndulo golpea a la probeta, ésta absorbe la energía potencial que tenía éste en su posición inicial. Dicha energía se puede determinar directamente, en Joules, de la máquina de impacto.

Después de realizar este tipo de ensayo, los parámetros que se pueden asociar son (figura 3.23):

- 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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	75/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

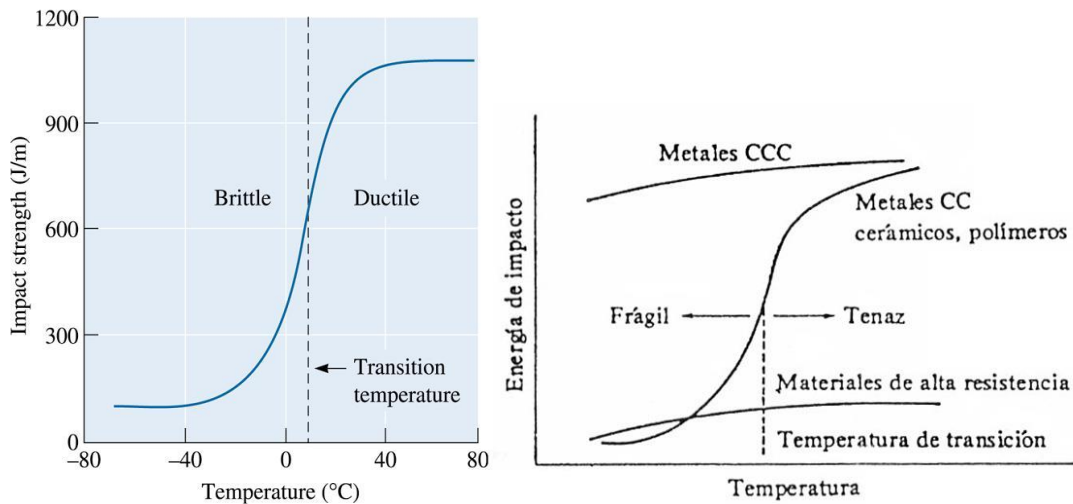



Figura 3.23. Gráfica Temperatura vs Energía de impacto

- 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 metálicos de ingeniería se presentan dos tipos de fractura que son: dúctil y frágil.

Para que exista una falla, el material debe estar sujeto a solicitaciones excesivas. 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 3.24).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	76/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

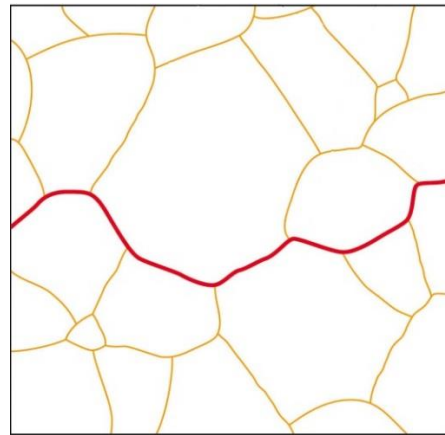


Figura 3.24.Ejemplo de fractura dúctil.

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 principalmente (figura 3.25).

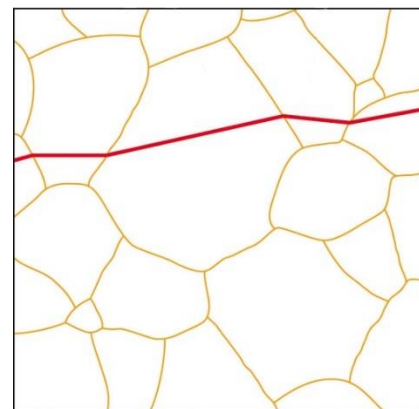
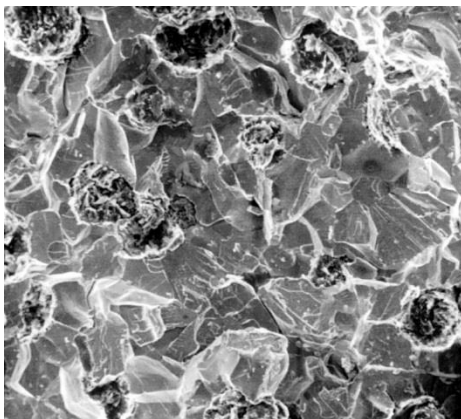



Figura 3.25.Ejemplo de fractura frágil.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	77/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Características de la probeta para el ensayo de impacto Charpy e Izod:

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 3.26):

- 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”.

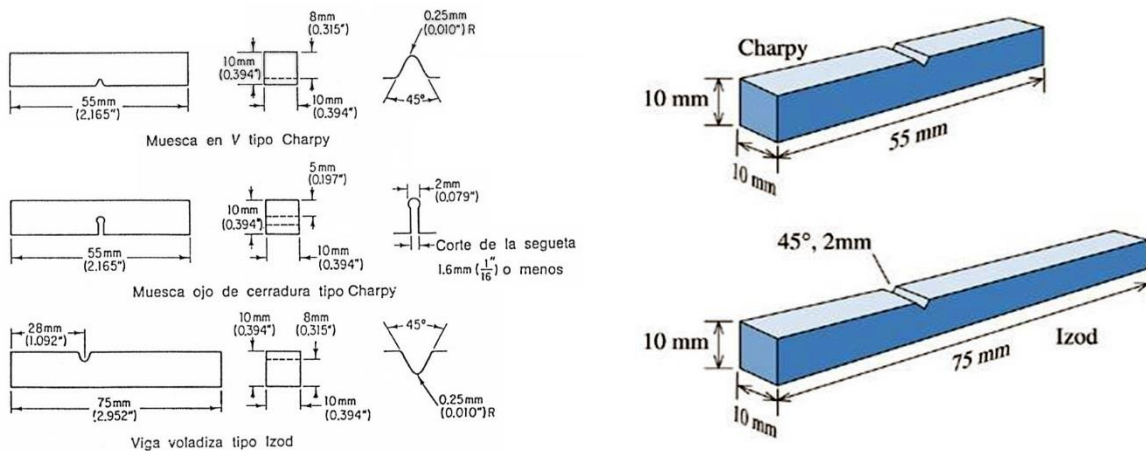



Figura 3.26. Características de las probetas para ensayo tipo Charpy e Izod.

- 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 3.27).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	78/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

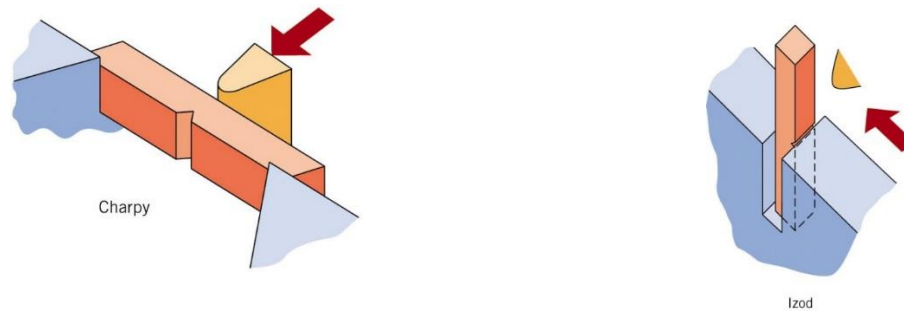


Figura 3.27. Colocación de la probeta

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, dado que 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 3.29 y 3.30).
- 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".

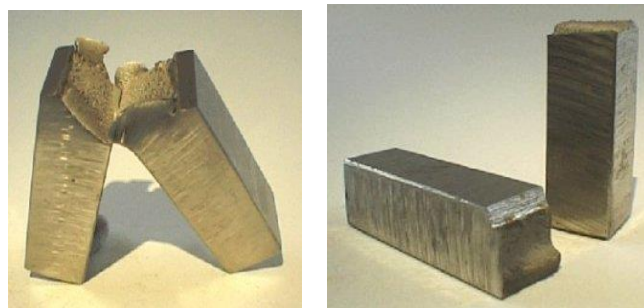



Figura 3.28. Diferencia entre una fractura dúctil y una frágil en el ensayo Charpy.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	79/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

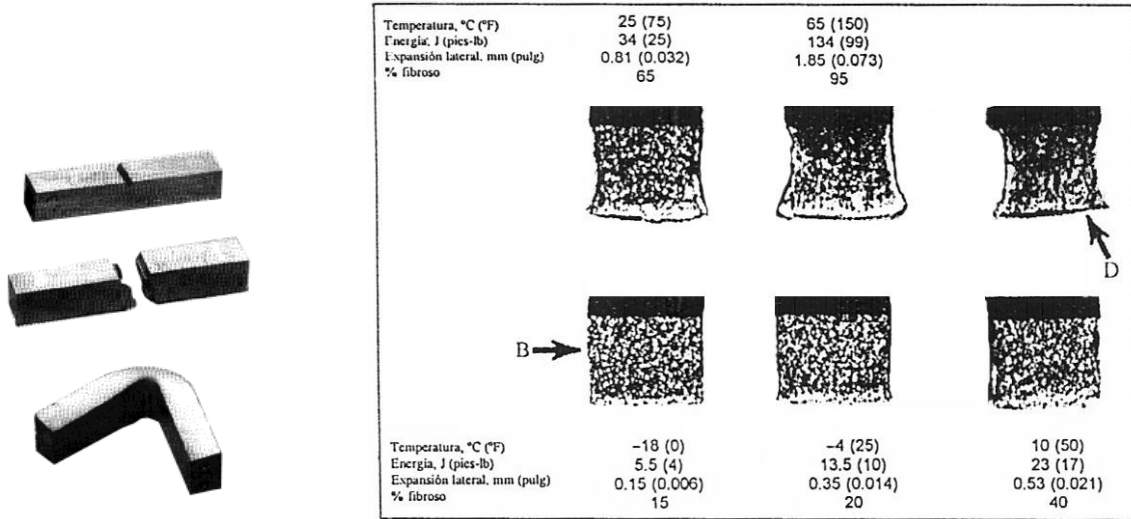


Figura 3.29. Probetas de acero fracturadas y sus superficies a distintas temperaturas.

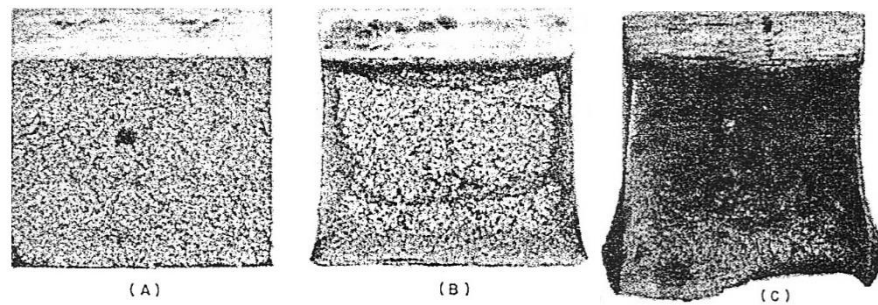


Figura 3.30. Superficies típicas de las fracturas: (A) Frágil, (B) Parte dúctil, parte frágil, (C) Dúctil.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	80/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

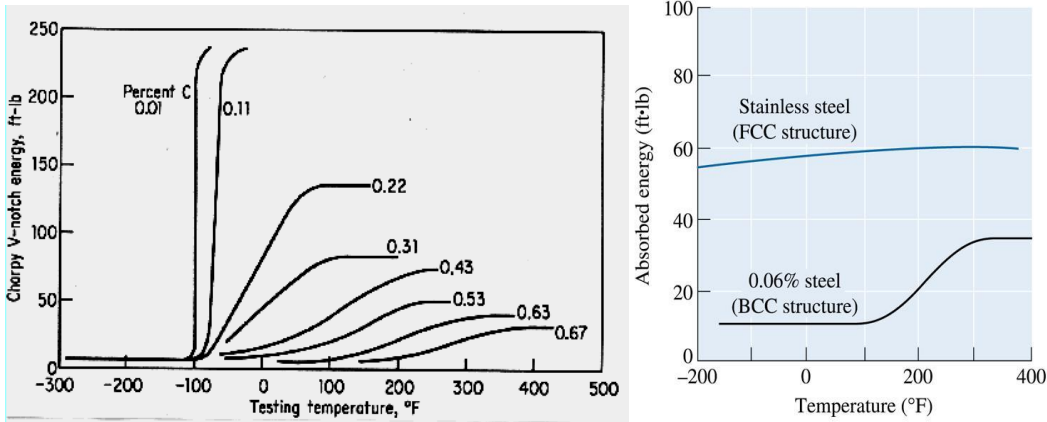


Figura 3.31. Temperatura de transición dúctil-frágil en función del porcentaje de carbono y en función del tipo de estructura cristalina.

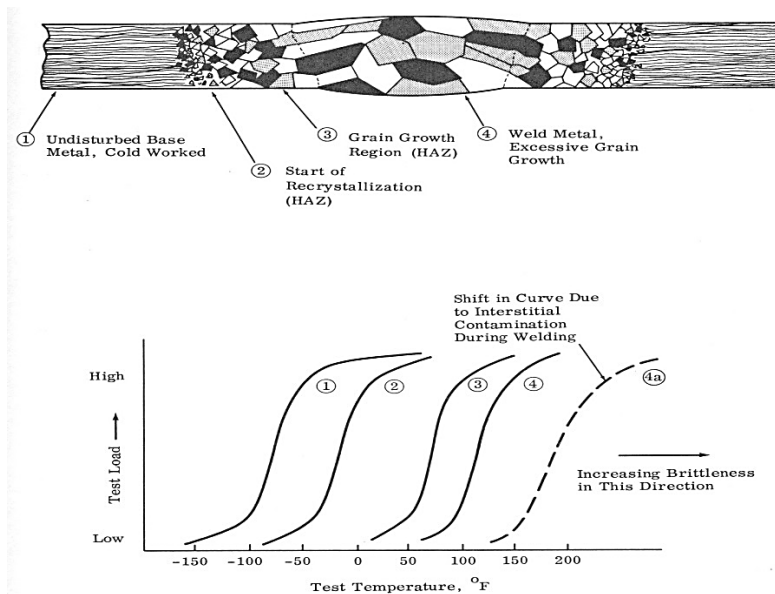



Figura 3.32. Temperatura de transición dúctil-frágil en función de la proximidad de una soldadura en un acero.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	81/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.11 MATERIAL Y EQUIPO

Material:

- Vaso de poliestireno expandido (unicel) o vaso de cartón.
- Vasos de precipitado de 500 ml (opcional).
- Nitrógeno líquido.
- Hielo Seco (opcional).
- Alcohol (opcional).
- Acetona (opcional).
- 3 Probetas del tipo Charpy de acero de bajo contenido de carbono.

Equipo:


- Máquina para ensayos de impacto.
- Horno precalentado entre 700 y 900 °C.
- Pinzas para horno.
- Guantes para horno.
- Pinzas de punta (opcional).
- Pirómetro (opcional).

3.12 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 o vaso de cartón que contenga nitrógeno líquido o hielo seco con alcohol, alrededor de 10 minutos.
2. Introducir una probeta del tipo Charpy dentro de un horno precalentado entre 700 y 900 °C alrededor de 15 minutos.
3. 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 3.21:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	82/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

1. 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.
2. Por medio de la manivela 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.
3. Colocar la probeta Charpy en el soporte (se recomienda utilizar las pinzas de punta para manipular la probeta fría y las pinzas del horno para la probeta caliente) de manera que el impacto se realice en la parte posterior de la muesca.
4. Con el pirómetro, registrar la temperatura de la probeta.
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 de manera gradual, 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.

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.
- Después del ensayo en frío y caliente, utilizar pinzas para colocar la probeta ensayada en un lugar seguro hasta que alcancen la temperatura ambiente.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	83/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

3.13 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, considere que la tenacidad relativa se obtiene de manera directa en la carátula de la máquina.

Probeta	Temperatura [°C]	Tenacidad Relativa [J]	Tipo de fractura (dúctil/frágil)
1			
2			
3			


3.14 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.

3.15 CONCLUSIONES Y/O COMENTARIOS GENERALES

Con base en el desarrollo de las dos sesiones, el alumno discutirá el concepto de dureza de un material y su representación en las diferentes escalas manejadas, así como los casos de uso de cada método. Además, discutirá y elaborará sus conclusiones, respecto a los diferentes conceptos relacionados con el ensayo de impacto de un material.

Con esto, el alumno elaborará una conclusión al respecto.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	84/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


3.16 REPORTE

El reporte se entregará de manera individual con el siguiente contenido:

1. Carátula de la práctica con los siguientes datos:
2. Nombre del profesor, materia, grupo, número de práctica, nombre del alumno, semestre, fecha de entrega y espacio para calificación.
3. Objetivo.
4. Tablas de resultados, correspondientes a los obtenidos en cada sesión, así como el análisis de éstos.
5. Conclusiones generales, indicando, además, si se alcanzaron los objetivos planteados.

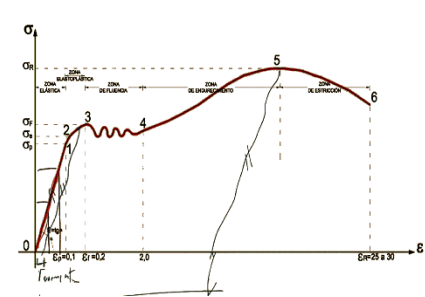
3.17 BIBLIOGRAFÍA


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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	85/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica Optativa 1

Ensayo de Tracción en Materiales



	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	86/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

1 Sesión

Contenido

PO1.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

PO1.1 OBJETIVOS

PO1.2 INTRODUCCIÓN

PO1.3 EQUIPO Y MATERIAL


PO1.4 DESARROLLO

PO1.5 ANÁLISIS DE RESULTADOS

PO1.6 CONCLUSIONES

PO1.7 CUESTIONARIO PREVIO

PO1.8 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	87/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO 1.0 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Observación
1	Máquina de ensayo de tracción	Manejo con cuidado


PO1.1 OBJETIVOS

El alumno determinará las principales propiedades mecánicas de diferentes materiales de ingeniería que se obtienen a través de la prueba de tracción, conocerá el principio ingenieril del equipo utilizado en esta prueba y deberá interpretar la gráfica resultante de aplicarla en metales y plásticos.

PO1.2 INTRODUCCIÓN

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.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	88/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

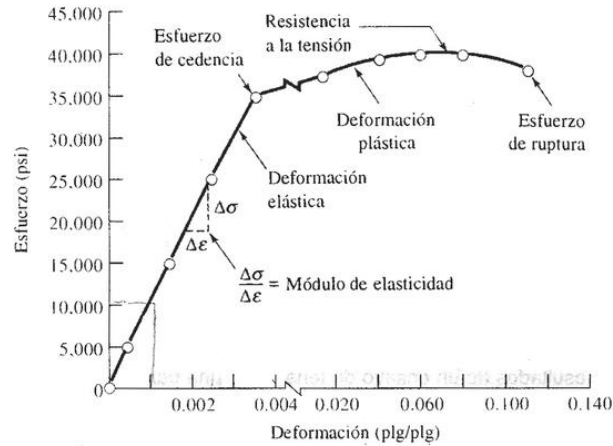


Figura O1.1. Curva esfuerzo ingenieril-deformación ingenieril.

Este ensayo se lleva a cabo con el uso de una máquina de tracción, cuyas partes principales se muestran en la figura O1.2.

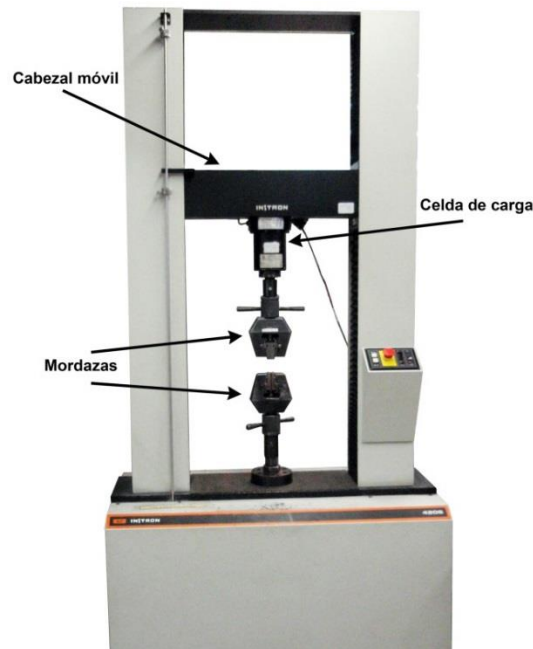



Figura O1.2. Esquema de una máquina de Ensayo de Tracción.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	89/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

La máquina de ensayo de tracción aplica una carga que genera 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 O1.3, se muestra el diagrama esfuerzo deformación representativo de los materiales dúctiles. El diagrama empieza con una línea recta desde el punto O hasta el punto 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 (7), donde E es una constante de proporcionalidad conocida como el módulo de elasticidad del material o módulo de Young. 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 y con esto se determina la rigidez del material.

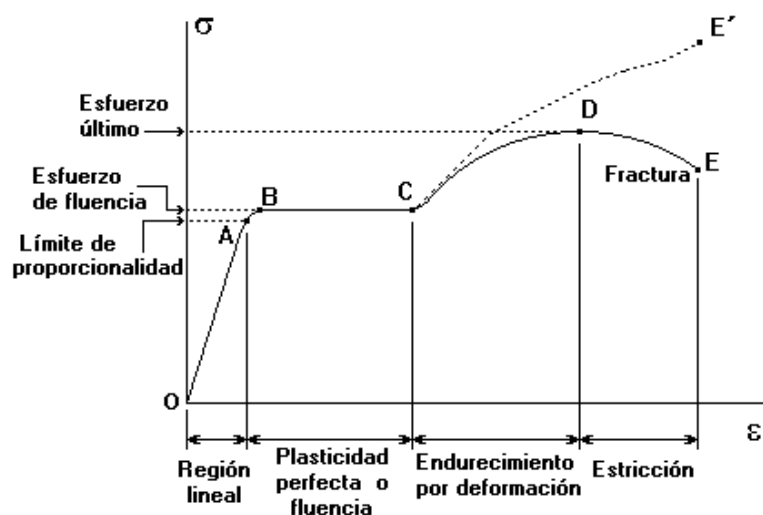



Figura O1.3. Diagrama esfuerzo-deformación de materiales dúctiles en tensión (fuera de escala).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	90/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

En la gráfica se obtienen los valores de Esfuerzo (eje de las ordenadas), que es la carga aplicada sobre el área de la sección transversal inicial ($P_a = N/m^2$) y la deformación registrada en el material (eje de las abscisas), que es el incremento de la longitud con respecto a la longitud inicial (mm/mm). A la gráfica OABCDE se le denomina gráfica Esfuerzo -deformación Ingenieril.

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', a la que se denomina Esfuerzo-deformación real. 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 o ingenieril OABCDE, está basada en el área transversal original de la muestra, para facilidad del cálculo, pero suministra información satisfactoria para emplearla solo en el diseño.

En la figura O1.4 se muestra la forma de la probeta al inicio, al momento de llegar a la carga máxima y luego de la ruptura.

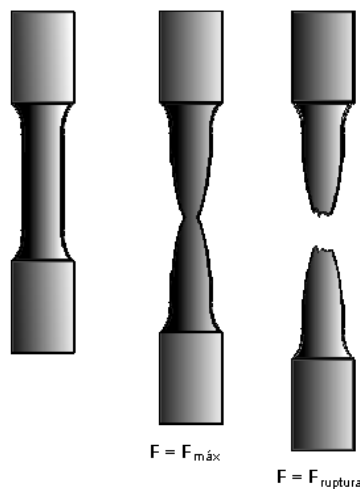



Figura O1.4. Etapas de una probeta durante el ensayo de tracción.

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

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	91/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

resistencia a la fluencia: $\sigma_y = \frac{F_y}{A_0}$ (1)

resistencia máxima a la tracción: $\sigma_{ult} = \frac{F_{max}}{A_0}$ (2)

Las unidades del esfuerzo se expresan en: MPa, en Kg/mm² o en Kpsi, según el sistema de unidades utilizado.

Considerando una probeta cilíndrica: $A_0 = \frac{\pi D_0^2}{4}$ (3)

La figura O1.5 ilustra una probeta al inicio del ensayo indicando las medidas iniciales necesarias.

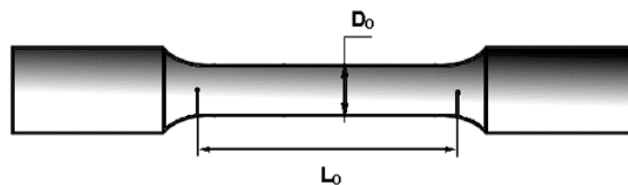


Figura O1.5. Probeta mostrando el diámetro y la longitud inicial, D_0 y L_0 .

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 O1.6).

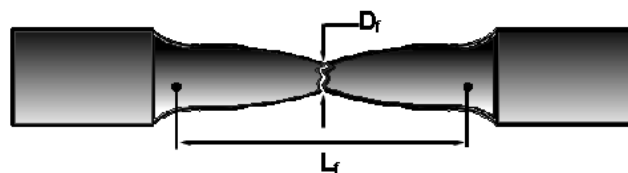



Figura O1.6a. Longitud y diámetro final.

Estos parámetros iniciales y finales se expresan como porcentaje de reducción de área % R_A que es una medida de la maleabilidad del material, y porcentaje de alargamiento entre marcas % ΔL , llamado elongación y que es una medida de la ductilidad:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	92/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$\%R_A = \frac{A_0 - A_f}{A_0} \dots(4) \quad ; \quad \text{Elongacion} = \% \Delta L = \frac{L_f - L_0}{L_0} \times 100 \dots(5)$$

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

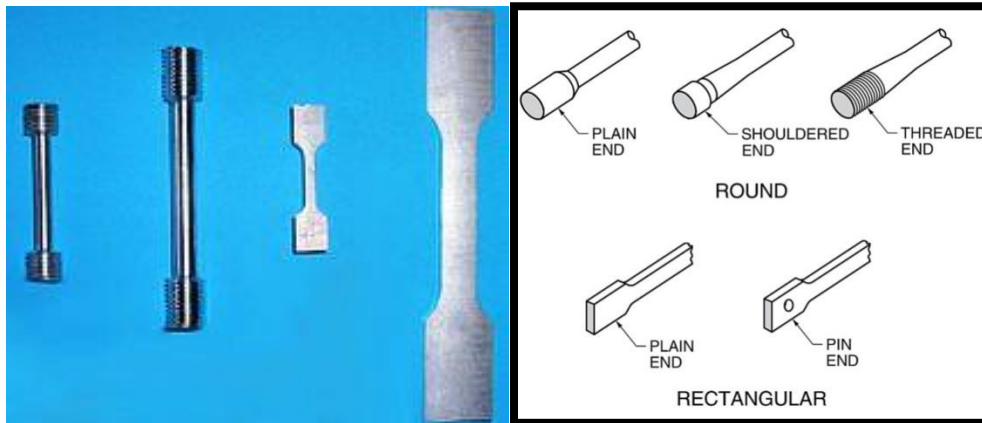


Figura O1.6b. Tipos de muestras para pruebas de tracción y formas de los extremos.

La fragilidad se define como la negación de la ductilidad. Un material poco dúctil es frágil. La figura O1.7 permite visualizar estos dos conceptos gráficamente.

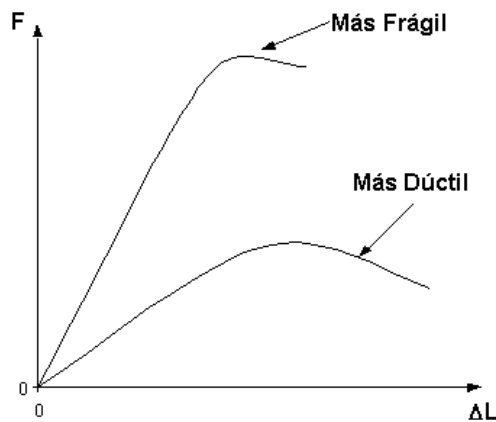



Figura O1.7. Gráfica de un material dúctil y de uno frágil.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	93/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

El área bajo la curva esfuerzo - deformación (σ vs ϵ) representa la energía por unidad de volumen disipada durante el ensayo, es decir, la cantidad de energía por unidad de volumen que la probeta alcanzó a resistir y se denomina Tenacidad. A mayor energía, el material es más tenaz.

Los materiales que fallan a tracción 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 σ vs ϵ , 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 O1.8).

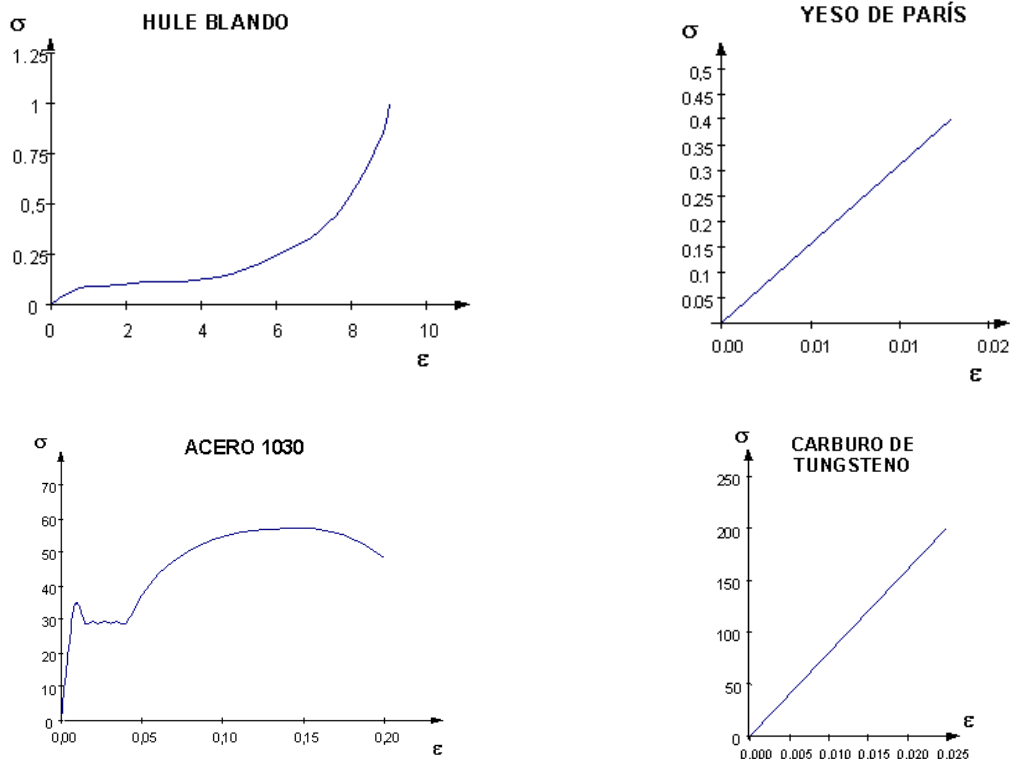


Figura O1.8. Distintas curvas σ - ϵ ; σ en (1000 lb/pulg²).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	94/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

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

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L_0} \dots\dots(6)$$

En la figura O1.9 se presenta un ejemplo del gráfico de esfuerzo-deformación del acero y aluminio respectivamente.

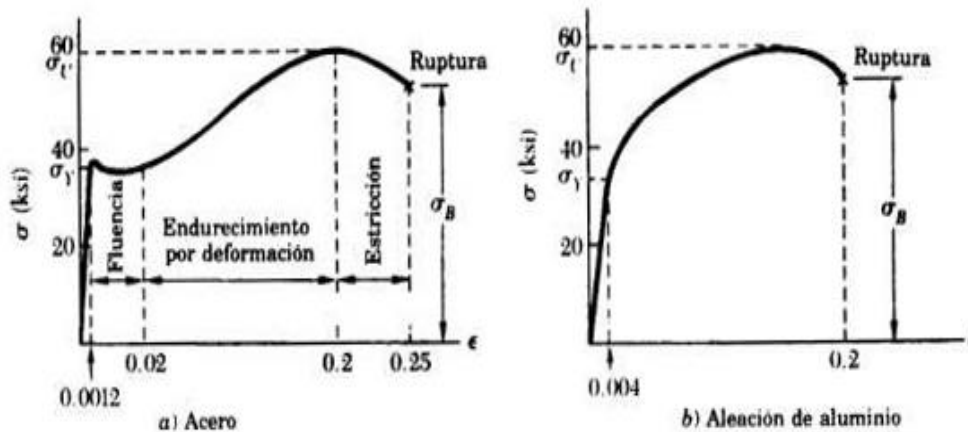



Figura O1.9. Diagramas esfuerzo-deformación de dos materiales dúctiles típicos.

En la zona elástica se cumple: $\sigma = E\epsilon \dots\dots\dots (7)$

Donde E es el Módulo de Elasticidad = 210 [GPa] para el acero; (1GPa=1x10⁹ Pa)
Y para el aluminio E = 70 [GPa].

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

finalmente:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	95/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$F = \frac{EA_0}{L_0} (L_f - L_0) \dots\dots\dots(8)$$

Los diagramas esfuerzo-deformación de diversos materiales varían ampliamente y diferentes ensayos de tracción 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.

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} \quad [s^{-1}] \text{ o } [Hz] \dots\dots\dots(9)$$

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

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt} = \frac{d\left(\ln\left(\frac{L}{L_0}\right)\right)}{dt} = \frac{1}{L} \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L} \dots\dots\dots(10)$$


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, según la ley de Hooke está dada por

$$\dot{\sigma} = E \dot{\varepsilon} \dots\dots (11)$$

donde $\dot{\varepsilon}$ está en función de la velocidad, 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,

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	96/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

en metales, se utiliza comúnmente una probeta de sección redonda. Para láminas y placas usualmente se emplea una probeta plana (figura O1.10).

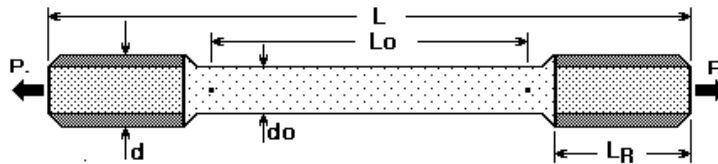


Figura O1.10. *Probeta para ensayo de tracción.*

Tabla O1.1. *Medidas de las probetas para diferentes materiales*

Material	L (mm)	d (mm)	LR (mm)	Lo (mm)	do (mm)	df (mm)	Lf (mm)	Área (mm ²)
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 σ en el espécimen de prueba (probeta) se calcula dividiendo la carga P entre el área de la sección transversal inicial (A_0):


$$\sigma = \frac{P}{A_0} \dots\dots (12)$$

Como ya se mencionó, 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, al considerar el área instantánea del esfuerzo aplicado.

Después de realizar una prueba de tracción 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.

La curva de esfuerzo real-deformación real se obtienen de manera similar al dividir la carga entre el área de la sección transversal instantánea, con la deformación real calculada a partir de la ecuación (13), por lo que la curva de esfuerzo real puede representarse mediante la ecuación (14).

$$\epsilon_R = \ln(l/l_0) \dots\dots (13) \quad \sigma_R = k\epsilon_R^n \dots\dots (14)$$


	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	97/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

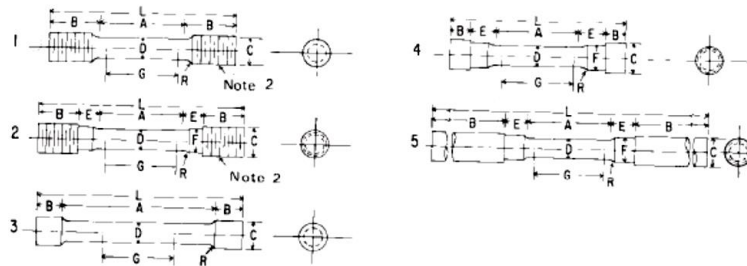
donde k es el coeficiente de resistencia y n es el exponente de endurecimiento por deformación o endurecimiento por trabajo, cuando el material presenta un mayor valor de n mayor será la capacidad de endurecimiento por deformación del material, es decir, se volverá más resistente y más duro a medida que se deforme.

En la tabla O1.2 se presentan valores típicos de k y n para metales seleccionados.

Tabla O1.2. Valores típicos de K y n para los metales seleccionados.

Material	K (MPa)	n
Aluminio		
1100-O	180	0.20
2024-T4	690	0.16
5052-O	202	0.13
6061-O	205	0.20
6061-T6	410	0.05
7075-O	400	0.17
Latón		
70-30, recocido	900	0.49
85-15, laminado en frío	580	0.34
Aleación a base de cobalto, con tratamiento térmico	2070	0.50
Cobre, recocido	315	0.54
Acero		
Bajo-C, recocido	530	0.26
1020, recocido	745	0.20
4135, recocido	1015	0.17
4135, laminado en frío	1100	0.14
4340, recocido	640	0.15
304 inoxidable, recocido	1275	0.45
410 inoxidable, recocido	960	0.10
Titanio		
Ti-6Al-4V, recocido, 20 °C	1400	0.015
Ti-6Al-4V, recocido, 200 °C	1040	0.026
Ti-6Al-4V, recocido, 600 °C	650	0.064
Ti-6Al-4V, recocido, 800 °C	350	0.146

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	98/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			



	Dimensions, mm				
	Specimen 1	Specimen 2	Specimen 3	Specimen 4	Specimen 5
G—Gage length	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1	62.5 ± 0.1
D—Diameter (Note 1)	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2	12.5 ± 0.2
R—Radius of fillet, min	10	10	2	10	10
A—Length of reduced section	75, min	75, min	100, approximately	75, min	75, min
L—Overall length, approximate	145	155	140	140	255
B—Length of end section (Note 3)	35, approximately	25, approximately	20, approximately	15, approximately	75, min
C—Diameter of end section	20	20	20	22	20
E—Length of shoulder and fillet section, approximate	....	15	....	20	15
F—Diameter of shoulder	....	15	....	15	15

Fig. O1.11. *Diversos tipos de muestras para prueba de tracción de secciones redondas y extremos de sujeción.*

PO1.3 EQUIPO Y MATERIAL

Material:

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


Equipo:

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

PO1.4 DESARROLLO

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 O1.12).

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	99/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

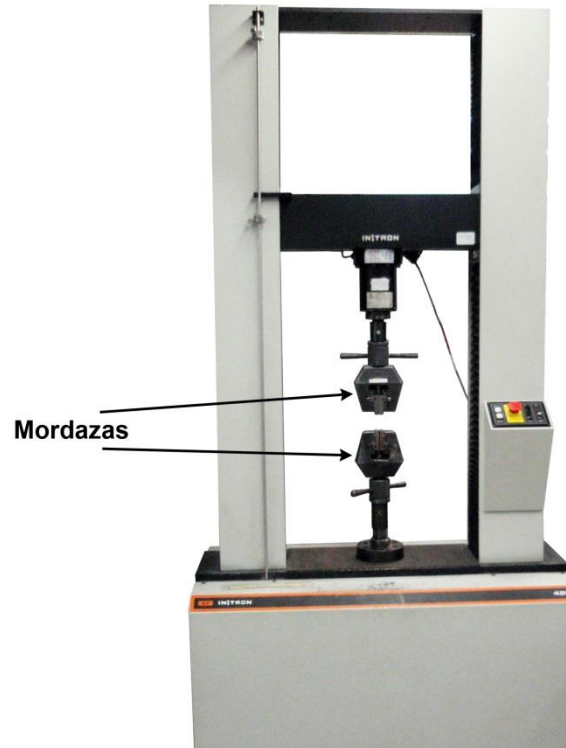


Figura O1.12. Máquina Instron para ensayos de tracción.

2. Con ayuda del vernier, tomar las medidas de la probeta (figura O1.13).

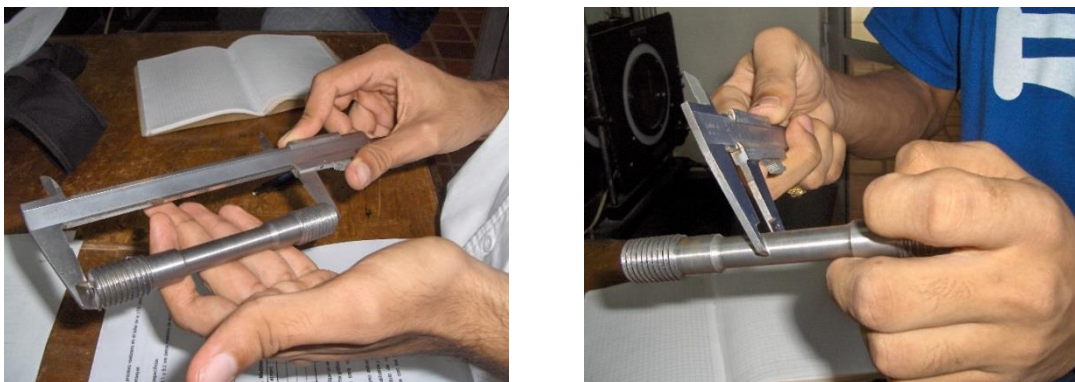



Figura O1.13. Medir probeta

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	100/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 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 O1.14).



a) *Probeta cilíndrica*



b) *Probeta plana*

Figura O1.14. Tipos de mordazas a) para probeta cilíndrica, b) para probeta plana.

- Obtener una gráfica de carga contra desplazamiento, proporcionada por el graficador de la máquina de tracción (figura O1.15).



Figura O1.15. Generación de gráfica.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	101/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

- 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.
- 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 O1.16).

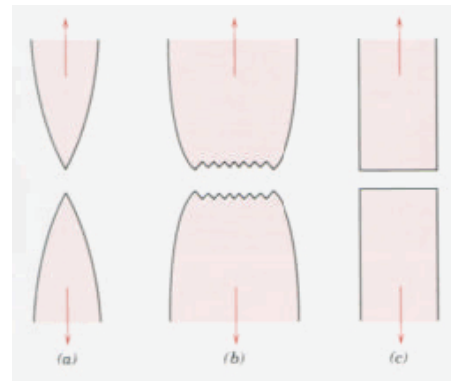


Figura O1.16. Tipos de fractura: a) dúctil, b) moderadamente dúctil, c) frágil sin deformación plástica.


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

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

No. de ensayo	Tipo de probeta	Longitud inicial (L_0)	Diámetro inicial (D_0)	Longitud final (L_f)	Diámetro final (D_f)	Tipo de fractura
1						
2						
3						
4						

Actividad 2 Transformar la curva proporcionada por el graficador de la máquina a un diagrama esfuerzo-deformación.

Actividad 3 Determinar los esfuerzos de fluencia, máximo, de ruptura, así como también el módulo de Young para cada probeta.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	102/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO1.5 ANÁLISIS DE 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. Determine la ductilidad y maleabilidad del material
3. Comparar los datos de esfuerzos obtenidos para cada material y analizar el significado de la diferencia entre los valores.
4. Comparar la ductilidad existente en las diferentes pruebas realizadas tanto para metales como polímeros.

PO1.6 CONCLUSIONES

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

PO1.7 CUESTIONARIO PREVIO

1. Dibujar las curvas características de un ensayo de tracción para un material dúctil y para un material frágil.
2. Definir e identificar 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. Explicar de qué manera influyen en un ensayo de tracción los siguientes parámetros:
 - a) Temperatura.
 - b) Velocidad de aplicación.
 - c) Forma de la probeta.


	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	103/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Tabla O1.3. Propiedades mecánicas a tracción de diversos materiales a temperatura ambiente

Material	Yield Strength		Tensile Strength		Ductility, %EL [in 50 mm (2 in.)] ^a
	MPa	ksi	MPa	ksi	
<i>Metal Alloys^b</i>					
Molybdenum	565	82	655	95	35
Titanium	450	65	520	75	25
Steel (1020)	180	26	380	55	25
Nickel	138	20	480	70	40
Iron	130	19	262	38	45
Brass (70 Cu–30 Zn)	75	11	300	44	68
Copper	69	10	200	29	45
Aluminum	35	5	90	13	40
<i>Ceramic Materials^c</i>					
Zirconia (ZrO ₂) ^d	—	—	800–1500	115–215	—
Silicon nitride (Si ₃ N ₄)	—	—	250–1000	35–145	—
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	—	—	275–700	40–100	—
Silicon carbide (SiC)	—	—	100–820	15–120	—
Glass–ceramic (Pyroceram)	—	—	247	36	—
Mullite (3Al ₂ O ₃ –2SiO ₂)	—	—	185	27	—
Spinel (MgAl ₂ O ₄)	—	—	110–245	16–36	—
Fused silica (SiO ₂)	—	—	110	16	—
Magnesium oxide (MgO) ^e	—	—	105	15	—
Soda–lime glass	—	—	69	10	—
<i>Polymers</i>					
Nylon 6,6	44.8–82.8	6.5–12	75.9–94.5	11.0–13.7	15–300
Polycarbonate (PC)	62.1	9.0	62.8–72.4	9.1–10.5	110–150
Poly(ethylene terephthalate) (PET)	59.3	8.6	48.3–72.4	7.0–10.5	30–300
Poly(methyl methacrylate) (PMMA)	53.8–73.1	7.8–10.6	48.3–72.4	7.0–10.5	2.0–5.5
Poly(vinyl chloride) (PVC)	40.7–44.8	5.9–6.5	40.7–51.7	5.9–7.5	40–80
Phenol–formaldehyde	—	—	34.5–62.1	5.0–9.0	1.5–2.0
Polystyrene (PS)	25.0–69.0	3.63–10.0	35.9–51.7	5.2–7.5	1.2–2.5
Polypropylene (PP)	31.0–37.2	4.5–5.4	31.0–41.4	4.5–6.0	100–600
Polyethylene—high density (HDPE)	26.2–33.1	3.8–4.8	22.1–31.0	3.2–4.5	10–1200
Polytetrafluoroethylene (PTFE)	13.8–15.2	2.0–2.2	20.7–34.5	3.0–5.0	200–400
Polyethylene—low density (LDPE)	9.0–14.5	1.3–2.1	8.3–31.4	1.2–4.55	100–650


^a For polymers, percent elongation at break.

^b Property values are for metal alloys in an annealed state.

^c The tensile strength of ceramic materials is taken as flexural strength (Section 7.10).

^d Partially stabilized with 3 mol% Y₂O₃.

^e Sintered and containing approximately 5% porosity.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	104/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO1.8 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.
- Serope Kalpakjian, Steven R. **Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología**, volumen 1y 2, 7ª edición, Ed. PEARSON, México, 2014.
- Mikell P. Groover, **Fundamentos de Manufactura Moderna**, 3ª Edición, McGraw-Hill Interamericana, México, 2007.



Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I

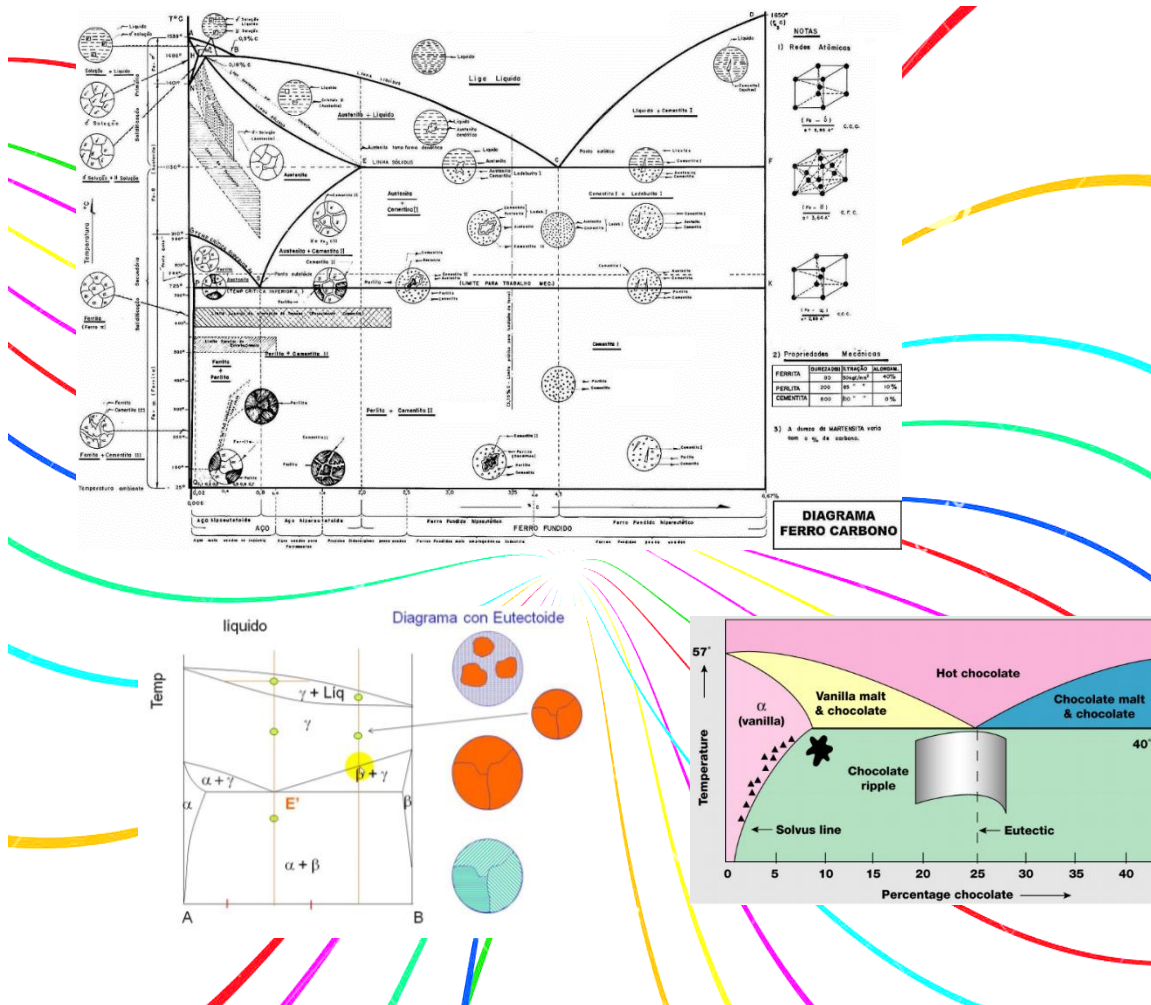
Código:	MADO-92
Versión:	01
Página	105/126
Sección ISO	8.3
Fecha de emisión	24 de enero de 2020


Facultad de Ingeniería

Área/Departamento:
Laboratorio de Ingeniería de Materiales

La impresión de este documento es una copia no controlada

Práctica Optativa 2 Diagramas de equilibrio



	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	106/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

1 Sesión

Contenido

PO2.0 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

PO2.1 OBJETIVOS

PO2.2 INTRODUCCIÓN

PO2.3 MATERIAL Y EQUIPO

PO2.4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA


PO2.5 RESULTADOS

PO2.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

PO2.7 CONCLUSIONES

PO2.8 CUESTIONARIO PREVIO

PO2.9 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	107/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO2.0 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

	Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1	Sustancias químicas Mechero	Intoxicación Quemaduras

PO2.1 OBJETIVOS

El alumno comprenderá el significado y uso de los diagramas de equilibrio binarios en Ingeniería, así como su elaboración

PO2.2 INTRODUCCIÓN


Los materiales en estado sólido pueden estar formados por varias fases. La combinación de estas fases define muchas de las propiedades que tendrá el material. Ante estas circunstancias es necesario contar con una herramienta teórica que permita describir las fases que están presentes en él, conocida como “Diagrama de fase”.

Las fases sólidas en un material tienen las siguientes características:

- a) Los átomos que forman la fase tienen la misma estructura o arreglo atómico.
- b) La fase tiene la misma composición química en todo su volumen.
- c) Presentan las mismas propiedades físicas.
- d) Poseen una interfase definida con su entorno.

Cabe mencionar que los materiales puros solamente poseen una fase, sin embargo, las aleaciones pueden poseer dos o más fases presentes al mismo tiempo. Una aleación se define como una solución en estado sólido, siendo esta última la mezcla de dos o más elementos químicos.

Un diagrama de fases es un mapa que describe las fases presentes en un material en función de variables termodinámicas. Al mezclar dos o más elementos para formar una aleación, se pueden presentar los siguientes casos:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	108/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

a) Existe solubilidad ilimitada produciendo una fase sólida. Por ejemplo, el cobre y níquel tienen solubilidad ilimitada, formando una sola fase en estado sólido.


b) Existe solubilidad limitada, lo cual significa que uno de los componentes puede disolverse hasta cierto límite en el otro. Como caso particular el cobre y el zinc tienen solubilidad limitada generándose varias fases en estado sólido.

Una aleación binaria está formada únicamente por la mezcla de dos componentes, donde la cantidad en que cada componente está presente en la mezcla se cuantifica por medio del porcentaje en peso de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\text{porcentaje en peso de } A = \frac{\text{masa de } A}{\text{masa de } A + \text{masa de } B} \times 100$$

$$\text{porcentaje en peso de } B = \frac{\text{masa de } B}{\text{masa de } A + \text{masa de } B} \times 100$$

Un diagrama de fase es un gráfico en cuyo eje vertical se mide la temperatura y en el eje horizontal se mide el porcentaje en peso de los componentes que forman la aleación Figura O2.1.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	109/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

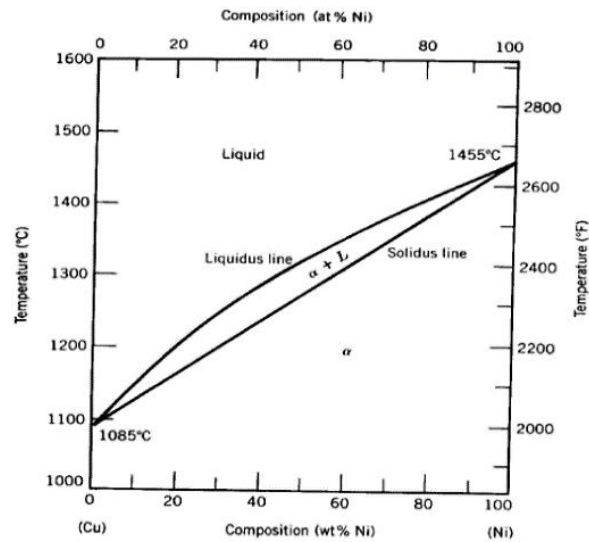
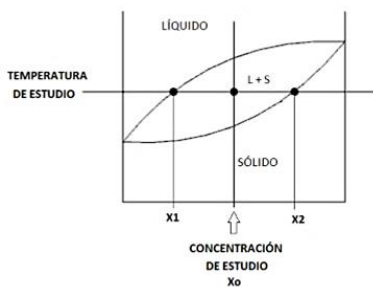


Figura O2.1. Diagrama de equilibrio de una aleación Cu-Ni.


Un diagrama de fases permite obtener información como: 1. Las fases presentes en la aleación en función de la temperatura y la composición química. 2. La composición química de las fases presentes. Teniendo dos casos: a) Si la aleación posee una fase, la composición de la fase es igual a la composición de la aleación. b) Si la aleación tiene dos fases, la composición de cada una de ellas se encuentra en la zona de mezcla. 3. La cantidad de cada fase en fracción o porcentaje, con respecto a la masa total de la aleación. Para ello es necesario la utilización de la regla de la palanca (Figura O2.2).



$$\text{porcentaje de líquido} = \frac{(X_2 - X_0)}{(X_2 - X_1)} \cdot 100$$

$$\text{porcentaje de sólido} = \frac{(X_0 - X_1)}{(X_2 - X_1)} \cdot 100$$

Figura O2.2. Aplicación de la regla de la palanca para un diagrama de equilibrio binario.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	110/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Durante la solidificación de las aleaciones ocurre la segregación, en donde la composición química del sólido que se forma primero es diferente a la del sólido que se forma al final, teniendo que la composición química de la parte sólida no es uniforme, en las aleaciones este fenómeno propicia que las propiedades mecánicas de la pieza tampoco sean uniformes.


PO2.3 MATERIAL Y EQUIPO

Material:

- 1) 6 Tubos de ensaye.
- 2) 3 Pinzas para tubo de ensaye.
- 3) 3 Soportes Universales.
- 4) 3 Termómetros.
- 5) 3 Lámparas de Alcohol.
- 6) Cronómetro.


Reactivos:

- 1) Sobres de Naftalina (α) y β -Naftol con las siguientes concentraciones:
 - a) 100% α 0% β
 - b) 80% α 20% β
 - c) 60% α 40% β
 - d) 40% α 60% β
 - e) 20% α 80% β
 - f) 0% α 100% β

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	111/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO2.4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

1. Graficar curvas de enfriamiento de forma experimental, estas representan la variación de la temperatura en un sistema en función del tiempo (10 o 15 segundos), considerando las mismas condiciones de extracción de calor para cada una de las concentraciones especificadas en el apartado de material y equipo.
2. Integrar tres brigadas con el total de alumnos del grupo.
3. Cada brigada debe registrar los datos obtenidos de dos concentraciones del total de las propuestas.
4. Colocar el tubo de ensaye en el soporte universal y sujetar.
5. Colocar dentro de cada tubo de ensaye el contenido de un sobre (Naftalina (α) y β -Naftol).
6. Colocar dentro del tubo de ensaye un termómetro que no toque las paredes del tubo.
7. Colocar por debajo del tubo de ensaye la lámpara de alcohol y prender la mecha.
8. Calentar hasta llegar a los 160°C y una vez alcanzada dicha temperatura, retirar la lámpara de alcohol.
9. A partir de los 160°C, hacer mediciones cada 10 o 15 segundos registrando la temperatura hasta llegar a los 50°C (Tabla 1).
10. Con los datos registrados realizar las curvas de enfriamiento.
11. Identificar los puntos de cambio de fase y registrarlos para posteriormente generar el diagrama de fases binario.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	112/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


PO2.5 RESULTADOS

1. Completar las siguientes tablas con los datos obtenidos durante el experimento:

Tabla 1. Registro de Temperaturas de cada concentración.

Tiempo (t) seg.	Temperatura (°C)					
	100% α	80% α 20% β	60% α 40% β	40% α 60% β	20% α 80% β	100% β
0	160	160	160	160	160	160
10						
20						
30						
40						
.						
.						
.						
.						
.						
.						
.						
.						
.	50	50	50	50	50	50

2. Graficar los resultados de la Tabla 1 para cada una de las concentraciones, teniendo un total de 6 gráficas (Temperatura vs Tiempo).
3. Con las 6 curvas de enfriamiento obtenidas, realizar el diagrama de equilibrio correspondiente, graficando Temperatura vs % de Concentración.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	113/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO2.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS


1. Con base en las gráficas generadas, identificar las zonas que se presentan durante el proceso de solidificación (liquidus, zona de mezcla y solidus).
2. Discutir la importancia de generar diagramas de equilibrio, así como la utilidad para identificar las diferentes fases existentes en una mezcla, correlacionando con la regla de la palanca.

PO2.7 CONCLUSIONES

A partir de los resultados y análisis de resultados, concluir con justificaciones técnicas lo sucedido a los materiales.


PO2.8 CUESTIONARIO PREVIO

1. ¿Qué es un Diagrama de Equilibrio?
2. ¿A qué se le denomina línea de Liquidus y Solidus?
3. ¿Qué variables intervienen en su construcción?
4. ¿Qué se entiende por "Fase"?
5. ¿En qué consiste la Regla de Fases de Gibbs?
6. Describa en qué consiste la Regla de la Palanca.
7. Defina que es el límite de solubilidad.
8. Defina punto invariante.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	114/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO2.9 BIBLIOGRAFÍA


1. Callister, William D., Introducción a la Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 2da ed., México, Limusa Wiley, 2009.
2. Smith, William F. y Hashemi Javad, Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales. Cuarta Edición, México, Mc Graw Hill – Interamericana, 2006.
3. Schaffer, Saxena y Antolovich Sanders Warner, Ciencia y Diseño de Materiales para Ingeniería, México, CECSA, 2006.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	115/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Práctica Optativa 3

Difusión de sólidos



	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	116/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Duración de la Práctica:

2 Sesiones

Contenido

PO3.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

PO3.2 OBJETIVOS

PO3.3 INTRODUCCIÓN

PO3.4 MATERIAL Y EQUIPO

PO3.5 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA


PO3.6 RESULTADOS

PO3.7 ANÁLISIS DE RESULTADOS

PO3.8 CONCLUSIONES

PO3.9 CUESTIONARIO PREVIO

PO3.10 BIBLIOGRAFÍA

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	117/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO 3.1 SEGURIDAD EN LA EJECUCIÓN

		Peligro o Fuente de energía	Riesgo asociado
1		Reactivos químicos	Reacciones alérgicas
2		Horno	Quemaduras graves

PO3.2 OBJETIVOS


El alumno identificará, a través de las experiencias propuestas, el fenómeno de difusión, algunos de sus efectos y aplicaciones en el procesamiento de los materiales metálicos.

PO3.3 INTRODUCCIÓN

Difusión de Sólidos

Existe un buen número de procesos industriales importantes, que están basados en este fenómeno. Por ejemplo:

1. Los tratamientos térmicos que se aplican comúnmente a metales y aleaciones en la industria, están basados en las transformaciones que suceden en el estado sólido, muchas de las cuales incluyen fenómenos de difusión.
2. Los tratamientos termoquímicos que se basan en la posibilidad de revestir aceros y otras aleaciones industriales con capas de alta resistencia al desgaste, a través de la penetración por la superficie del sólido, de átomos deseados, para lo cual se utilizan temperaturas apropiadas, en una atmósfera rica de los átomos deseados.
3. Durante la realización del proceso de sinterizado y en la soldadura.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	118/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Mecanismos de difusión

Existen dos mecanismos principales de difusión en los átomos en una estructura cristalina: de vacantes o sustitucional e intersticial.

☐ Mecanismo de difusión por vacantes o sustitucional. Los átomos pueden moverse en las redes cristalinas desde una posición a otra si hay presente suficiente energía de activación, proporcionada ésta por la vibración térmica de los átomos, y si hay vacantes u otros defectos cristalinos en la estructura para que ellos los ocupen (Figura PO3.1). Las vacantes en los metales son defectos en equilibrio, y por ello algunos están siempre presentes para facilitar que tenga lugar la difusión sustitucional de los átomos. Según va aumentando la temperatura del metal se producirán más vacantes y habrá más energía térmica disponible, por tanto, el grado de difusión es mayor a temperaturas más altas. La energía de activación para la difusión propia es igual a la suma de la energía de activación necesaria para formar la vacante y la energía de activación necesaria para moverla. A mayor temperatura mayor número de vacantes y de energía térmica, por lo tanto, mayor difusión.

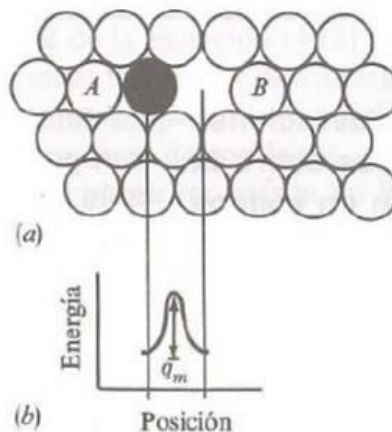



Figura O3.1. Mecanismo de difusión por vacantes.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	119/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Mecanismo de difusión intersticial.

La difusión intersticial de los átomos (Figura PO3.2) en redes cristalinas tiene lugar cuando los átomos se trasladan de un intersticio a otro contiguo al primero, sin desplazar permanentemente a ninguno de los átomos de la matriz de la red cristalina. Para que el mecanismo intersticial sea efectivo, el tamaño de los átomos que se difunde debe ser relativamente pequeño comparado con el de los átomos de la matriz. Los átomos pequeños como los de hidrógeno, carbono, oxígeno y nitrógeno, pueden difundirse intersticialmente en algunas redes cristalinas metálicas. Por ejemplo, el carbono puede difundirse intersticialmente en hierro alfa BCC y hierro gamma FCC, en la difusión intersticial de carbono en hierro, los átomos de carbono deben pasar entre los átomos de la matriz de hierro.

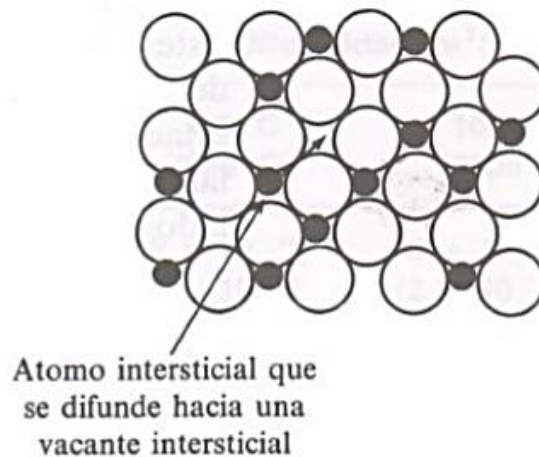


Figura O3.2. Mecanismo de difusión intersticial.

Difusión en estado estacionario.

La difusión del soluto en la Figura 3 en la dirección del eje X entre dos planos de átomos perpendiculares al plano de la hoja, separados a una distancia X. Supongamos que, tras un periodo de tiempo, la concentración de los átomos en el plano 1 es C1 y en el plano 2 es C2. Esto significa

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	120/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería	Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales		
La impresión de este documento es una copia no controlada			

que no se produce cambios en la concentración de los átomos de soluto en esos planos, para el sistema con el tiempo; tales condiciones de difusión se conocen como condiciones en estado estacionario.

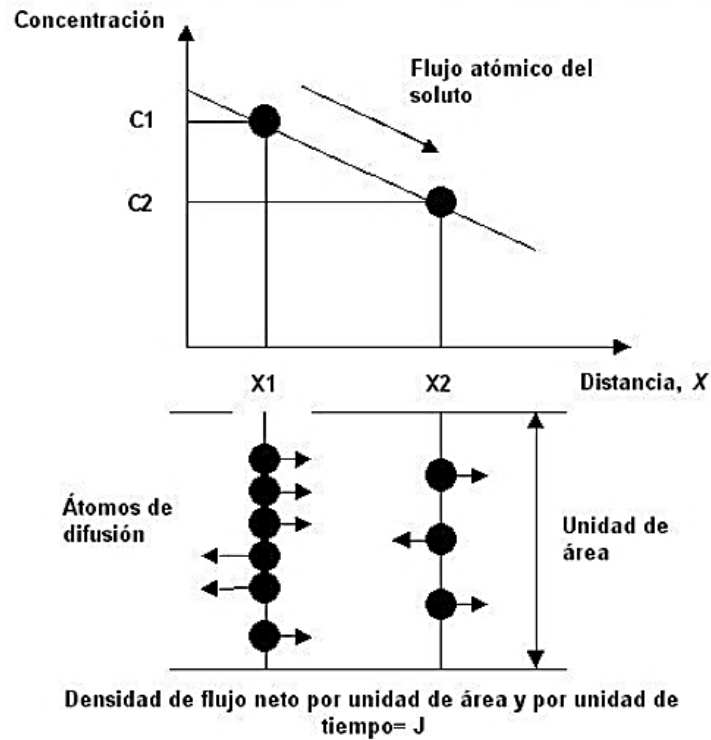



Figura O3.3. Difusión en estado estacionario.

Este tipo de difusión tiene lugar cuando un gas no reactivo difunde a través de una lámina metálica. Si en el sistema mostrado en la figura no existe interacción química entre los átomos de soluto y solvente, debido a que existe una diferencia de concentración entre los planos 1 y 2, se producirá un flujo neto de átomos de la parte de más alta concentración a la de más baja concentración. La densidad de flujo o corriente se representa mediante la expresión:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	121/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

$$J = -D \frac{dC}{dX}$$

donde:

J= Flujo neto de los átomos

D= Coeficiente de difusión

$$\frac{dC}{dX} = \text{gradiente de concentración}$$

Se emplea un signo negativo debido a que la difusión tiene lugar de una concentración mayor a una menor, es decir, existe un gradiente de difusión negativo. Esta ecuación es llamada primera Ley de Fick y afirma que, para condiciones de flujo en estado estacionario, la densidad de flujo neto de átomos es igual a la difusividad D por el gradiente de concentración dC/dX . Las unidades son las siguientes en el sistema internacional:

$$J \left(\frac{\text{Átomos}}{\text{m}^2 \cdot \text{s}} \right) = D \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) \frac{dC}{dX} \left(\frac{\text{Átomos}}{\text{m}^3} \cdot \frac{1}{\text{m}} \right)$$

Ley de Fick

Para que tenga lugar el fenómeno de la difusión, la distribución espacial de moléculas no debe ser homogénea, debe existir una diferencia, o gradiente de concentración entre dos puntos del medio.

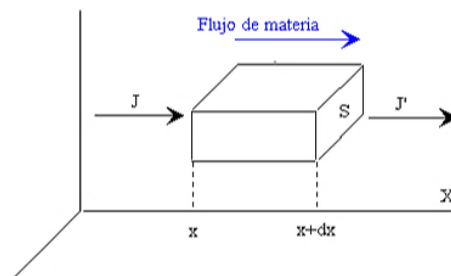



Figura O3.4. Ley de Fick.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	122/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Supongamos que su concentración varía con la posición a lo largo del eje X. Llamemos J a la densidad de corriente de partículas, es decir, al número efectivo de partículas que atraviesan en la unidad de tiempo un área unitaria perpendicular a la dirección en la que tiene lugar la difusión. La ley de Fick afirma que la densidad de corriente de partículas es proporcional al gradiente de concentración

$$J = -D \frac{\partial n}{\partial x}$$

La constante de proporcionalidad se denomina coeficiente de difusión D y es característico tanto del soluto como del medio en el que se disuelve.

La acumulación de partículas en la unidad de tiempo que se produce en el elemento de volumen S·dx es igual a la diferencia entre el flujo entrante JS, menos el flujo saliente J'S, es decir (Figura O3.4):

$$JS - J'S = \frac{\partial J}{\partial x} S dx$$

La acumulación de partículas en la unidad de tiempo es:


$$(S dx) \frac{\partial n}{\partial t}$$

Igualando ambas expresiones y utilizando la Ley de Fick se obtiene:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D \frac{\partial n}{\partial x} \right) = \frac{\partial n}{\partial t}$$

Ecuación diferencial en derivadas parciales que describe el fenómeno de la difusión. Si el coeficiente de difusión D no depende de la concentración.

$$\frac{1}{D} \frac{\partial n}{\partial t} = \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}$$

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	123/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Efecto de la temperatura sobre la difusión en sólidos.

El coeficiente de la difusión es una función notable de la temperatura, por experimentación se ha encontrado que la dependencia de la temperatura de la velocidad de la difusión de muchos sistemas puede ser expresada por el siguiente tipo de ecuación de Arrhenius:

$$D = D_0 \exp\left(-\frac{Q}{RT}\right)$$

Donde, D_0 es una constante y Q es una constante llamada energía de activación de las especies en difusión en J/mol ó cal/mol.


R , es la constante molar de los gases que equivale a 8.314 J/molK ó 1.987 cal/molK.

La dependencia de la temperatura es muy fuerte; los metales de elevado punto de fusión tienen los mayores valores de D a temperatura ambiente, y los metales de bajo punto de fusión tienen los más bajos valores de D .

PO3.3 MATERIAL Y EQUIPO

Material:

- 1) Muestras de acero bajo carbono, 1020, 8620, etc.
- 2) Lijas: 180, 220, 360, 400, 500 u 600.
- 3) Carbón vegetal.
- 4) Carbón mineral.
- 5) Carbonato de bario.
- 6) Carbonato de sodio.
- 7) Carbonato de calcio.
- 8) Cemento refractario.
- 9) Tenazas.
- 10) Guantes de asbesto.

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	124/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			


Equipo:

- 1) Horno y accesorios para maniobrar muestras.
- 2) Caja de acero inoxidable con tapa.
- 3) Cortadora.
- 4) Montadora.
- 5) Pulidoras.
- 6) Microdurómetro (Vickers).
- 7) Durómetro.

PO3.4 DESARROLLO DE LA PRÁCTICA

Carburización de aceros al carbono.

1. Seleccionar una serie de muestras de algún acero para cementación en forma de barra.
2. Cementarlas en una caja de hierro que contenga:
 - Carbón vegetal - 53 a 55%
 - Carbón mineral - 30 a 32%
 - Carbonato de bario - 2 a 3%
 - Carbonato de sodio - 10 a 12%
 - Carbonato de calcio - 3 a 4%
3. Una vez hecha la mezcla se coloca una capa de esta de 2 cm de alto y encima se acomodan las piezas y el resto del relleno. La caja se tapa y en las uniones se sellan con cemento refractario.
4. Posteriormente someter las muestras a los siguientes tratamientos térmicos:

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	125/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Muestra	Temperatura	Tiempo (hr)	Enfriamiento
A	900°	5	En caja
B	900°	20	En caja
C	900°	80	En caja


5. Se sacan las cajas del horno y se dejan enfriar al aire libre.

PO3.5 RESULTADOS

1. Para el galvanizado, reportar el espesor de la capa de revestimiento conseguida y su dureza, compárala con la dureza del sustrato.
2. Para el carburizado, reportar el espesor del revestimiento de carburizado en función del tiempo de permanencia en el horno, así como su dureza. Compárala con la dureza del sustrato.
3. Dibujar el perfil de durezas de la capa cementada en función a las distancias del borde.
Mediante gráficas representar el perfil de durezas del carburizado.

PO3.6 ANÁLISIS DE RESULTADOS

1. Comparar los efectos del espesor del carburizado según el tiempo.
2. Analizar las microestructuras obtenidas y mencionar qué fases se presentan.
3. ¿Qué efecto tiene el tiempo con respecto al carburizado?
4. ¿Cómo se comporta la dureza con respecto al centro de la pieza?

	Manual de prácticas del Laboratorio de Materiales I	Código:	MADO-92
		Versión:	01
		Página	126/126
		Sección ISO	8.3
		Fecha de emisión	24 de enero de 2020
Facultad de Ingeniería		Área/Departamento: Laboratorio de Ingeniería de Materiales	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

PO3.7 CONCLUSIONES

Realizar conclusiones a partir del análisis de resultados hecho y la teoría dada en el curso.

PO3.8 CUESTIONARIO PREVIO

1. Explicar el concepto de difusión.
2. ¿De qué variables depende la difusión?
3. ¿Qué es el ordenamiento atómico y su relación con la difusión?
4. Explicar qué es la concentración de las especies que se difunden.
5. Explicar la primera y segunda ley de Fick.

PO3.9 BIBLIOGRAFÍA

- American Society for Metals, Metals Handbook, Vol. 8, Materials Characterization, 9th ed., American Society for metals, E.U.A., 1985.
- Dieter, George, E. Mechanical Metallurgy, SI Metric Edition, McGraw-Hill, UK, 1988.
- Verhoeven, John, D., Fundamentos de Metalurgia Física, Limusa, 1987.
- Guy, A. G. y Hren, J.J., Elementos de Metalurgia Física, Addison Wesley, 1974.
- Smith, William F. Fundamentos de la Ciencia e Ingeniería de Materiales, Mc Graw Hill, 1993.