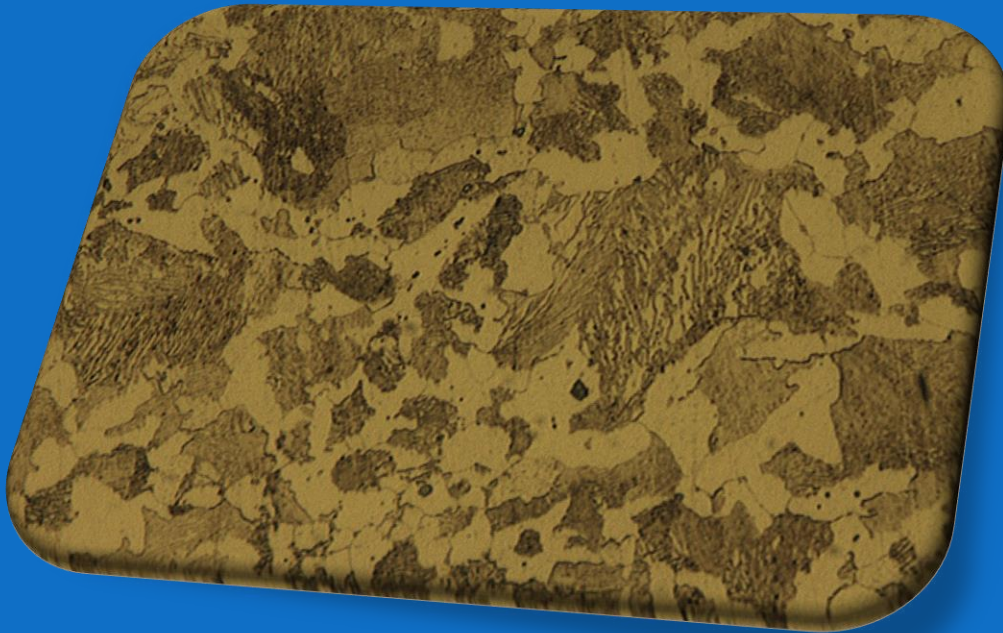


Universidad Nacional Autónoma de
México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán



Laboratorio de Tecnología de
Materiales

Manual de prácticas

Ing. Enrique Cortés González
M. en I. Felipe Díaz Del Castillo Rodríguez
M. en I. Diego Sánchez García

I
M
E

2024-1

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	- 2 -
REGLAMENTO DEL LABORATORIO.....	- 3 -
Práctica 1: PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL.....	- 5 -
Práctica 2: PRUEBA DE IMPACTO.....	- 12 -
Práctica 3: EL MICROSCOPIO METALOGRAFICO.....	- 21 -
Práctica 4: PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALOGRAFICAS.	- 26 -
Práctica 5: TAMAÑO DE GRANO.....	- 33 -
Práctica 6: PRUEBA DE TORSIÓN.....	- 39 -
Practica 7: PRUEBA DE FLEXIÓN.....	- 46 -
Práctica 8: RECONOCIMIENTO DE LOS CONSTITUYENTES DEL ACERO AL CARBONO.....	- 55 -
Práctica 9: RECONOCIMIENTO DE LOS MICROCONSTITUYENTES DE LAS FUNDICIONES DE HIERRO.....	- 58 -
BIBLIOGRAFÍA	- 64 -

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios que se imparten dentro de la carrera de Ingeniero Mecánico Electricista son parte fundamental de la formación del estudiante, ya que le permite comprobar en forma práctica muchos de los conocimientos adquiridos en el salón de clase, de esta manera, presentamos el manual de prácticas correspondiente al Laboratorio de Tecnología de Materiales, esperando que permita al alumno un mejor desarrollo de las mismas y que su estancia sea lo más fructífera posible.

Instrucciones para la elaboración del reporte

Los reportes deberán tener la siguiente portada

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán

Laboratorio de Tecnología de Materiales

Grupo:

Profesor:

Alumno:

Número y nombre de la práctica

Fecha de realización

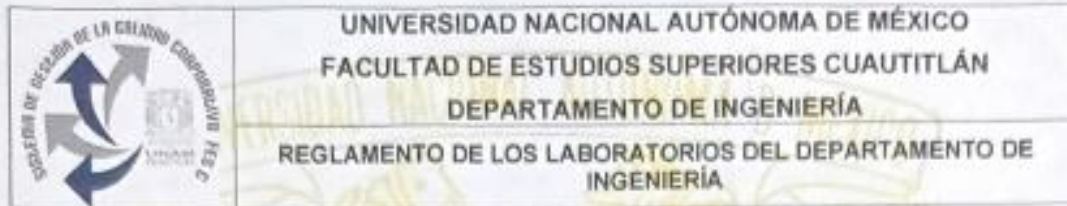
Fecha de entrega

Semestre 24-1

Contenido del reporte

- Objetivo
- Introducción
- Equipo y material
- Desarrollo (procedimiento experimental)
- Cuestionario
- Conclusión
- Bibliografía

REGlamento DEL LABORATORIO



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA REGlamento DE LOS LABORATORIOS DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

El presente Reglamento tiene por objeto establecer los lineamientos, requisitos y condiciones que deberán aplicar, profesores, alumnos y trabajadores de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FESC), en el Departamento de Ingeniería, para la inscripción, la realización de las prácticas, la evaluación y la disciplina de los laboratorios. Este documento no excluye otra reglamentación que resulte aplicable.

DE LA INSCRIPCIÓN

1. Las inscripciones a los laboratorios se harán durante el periodo oficial que fijará la Unidad de Administración Escolar y bajo ninguna circunstancia se inscribirán alumnos fuera del periodo establecido.
2. El número máximo de alumnos por laboratorio será de 8 (ocho), con excepción de la Sección Eléctrica que será de 7 (siete).

DE LAS PRÁCTICAS

3. Es responsabilidad del profesor dar a conocer el cronograma de actividades del laboratorio, el reglamento de los laboratorios del departamento de Ingeniería y el reglamento interno de cada sección en la primera sesión.
4. El alumno solo tendrá derecho a realizar las prácticas si está inscrito en el grupo de laboratorio correspondiente.
5. Se desarrollarán las prácticas de laboratorio en 12 sesiones durante el semestre en base al cronograma de actividades (dependerá de las prácticas existentes para cada laboratorio).
6. Los alumnos y profesores tienen una tolerancia de 10 minutos para llegar a su práctica de laboratorio, en el horario establecido.
 - a. Si el alumno incumple en este punto, tendrá falta en la sesión correspondiente.
 - b. Si el profesor incumple en este punto, el alumno tiene el derecho y la obligación de reportarlo al Jefe de Sección correspondiente.
7. La realización de las prácticas de laboratorio y/o manipulación de los equipos deberá estar siempre supervisado por el profesor correspondiente.
8. Las sesiones de prácticas deberán iniciar y concluir dentro de su horario establecido del laboratorio.
9. Las prácticas se realizarán en el lugar y horario asignados. Por ningún motivo o razón injustificada podrán cambiarse salvo previa autorización del Jefe de Sección.
10. Los manuales de prácticas de laboratorio deberán contener los siguientes elementos: portada, índice, objetivo general de la asignatura, objetivo del curso experimental, introducción, criterios de evaluación del curso experimental, prácticas, anexos o apéndices (donde aplica) y bibliografía.
11. El contenido de cada práctica deberá incluir: nombre y número de la práctica, tema correspondiente, objetivos, introducción, actividades previas, material y/o equipo, desarrollo experimental, cuestionario, conclusiones y bibliografía.
12. Los reportes para ser evaluados deberán tener portada y basarse en el contenido de los manuales de prácticas de laboratorio y serán entregados en la siguiente sesión.

DE LA EVALUACION

- 13. El alumno que no asista a la sesión de la práctica correspondiente, no tiene derecho a ser evaluado en esa práctica y será considerada como falta.
- 14. El alumno que no traiga el material requerido para la práctica (cuando sea el caso), no podrá realizarla, ni se le permitirá que se incorpore con algún otro equipo de trabajo.
- 15. El alumno deberá cumplir con el 90% de asistencia como mínimo durante el semestre, para poder ser considerado en la evaluación aprobatoria.
- 16. La evaluación del curso es responsabilidad de cada profesor tomando en cuenta como base los puntos anteriores, el reglamento interno de la sección y los criterios de evaluación acordados.
- 17. La calificación final del curso del laboratorio tendrá una vigencia y validez solamente para el semestre en curso y será:
 - a. A (Aprobado); calificación entre 6.0 y 10.0
 - b. NA (No Aprobado); menor de 6
 - c. NP (No Presentó); no asistió a laboratorio.

DE LA DISCIPLINA

- 18. No se permitirá la realización o iniciación de alguna práctica sin la presencia del profesor respectivo.
- 19. El profesor deberá usar la ropa de trabajo que para tal fin le proporciona la institución.
- 20. El equipo o material detectado en malas condiciones o dañado, deberá ser notificado inmediatamente por el alumno al profesor del laboratorio en turno y éste a su vez reportará al Encargado de Área (si lo hubiere) y/o al Jefe de Sección.
- 21. Dentro del laboratorio se deberán respetar las normas de seguridad e higiene indicadas en cada área.
- 22. Para cualquier persona, los siguientes eventos podrán originar que se tome el caso a la Unidad Jurídica:
 - a. Substraer o mover equipo y/o material de los cubículos, laboratorios e instalaciones sin la autorización por escrito del Jefe de Sección.
 - b. Dañar intencionalmente mobiliario, equipo e instalaciones y/o hacer uso indebido de las mismas.
 - c. Dar mantenimiento mayor al equipo sin la autorización del Jefe de Sección.
 - d. Atentar contra la seguridad e integridad de otra persona dentro del laboratorio.

GENERALES

- 23. El Departamento de Ingeniería no se hace responsable por las faltas en que puedan incurrir alumnos, profesores y trabajadores dentro de los laboratorios, por omisión y desconocimiento de dicho reglamento.
- 24. El presente reglamento deberá permanecer visible en todas y cada una de las aulas donde se impartan prácticas de laboratorio.
- 25. Los casos no previstos en el presente reglamento serán resueltos por el jefe de la Sección y/o el jefe del Departamento.

DEPARTAMENTO DE INGENIERIA

"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
Cuautitlán Izcalli, Estado de Méx. a 20 de junio de 2022

Jefe de Sección
 Jefe de Sección Industrial
 Jefe de Sección Mecánica
 Jefe de Sección Electrónica

Jefe de Sección
 S. ELECTRONICA

Práctica 1: PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL

OBJETIVOS

1. *Conocer la importancia de la medición de la dureza como prueba mecánica.*
2. *Conocer las ventajas y limitaciones de la prueba de dureza Rockwell.*

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de ingeniería, la dureza se puede definir como:

- *Resistencia a la penetración*
- *Resistencia a la deformación plástica localizada*
- *Resistencia al rayado*

La dureza es función de otras propiedades mecánicas del material sobre todo de su límite elástico y en menor grado de su tendencia al endurecimiento por trabajo y del módulo de elasticidad. Si se tiene un material de composición dada y se conoce su historial, se puede relacionar su límite elástico (para fines prácticos, la resistencia a la fluencia), con la resistencia a la tensión, su ductilidad y su tenacidad, por tanto las pruebas de dureza pueden proporcionar datos de los que se pueden derivar muchas propiedades mecánicas importantes y, puesto que las pruebas de dureza se pueden llevar a cabo fácil y rápidamente, se usan en forma amplia para controlar procesos, así como en control de calidad para materiales y componentes.

Las pruebas de dureza comunes se basan en la aplicación lenta de una carga constante a un penetrador o penetrador que se abre paso sobre la superficie lisa de la muestra. Una vez que se quita la carga, se mide el área o bien la profundidad de la penetración, lo cual indica la resistencia a la carga.

Una de las pruebas más usadas en la industria es la prueba de dureza Rockwell, habiendo muchas razones por las cuales esta prueba es tan popular, siendo algunas de ellas las siguientes:

- a) *Es sencilla de realizar*
- b) *La dureza se lee directamente en un dial o carátula*

- c) *No requiere demasiado entrenamiento para poder realizar la prueba*
- d) *Deja una huella muy pequeña en la pieza*
- e) *Se puede medir la dureza de una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta los muy duros, como pueden ser los aceros templados y los carburos sinterizados.*

Se emplean dos tipos de penetradores en la prueba de dureza Rockwell: el penetrador cónico de diamante (Brale) y el penetrador de esfera o bola (con diámetros de 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 de pulgada) que se ilustran en las figuras 1 y 2.

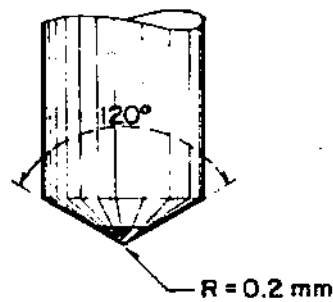


Figura 1. Penetrador cónico de diamante (Brale)

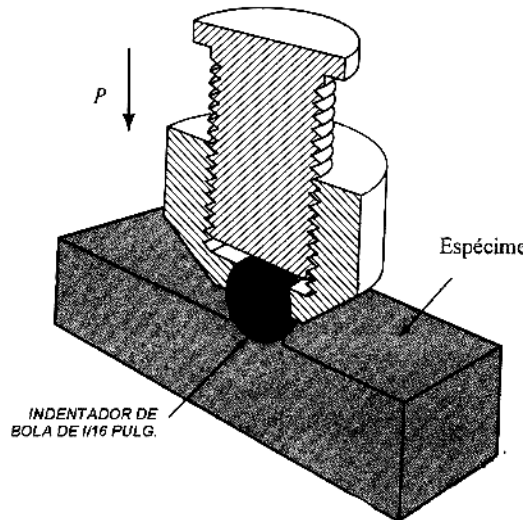


Figura 2. Penetrador de bola de 1/16 de plg

La prueba de dureza Rockwell utiliza dos cargas: Una carga inicial o precarga para asentar el penetrador en el material y una carga mayor o principal. La dureza real depende entonces de la profundidad diferencial entre la precarga y la carga principal.

Tipos de pruebas Rockwell

Hay dos tipos de dureza Rockwell: normal y superficial.

Cada una puede requerir el empleo de un durómetro distinto.

- a) Prueba de dureza Rockwell normal. Utiliza una carga menor de 10 kg y cargas principales de 60, 100 o 150 kg.*
- b) Prueba de dureza Rockwell superficial. - Utiliza una carga inicial de 3 kg y cargas principales de 15, 30 o 45 kg.*

Precauciones previas a la prueba

- a) Comprobar que el penetrador elegido no esté dañado ni desgastado*
- b) La superficie por probar debe ser plana y lisa*
- c) El yunque empleado debe estar limpio y sin daños*
- d) Si la pieza es redonda, rectificar una superficie plana para la prueba (si no es posible, utilice los factores de corrección que se muestran en la tabla 1)*
- e) No realizar la prueba demasiado en la orilla de la pieza, o demasiado cerca de una medición previa.*
- f) La pieza debe tener un espesor adecuado para que no sea atravesada por el penetrador.*

Tabla 1. Factores de corrección para piezas cilíndricas

ESCALA C D A	PENETRADOR DE DIAMANTE DIAMETRO DE LA PIEZA CILINDRICA						
	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"
80	1.0	1.0	1.0	0.5	0.0	0.0	0.0
70	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.0	0.0
60	1.0	1.0	1.0	1.0	0.5	0.5	0.5
50	3.0	2.0	1.0	1.5	1.0	0.5	0.5
40	4.0	3.0	2.0	2.0	1.0	1.0	1.0
30	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	1.5	1.5
20	6.5	5.0	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0

ESCALA B F G	INDENTADOR DE BOLA DE 1/16 PULG. DIAMETRO DE LA PIEZA CILINDRICA						
	1/4"	3/8"	1/2"	5/8"	3/4"	7/8"	1"
100	4.0	3.0	2.0	2.0	1.5	1.5	1.0
90	4.5	3.5	2.5	2.0	2.0	2.0	1.5
80	5.5	4.0	3.0	2.5	2.0	2.0	2.0
70	6.5	4.5	3.5	3.0	2.5	2.5	2.0
60	7.5	5.5	4.0	3.5	3.0	2.5	2.5
50	8.5	6.0	4.5	4.0	3.5	3.0	2.5
40	9.5	6.5	5.0	4.5	3.5	3.0	3.0
30	10.5	7.0	5.5	5.0	4.0	3.5	3.0
20	11.5	8.0	6.0	5.0	4.5	4.0	3.5
10	12.5	8.5	6.5	5.5	4.5	4.0	3.5
0	13.0	9.0	7.0	6.0	5.0	4.0	3.5

MATERIAL Y EQUIPO

- *Durómetro Rockwell*
- *Muestras de diferentes metales y aleaciones*



Figura 3. Durómetros Rockwell para la realización de la práctica.

INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL DURÓMETRO

- Colocar el yunque sobre el tornillo acoplado al volante.
- Escoger la carga y penetrador. De acuerdo a la escala elegida en función del tipo del material a probar.
- Colocar la pieza a probar en el yunque.
- Girar el manubrio para que el yunque suba hasta que el penetrador toque la pieza de prueba.
- Después, seguir girando el manubrio hasta que la aguja grande dé tres vueltas y se detenga en la posición de 0 negro (la aguja pequeña debe estar alineada con la línea negra). El error que puede tener la aguja grande es ± 5 grados con respecto a la posición del 0 negro.
- Presionar la palanca de operación, que está en la parte baja del durómetro. La carga principal comenzará a aplicarse sobre la pieza.



Figura 4. Carátula del durómetro Rockwell

- Anotar la lectura registrada por la aguja grande en la escala adecuada (En la graduación negra si se está usando el penetrador de diamante y en la graduación roja si se está usando un penetrador de bola).
- Retirar la muestra, haciendo descender el yunque, lo cual se logra haciendo girar el volante en sentido antihorario.
- Finalmente, coloque la muestra en posición para la prueba siguiente y repita el proceso.



Figura 5. Aplicación de la prueba.

CUESTIONARIO

1. *¿Qué importancia tiene en la Ingeniería la medida de la dureza de un material?*
2. *¿Qué materiales se miden con las escalas D, E, F, G, H y K?*
3. *¿Por qué es necesario utilizar un factor de corrección cuando se toman medidas de dureza Rockwell en barras cilíndricas con un diámetro menor a 1 plg?*
4. *El factor de corrección de la pregunta anterior se suma o se resta de las lecturas obtenidas.*
5. *¿Por qué no se deben tomar mediciones demasiado cercanas entre sí?*
6. *¿Por qué no se deben tomar lecturas demasiado cercanas a la orilla de la muestra?*
7. *¿En qué consiste la prueba de dureza Vickers?*
8. *Explicar cómo se realiza el ensayo de dureza Brinell.*
9. *¿En qué consiste la prueba de dureza Shore?*
10. *¿En qué consiste la escala de dureza Mohs?*

Práctica 2: PRUEBA DE IMPACTO.

OBJETIVO

1. *Efectuar una prueba de impacto Charpy con una probeta entallada.*
2. *Comprender el significado y las limitaciones de este tipo de pruebas.*

INTRODUCCIÓN

En la actualidad es un hecho conocido que el acero dúctil puede tener un comportamiento frágil bajo ciertas condiciones. Por ejemplo, durante la Segunda Guerra Mundial se puso gran atención a la fractura frágil de barcos de la clase Liberty, los primeros contruidos totalmente a base de soldadura, algunos de estos barcos se partieron completamente en dos partes, mientras que otros solo mostraban fracturas en algunas regiones. La mayoría de las fallas ocurrieron durante los meses de invierno; sin embargo, cabe mencionar que las fallas por fractura frágil se tienen en tanques, recipientes a presión, tuberías, puentes, etc.

Son tres los factores básicos que contribuyen a la fractura frágil por clivaje:

1. *Un estado de esfuerzos triaxial.*
2. *Baja temperatura.*
3. *Una velocidad de deformación alta o una alta velocidad de aplicación de la carga.*

No es necesario que estén presentes estos tres factores a la vez para que se produzca una fractura frágil. Por ejemplo, un estado de esfuerzos triaxial, como el que se encuentra en una entalladura y baja temperatura son los responsables de la mayoría de las fallas en servicios por fractura frágil. No obstante, debido a que estos efectos se acentúan a una alta velocidad de aplicación de carga, se hace uso de las pruebas de impacto para determinar la susceptibilidad de los metales a la fractura frágil.

Los aceros poseen propiedades idénticas cuando se someten a ensayos de tensión o torsión, los cuales involucran velocidades bajas de deformación, pero pueden mostrar grandes diferencias en su tendencia a la fractura frágil cuando se someten a pruebas de impacto con probetas entalladas.

Aparato para pruebas de impacto con probetas entalladas

La máquina consiste en un péndulo de oscilación libre montado en un cojinete, un marco rígido y un yunque para sostener la probeta. La energía del impacto se hace variar cambiando la masa del péndulo, modificando la altura de la caída o mediante ambos procedimientos. La energía que absorbe la probeta es la diferencia entre la energía que queda después del impacto y la de entrada en el momento de producirse el impacto. Como las vibraciones pueden absorber energía, el péndulo y el sujetador de la probeta se diseñan de tal forma, que el péndulo golpee a la probeta en su centro de percusión. El marco y el yunque deben ser también muy rígidos para evitar que absorban energía por deformación. Las pérdidas por fricción no pueden eliminarse totalmente, pero se pueden determinar y hacer las correcciones necesarias cuando el caso lo requiera.



Figura 1. Máquina de impacto Charpy

Después de que la muestra se rompe, el péndulo impulsa a una aguja indicadora de poco peso a lo largo de una escala calibrada para indicar la lectura en kg-m o en otras unidades de energía absorbida por la probeta.

En la figura 1 se muestra el dibujo de la máquina para pruebas de impacto con probeta entallada.

La magnitud del trabajo de deformación y destrucción se determina por la diferencia de la energía potencial del péndulo entre el momento inicial y el final del ensayo.

$$\Delta E = P (H - h) \dots \dots (1)$$

Donde ***P*** = peso del péndulo
 H = altura inicial del péndulo
 h = altura final del péndulo
 L = longitud del péndulo

$$h = L (1 - \text{COS } \beta)$$

$$H = L (1 - \text{COS } \alpha)$$

Por lo tanto:

$$\Delta E = PL (\text{COS } \beta - \text{COS } \alpha) \dots \dots (2)$$

Esta última fórmula sirve para el cálculo del trabajo ΔE por los ángulos medidos α y β .

P y ***L*** son constantes.

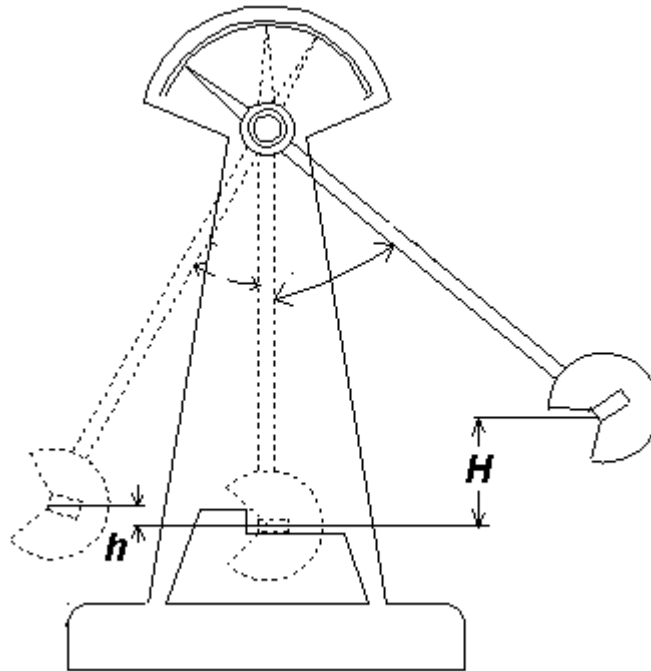
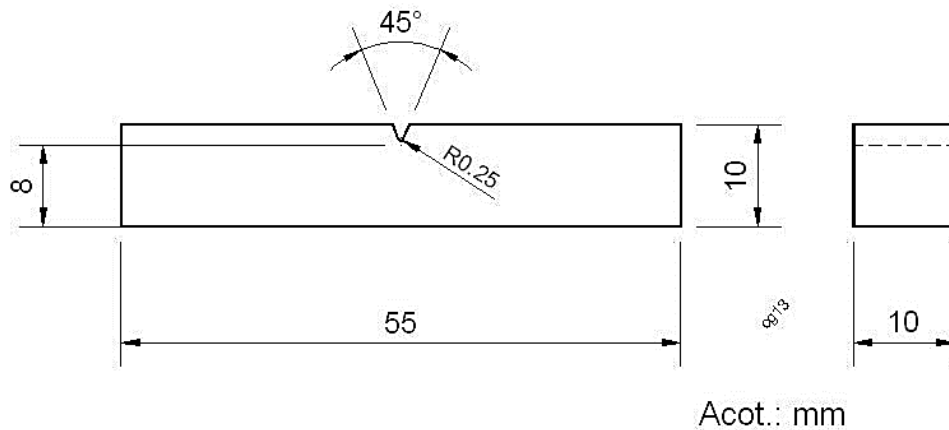


Figura 2. Máquina de péndulo típica para prueba de Charpy

PROBETA PARA LA PRUEBA DE IMPACTO

En la figura 3 se muestra la probeta estándar, para la prueba de Charpy (viga simplemente apoyada).



Probeta Charpy con ranura tipo V

Figura 3. Probeta típica para prueba de impacto

La entalladura estándar en forma de V es muy usada, debido a que se hace con facilidad utilizando una fresa especial. La profundidad de la entalladura debe ser mayor de 2 mm, si lo que se quiere es determinar diferencias de tenacidad en materiales muy dúctiles.

Factores que afectan los resultados de una prueba de impacto

1. El tamaño y la forma de la probeta.

Para la mayoría de los materiales metálicos usados en ingeniería, se han establecido normas bien definidas respecto al tamaño y la forma de la probeta; así como la profundidad y lo pronunciado de la ranura.

2. La forma y lo pronunciado de la ranura.

La forma y lo pronunciado de la ranura influyen en los resultados como se muestra en la tabla 1. Los datos de la tabla 1 corresponden a probetas de Charpy estándar de acero que tienen muescas de 5 mm con radio de 0.07mm.

Tabla 1

Angulo de la muesca (°)	0	30	60	90	120	150
Tenacidad Charpy (kg-m)	3.36	3.41	3.51	3.93	6.36	10.1

Los datos de la tabla 2 corresponden a muestra estándar de Charpy de acero con 0.05% de carbono y una muesca de 2 mm.

Tabla 2

Radio de la raíz de la muesca (mm)	Agudo	0.17	0.34	0.68
Tenacidad de Charpy (kg-m)	0.61	0.17	1.25	2.08

Mientras menos profunda y aguda sea la ranura, mayor será la diferencia entre los resultados obtenidos con materiales tenaces y los de poca tenacidad. No obstante, si la ranura tiene muy poca profundidad la probeta no se romperá, por lo que casi siempre

se prefiere la profundidad de 2 mm. Como es difícil maquinar una ranura perfectamente aguda se ha adoptado generalmente un radio de 0.25 mm para su vértice.

El efecto de la ranura es concentrar esfuerzos. Cuando se produce una grieta en la raíz de la ranura, el esfuerzo se intensifica enormemente y la grieta progresa con rapidez a través de la sección transversal. Sin la ranura, las probetas de muchos materiales sólo se doblarían sin tener fractura y no podría medirse su capacidad para absorber energía. La respuesta de los materiales con la presencia de cambios abruptos en su sección transversal es muy variada. La prueba de impacto con probetas entalladas constituye una forma apropiada de estudiar esta respuesta, que se conoce como sensibilidad de entalladura de los materiales.

3. La temperatura de la prueba.

La temperatura tiene un efecto muy importante en los resultados de las pruebas de impacto de probeta entallada en algunas aleaciones, sobre todo en los materiales de composición ferrosa. La resistencia al impacto de una probeta entallada de estructura de acero cúbica de cuerpo centrado disminuye casi siempre en forma brusca en el rango de temperaturas atmosféricas. Por ejemplo, un acero típico puede presentar una reducción en tenacidad de 70 libra-pie a 10 libra-pie, en el rango de temperaturas comprendido entre 80°F (27 °C) y 40°F (4.5 °C). De hecho, una de las aplicaciones más importantes de los resultados de las pruebas con probetas entalladas es determinar la viabilidad de los distintos aceros para uso en climas fríos.

Aplicación de pruebas de impacto. Además de proporcionar datos sobre la tenacidad, la sensibilidad de entalladura de los materiales y los efectos de la temperatura, estas pruebas son útiles también para determinar si alguna secuencia de proceso puede desarrollar el máximo de tenacidad en un material. Esto último es especialmente útil en relación con las aleaciones ferrosas, en las que se puede usar una variedad de ciclos de tratamientos térmicos para lograr un valor determinado de dureza o resistencia elástica. Estos ciclos de tratamientos térmicos pueden tener un efecto variable en la tenacidad. Por ejemplo, si se sobrecalienta la aleación antes de enfriarla por inmersión en agua, esta tiende a engrosar el tamaño de los granos

de austenita y afectar la tenacidad, aunque no perjudica mucho su dureza. De la misma manera, algunas temperaturas y procedimientos de templado pueden causar fragilidad (fragilidad de temple y de revenido) y pérdida de tenacidad. La dureza de estas piezas mal templadas es satisfactoria; pero no la tenacidad.

Aspecto de la fractura. Las probetas que sufren fracturas siempre deben examinarse con cuidado. Si su superficie es suave y lisa, ello indicará un tamaño de grano fino y ductilidad en los aceros. Mientras que un aspecto grueso significa fragilidad, falta de tenacidad y probablemente un recalentamiento antes del endurecimiento. Con frecuencia se aprecian dos zonas distintas, una suave y lisa, donde se inició la fractura dúctil, y otra de grano grueso, donde se produjo la fractura frágil.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Máquina de impacto de Charpy*
- *Probetas de distinta aleación con muesca en V tipo Charpy*
- *Calibrador*

INSTRUCCIONES PARA EL ENSAYO CHARPY

- *Tomar medidas de las probetas proporcionadas.*
- *Levantar el péndulo hasta su altura máxima (hasta el tope). En esa posición se fija el péndulo, poniendo el seguro para evitar que caiga.*
- *Colocar la probeta en el yunque, de tal forma que la cara que contiene la ranura quede opuesta al percutor. Es importante que la ranura y el percutor queden alineados (fig. 4)*
- *Se gira la aguja indicadora de la carátula a la posición en que coincida con 1.5 kpm (1.5 kg-m) de la escala graduada (que será la energía que tenga el péndulo al momento de impactar con la probeta).*
- *De frente a la carátula (para evitar que nos golpee el péndulo) se gira la perilla del seguro para dejar caer el péndulo.*
- *Una vez detenido el péndulo se procede a leer la energía que absorbió la probeta marcada por la aguja indicadora en la carátula.*

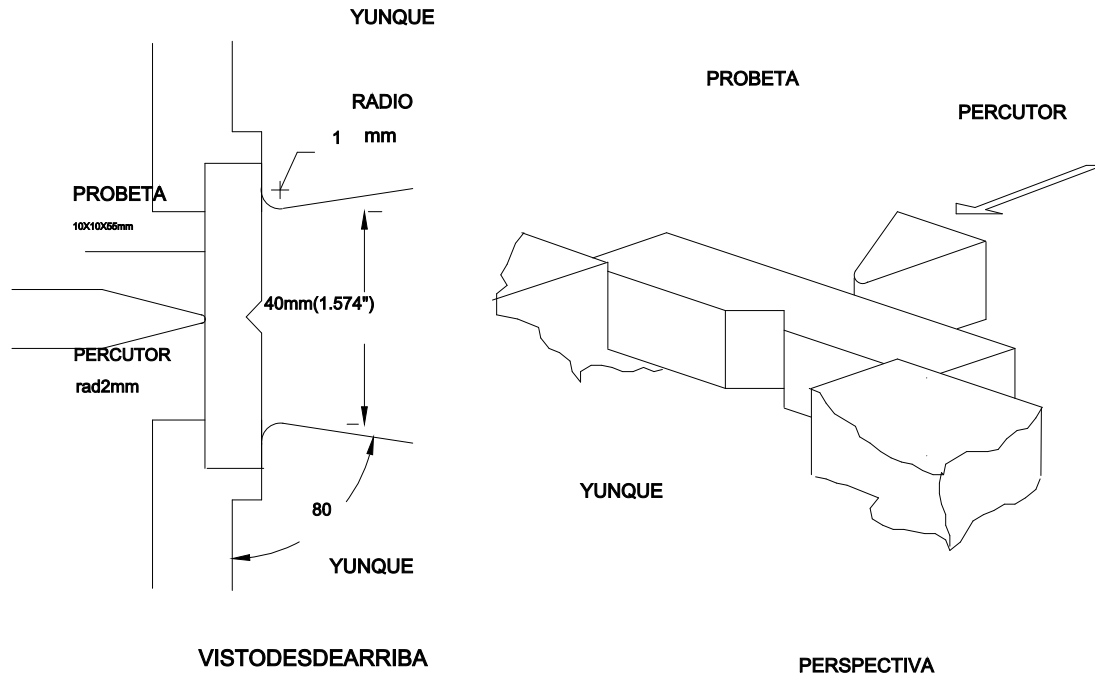


Figura 4. Colocación de la probeta

CUESTIONARIO

1. Dibuje, con dimensiones, las probetas utilizadas en la prueba.
2. ¿Cuál es el área efectiva de la fractura (cm^2) de cada una de ellas?
3. ¿Por qué las probetas utilizadas en la prueba de impacto tienen una pequeña ranura?
4. ¿Cuál es el efecto general de la temperatura en la tenacidad del acero de bajo carbono?
5. Calcule la energía absorbida por unidad de superficie en la fractura ($\text{kg}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$).
6. ¿Por qué cree usted que no se rompió totalmente la probeta? ¿Qué haría para que se rompiera totalmente en la prueba?
7. Diga que factores pueden alterar el valor obtenido en la prueba.
8. Los datos presentados en la tabla 3 corresponden a la prueba de impacto de varias probetas de un mismo tipo de acero, obtenga el valor promedio de los mismos y trace una gráfica Temperatura Vs Valores promedio

Tabla 3. Datos obtenidos en distintas pruebas de impacto de un acero.

TEMPERATURA (°C)	ENERGIA ABSORBIDA (kg-m)	PROMEDIO (kg-m)
-62	2.2, 1.5, 1.24, 1.35	
-51	1.5, 1.24, 1.10, 1.16	
-40	1.50, 1.24, 0.96, 1.34	
-29	2.20, 1.98, 1.70, 2.15	
-18	3.3, 2.3, 1.80, 2.13	
-12	4.4, 3.04, 2.9, 2.8	
4	6.22, 3.87, 4.76, 5.05	
21	11.05, 7.7, 6.90, 7.5	
38	14.5, 12.9, 12.8, 10.5	
49	16.04, 15.48, 14.79, 14.33	
60	15.48, 15.21, 14.93, 14.70	
71	16.45, 15.76, 15.83, 16.50	
82	17.28, 16.18, 16.2, 17.0	
93	17.28, 16.6, 16.31, 16.80	

9. En la gráfica trazada, ¿cuál es el rango de la temperatura de transición?

10. Explique cómo se realiza el ensayo de impacto Izod.

Práctica 3: EL MICROSCOPIO METALOGRAFICO.

OBJETIVO

Conocimiento y manejo del microscopio metalográfico.

INTRODUCCIÓN

El microscopio metalográfico es un instrumento que permite observar la luz reflejada por la superficie previamente preparada de un metal. Existen dos tipos de él, a saber:

- *Microscopio vertical, figura 1a)*
- *Microscopio invertido (arreglo de Le Chatelier), figura 1b)*



a)



b)

Figura 1. a) Microscopio vertical con fuente externa b) Microscopio invertido

Básicamente, el microscopio está constituido por un dispositivo de iluminación, un vidrio plano o prisma de reflexión, el ocular y el objetivo. El haz de luz atraviesa el objetivo y al ser reflejado por la muestra vuelve a pasar por éste para dar una imagen

en el ocular de observación y/o en la cámara fotográfica. El aumento de la imagen observada viene dado por el producto de los aumentos del objetivo por los del ocular.

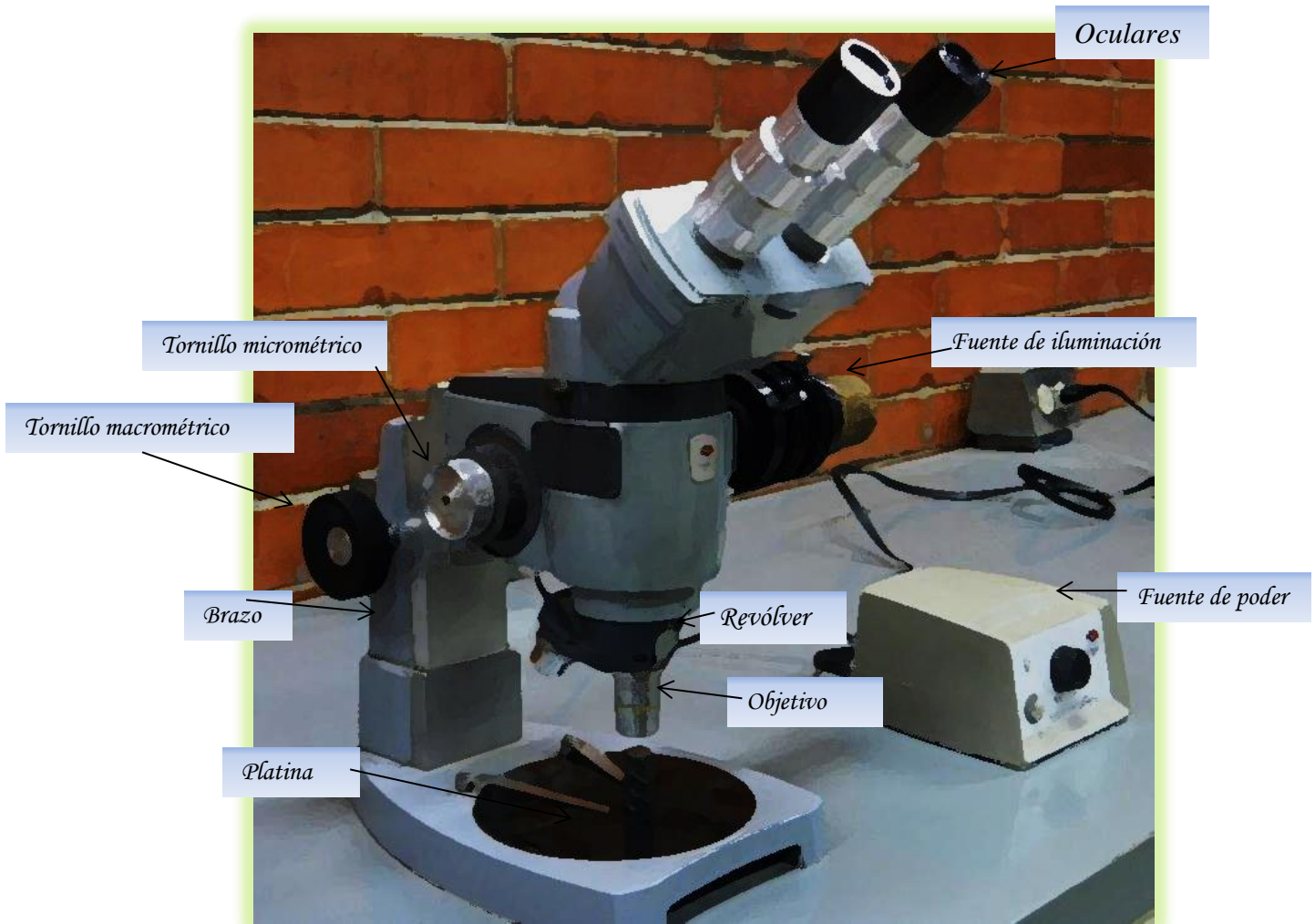


Figura 2. Microscopio vertical con fuente externa

La máxima ampliación que se consigue con los microscopios metalográficos es, aproximadamente, de 1500 aumentos (1500X). Con el empleo de lentes bañadas en aceite puede mejorarse este límite, hasta unos 2000 X. No obstante, esta es la mayor magnificación que se puede conseguir con microscopía óptica, debido al tamaño de la longitud de onda de la luz visible (aprox. 4000 Å). Para aumentar la magnificación, se tienen que emplear electrones ($\lambda=0.5 \text{ \AA}$) en vez de fotones para "iluminar" la muestra, lo que lleva a la necesidad de emplear microscopios electrónicos.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Microscopio metalográfico provisto de ocular de 10X y objetivos de 6.5X, 10X y 40X*
- *Probetas de diferentes metales*

INSTRUCCIONES PARA EL USO DEL MICROSCOPIO METALGRÁFICO

- *Conectar la fuente de iluminación al contacto y conectar ésta al microscopio.*
- *Encender el microscopio observando las precauciones de uso.*
- *Colocar la probeta sobre la platina del microscopio.*
- *Elegir el objetivo adecuado para la observación.*
- *Enfocar por medio de los tornillos macrométrico y micrométrico.*
- *En caso necesario ajustar el diafragma.*
- *Tomar la fotografía de la microestructura observada, en 100x y 400x.*

PRECAUCIONES DE USO

1. *Al encender el microscopio, mantener la intensidad de luz lo más baja posible (controlada por la perilla de la fuente de iluminación).*
2. *Mantener apagada la fuente de iluminación mientras no se encuentre en uso el microscopio.*
3. *Las probetas a observar deben estar secas y libres de impurezas.*
4. *Evitar rayar los oculares y objetivos.*
 - a) *En caso de usar anteojos, quitárselos y observar sin ellos.*
 - b) *Evitar que cualquier objeto extraño toque los objetivos y oculares.*
 - c) *No desbastar ni pulir cerca del microscopio.*
 - d) *Desplazar los tornillos macrométrico y micrométrico con lentitud **para evitar que el objetivo choque con la muestra.***

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y FÓRMULAS

G = Aumento total del microscopio

g₁ = Aumento del objetivo

g_2 = Aumento del ocular

d = Poder de resolución del objetivo, o sea la distancia mínima entre dos líneas separadas con ese objetivo. Depende de la apertura numérica y de la longitud de onda.

a = Apertura numérica

λ = Longitud de onda

Además, la apertura numérica (a) del objetivo, depende a su vez del índice de refracción del medio de inmersión, por lo cual solo es válida para ese medio.

El ojo humano es capaz de separar dos puntos distantes entre sí 0.2 mm aproximadamente.

FÓRMULAS

$$G = g_1 g_2 \dots (1)$$

$$d = \frac{\lambda}{2a} \dots (2)$$

$$G = \frac{d_{\text{ojo}}}{d_{\text{objetivo}}} \dots (3)$$

CUESTIONARIO

1. ¿Cuál es el principio de funcionamiento del microscopio metalográfico?
2. Explicar el funcionamiento de los tornillos macrométrico y micrométrico
3. En microscopía, ¿qué se entiende por resolución?
4. ¿Para qué sirven los diafragmas de campo?
5. ¿Para qué sirven los diafragmas de abertura?
6. Explicar la técnica de campo oscuro.

7. *Explicar la técnica de campo claro.*
8. *Explicar cómo funciona el microscopio electrónico.*
9. *¿En qué casos se utiliza aceite durante la observación mediante el microscopio metalográfico?*
10. *PROBLEMA. Supóngase que se quiere observar una estructura laminar cuya separación es de 0.2 micras, para lo cual se piensa utilizar un filtro verde ($\lambda = 5300 \text{ \AA}$), si se utiliza un ocular de 10X.*
 - a.) *Determine el objetivo mínimo necesario para observar la estructura.*
 - b.) *Calcular la abertura del objetivo.*

Práctica 4: PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALGRÁFICAS.

OBJETIVO

1. Aprender y poner en práctica la técnica para la preparación de muestras metalográficas.

INTRODUCCIÓN

La metalografía es el estudio de la constitución y la estructura de los metales y las aleaciones. La forma más sencilla de hacerlo es examinando las superficies metálicas a simple vista. Las técnicas más avanzadas se basan en la amplificación de la superficie, mediante instrumentos ópticos, para observar las características estructurales microscópicas.

Los estudios ópticos microscópicos proporcionan resultados que son útiles no solo a los científicos, sino también a los ingenieros. El examen de la microestructura es útil para determinar si un metal, o una aleación, satisfacen las especificaciones en relación con trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general.

Un estudio de la microestructura permite llevar a cabo un análisis de fallas metálicas y de esta forma controlar procesos industriales.

Los cinco pasos que casi siempre se requieren para hacer una muestra metalográfica son:

1. Corte
2. Montaje. Si la muestra es muy pequeña
3. Desbaste
4. Pulido
5. Ataque, con un reactivo químico adecuado

Corte. En general, se deben cortar uno o varios trozos pequeños del objeto que se va a examinar. La ubicación de estas muestras y la forma en que se corten afectarán

los resultados y su interpretación. Por ejemplo, una varilla de acero estirada en frío puede cortarse en tal forma que quede expuesta una sección transversal o longitudinal, y ambas secciones variarán notablemente en su aspecto. En el caso del acero (y de algunas otras aleaciones), es necesario evitar el calentamiento de la muestra al hacer el corte ya que esto puede alterar el estado de la superficie, que más tarde deberá pulirse y atacarse con ácido. Casi siempre es conveniente realizar los cortes, utilizando un medio refrigerante o hacerlo lentamente, a fin de que el calor generado en la pieza no altere su estructura.



Figura 1. Cortadora de disco abrasivo

Montaje. Si la probeta que va a examinarse es lo suficientemente grande para que pueda sujetarse bien con la mano, no es necesario montarla. No obstante, la mayoría de las veces la probeta es demasiado pequeña para que pueda sostenerse en forma (por ejemplo, un tramo de varilla, alambre o lámina) mientras se lija o pule, por lo que será necesario montarla en algún material plástico.

Desbaste. Este proceso se efectúa usando lijas de grano cada vez más fino. La lija se ubica sobre una superficie plana y dura, que puede ser acero o vidrio, y la muestra se lija sin hacer un movimiento oscilatorio, sobre la lija. Cuando se termina de lijar, en cada etapa, las marcas deben estar todas en la misma dirección, como se muestra en la figura 1. Antes de continuar con la siguiente lija más fina, deben lavarse y secarse con cuidado las manos y la muestra. Ahora, la probeta debe desplazarse en tal forma que las rayas hechas por las distintas lijas formen ángulos rectos con las del inmediatamente anterior. Así puede verse con claridad si se han eliminado las rayas más gruesas que se hicieron en la operación anterior, como se ve en la figura 1.

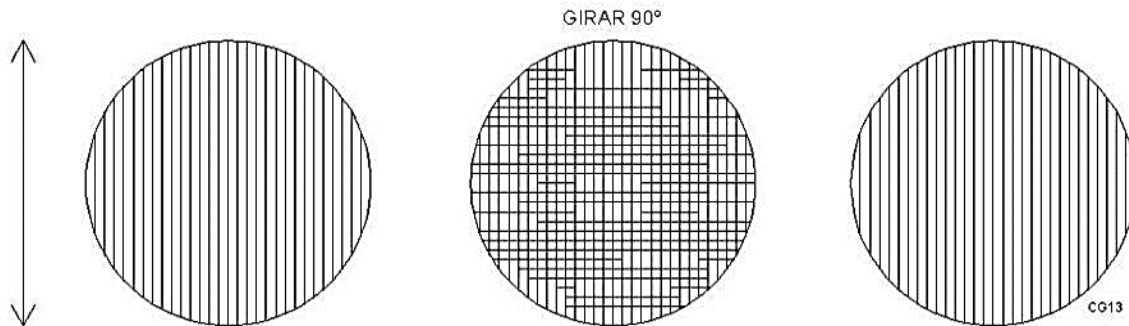


Figura 2. Desbaste a 90° en diferentes pasos.

Pulido. Este procedimiento se basa en el uso de una rueda cubierta con un paño, cargado con una suspensión de alúmina. Periódicamente se debe aplicar agua, para mejorar la acción pulidora y la limpieza. Al principio, la muestra se sostiene en una posición sobre la rueda, sin hacerla girar, hasta que se hayan eliminado la mayoría de las marcas anteriores. Luego puede girarse con lentitud en sentido contrario al de rotación de la rueda hasta que solo puedan verse las marcas dejadas por la alúmina. La rotación de la muestra reduce a un mínimo el peligro de formación de ranuras, por las que se extraen del metal partículas precipitadas.

Se procede a hacer el pulido final después de lavar las manos y la muestra, a fin de evitar cualquier contaminación de la rueda de pulido. A esta rueda cubierta de tela se le aplica una suspensión de alúmina. La muestra se hace girar con lentitud en

sentido contrario al de la rotación de la rueda y se pule hasta que desaparecen las marcas dejadas por la alúmina anterior. Los resultados del pulido pueden mejorar si la última etapa de pulido se efectúa en una rueda de baja velocidad.



Figura 3. Pulidora doble

Ataque químico. *Un reactivo común para atacar el acero es el nital, que consiste de 2 ml de ácido nítrico disuelto en 100 ml de alcohol etílico. El nital se vierte en un recipiente y la muestra, lavada y secada previamente, se sumerge, agitándola suavemente durante un tiempo que oscila entre 5 y 20 segundos. Inmediatamente después, se lava la muestra con agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca.*

Para otros metales y aleaciones se usan diferentes reactivos. Se recomienda la técnica de frotación para ciertos metales y aleaciones en lugar de la técnica de inmersión.

MATERIAL Y EQUIPO

- Barra de acero
- Cortadora de disco, con refrigerante
- Lijas de diferentes grosores
- Alúmina
- Nital al 2 %
- Algodón
- Alcohol
- Microscopio metalográfico

INSTRUCCIONES PARA PREPARAR UNA MUESTRA METALGRÁFICA

Corte

Cortar un tramo de 2 a 2.5 cm de una barra de acero.

Desbaste

1. Apoyar sobre la mesa de trabajo la lija de grano más grueso.
2. Lijar la cara elegida longitudinalmente en un sólo sentido, cuidando de conservar la cara desbastada perfectamente plana.
3. Lavar la probeta y la lija en un chorro de agua frecuentemente.
4. Repetir la operación de desbaste descrita con la lija del número siguiente, con la probeta girada 90° respecto a la dirección anterior.
5. Lavar como se dijo en la primera etapa. El lijado deberá hacerse hasta la desaparición completa de las rayas dejadas por la lija anterior.
6. Repetir esta secuencia de operaciones hasta llegar a la lija más fina.

Pulido

1. Agregar la suspensión acuosa de alúmina sobre el paño del disco y prender la pulidora.
2. Tomar firmemente la muestra y apoyar la cara lijada sobre el paño cuidando de que toda la cara a pulir toque al disco, con el objeto de evitar que la probeta se escape de la mano o que los bordes se redondeen.
3. Durante la operación de pulido la probeta deberá desplazarse en dirección radial, desde el centro hasta el borde del disco.
4. La presión ejercida deberá ser ligeramente inferior a la aplicada durante la operación de desbaste para hacer desaparecer en unos pocos minutos las rayas de la última lija, cuidando de no inclinar la probeta por el peligro del desgarramiento del paño.
5. Lavar la probeta en un chorro de agua y secarla.

Ataque Químico

1. *Desengrasar con alcohol la cara de la probeta previamente pulida y secarla.*
 2. *Tomar la probeta y sumergirla, con la cara pulida hacia abajo en el reactivo de ataque contenido en el cristalizador. Mantener la probeta sumergida durante el tiempo que establezca el profesor. Extraerla, lavarla, secarla y observar al microscopio.*
 3. *Observar la microestructura a distintos aumentos.*
 4. *Cuando se sobreataque o le falte ataque, repulir y repetir la operación descrita anteriormente,*
-

Examen Microscópico

La muestra se coloca en la platina de un microscopio metalográfico de modo que su superficie esté perpendicular al eje óptico. Puede observarse con ampliaciones diferentes, pero si se examina a 400x deben aparecer claramente las laminillas de la perlita en una muestra de acero recocido. Si por el contrario, el ataque con ácido ha sido excesivo, la perlita será muy negra y las laminillas individuales aparecerán indistintamente. A veces, un repulido muy ligero, durante cinco o diez segundos, seguido de otro ataque químico, mejora la claridad de la imagen. Con frecuencia esto no es necesario si el ataque se produce por frotación y no por inmersión.

CUESTIONARIO

1. *¿Por qué es necesario lijar bajo la presencia de un flujo constante de agua?*
2. *¿Por qué es conveniente desplazar en dirección radial la probeta durante el pulido con alúmina?*
3. *¿Qué diferencias se observan entre una probeta de superficie distorsionada y otra sin distorsión?*
4. *¿Qué efecto tiene un ataque químico deficiente y un sobreataque?*
5. *Explicar por qué después del ataque químico se ven los límites de grano.*

6. *¿Qué materiales plásticos se utilizan para el montaje de las muestras metalográficas?*
7. *¿Por qué mejora el aspecto de algunas microestructuras al repulirlas y volverlas a atacar?*
8. *¿Cuál es la composición del reactivo de ataque para el latón?*
9. *Se recomienda agregar alcohol etílico a las probetas para secarlas en la última etapa del pulido. ¿Por qué?*
10. *¿Cuál es la composición del reactivo de ataque para aluminio?*

Práctica 5: TAMAÑO DE GRANO.

OBJETIVO:

Determinar el tamaño de grano de un acero de bajo carbono (NOM-1010) utilizando el método ASTM.

INTRODUCCIÓN

La mayoría de los sólidos cristalinos son un conjunto de muchos cristales pequeños o granos que se obtienen al enfriar el material desde el estado líquido, así, una frontera o límite de grano es la interferencia de dos regiones cristalinas, teniendo cada una de ellas una orientación distinta con respecto a un eje arbitrario perpendicular a un plano de la red, figura 1.

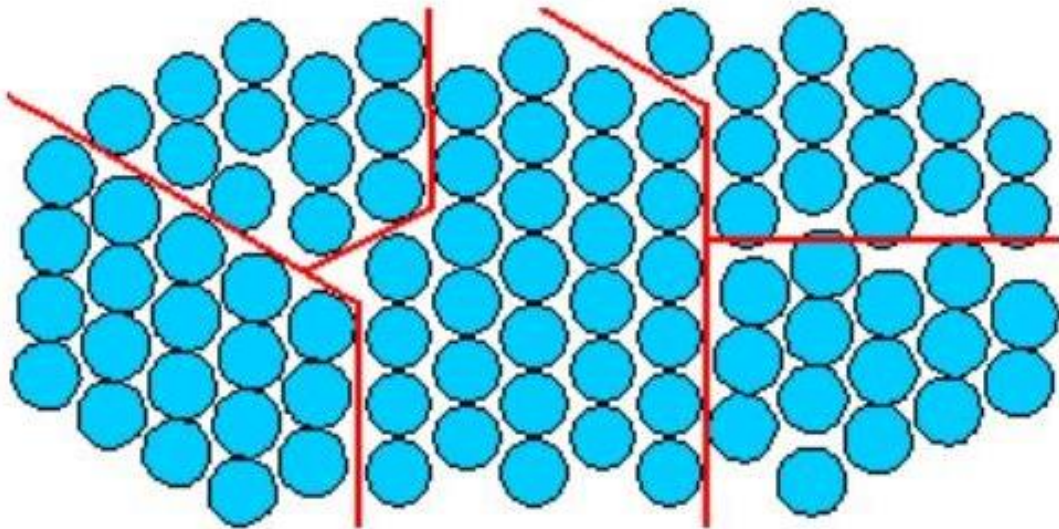


Figura 1. Frontera o límite de grano

Una de las mediciones microestructurales cuantitativas más comunes es aquella del tamaño de grano de metales y aleaciones.

En metales, por lo general, es preferible un tamaño de grano pequeño que uno grande. Los metales de grano pequeño tienen mayor resistencia a la tensión, mayor dureza y se distorsionan menos durante el temple, así como también son menos

susceptibles al agrietamiento. El grano fino es mejor para herramientas y dados. Todos los metales experimentan crecimiento de grano a altas temperaturas. Sin embargo, existen algunos aceros que pueden alcanzar temperaturas relativamente altas (alrededor de 1800°F o 982 °C) con muy poco crecimiento de grano, pero conforme aumenta la temperatura, existe un rápido crecimiento de grano. Estos aceros se conocen como aceros de grano fino. En un mismo acero puede producirse una gama amplia de tamaños de grano

En todos los métodos para expresar el tamaño de grano es preciso proyectar la imagen de la estructura sobre la pantalla de un equipo metalográfico u obtener una fotomicrografía. Se han desarrollado varios procedimientos para estimar el tamaño de grano, estos procedimientos están sintetizados en detalle en la norma ASTM-E112. los métodos más conocidos y utilizados son:

- Método ASTM para aleaciones ferrosas.
- Método de Graff- Snyder
- Método de Hilliard
- Método comparativo ASTM para aleaciones no ferrosas
- Método planimétrico de Jeffries
- Método de Heyn

Algunos tipos de tamaño de grano son medidos: tamaño de grano de la ferrita, tamaño de grano de la austenita y tamaño de grano de la austenita previa. Cada tipo presenta problemas particulares asociados con la revelación de estos bordes de manera que puede obtenerse un rango exacto.

Método ASTM

ASTM es American Society for Testing and Materials. La norma involucra el conteo del número de granos dentro de un área determinada.

Números para el tamaño de grano ASTM

Número ASTM	Granos/mm ²	Diámetro aproximado del grano (μm)
-1	4	500
0	8	354
1	16	250
2	32	177
3	64	125
4	128	88.4
5	256	62.5
6	512	44.2
7	1 024	31.2
8	2 048	22.1
9	4 096	15.6
10	8 200	11.0
11	16 400	7.81
12	32 800	5.52

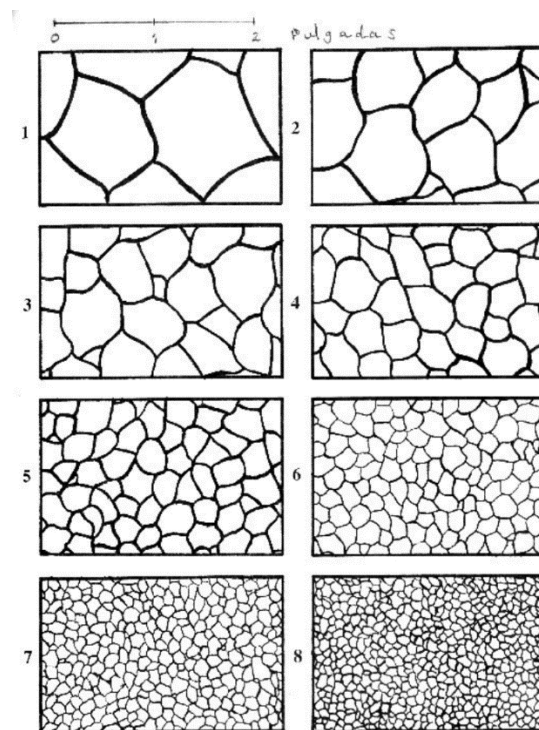


Figura 2. Gráfica del tamaño de grano

El más antiguo procedimiento para medir el tamaño de grano de los metales es el método planimétrico. Un círculo o rectángulo de tamaño es extendido sobre una microfotografía o usado como un patrón sobre una pantalla de proyección. El número de aumentos se ajusta para proporcionar al menos 50 granos dentro del área de medición, luego se cuenta el número de granos enteros dentro del área considerada y el número de granos interceptados por el perímetro de prueba.

Según la norma ASTM:

$$N = \left(\frac{100}{M}\right)^2 2^{n-1}$$

Donde:

N = número de granos en una pulgada cuadrada

N = granos totales / (área de la microfotografía/25.4²)

n = número de grano ASTM (E 112)

M = Aumento de la imagen en el microscopio

$$n = \frac{\ln N + 2(\ln M - \ln 100)}{\ln 2} + 1$$

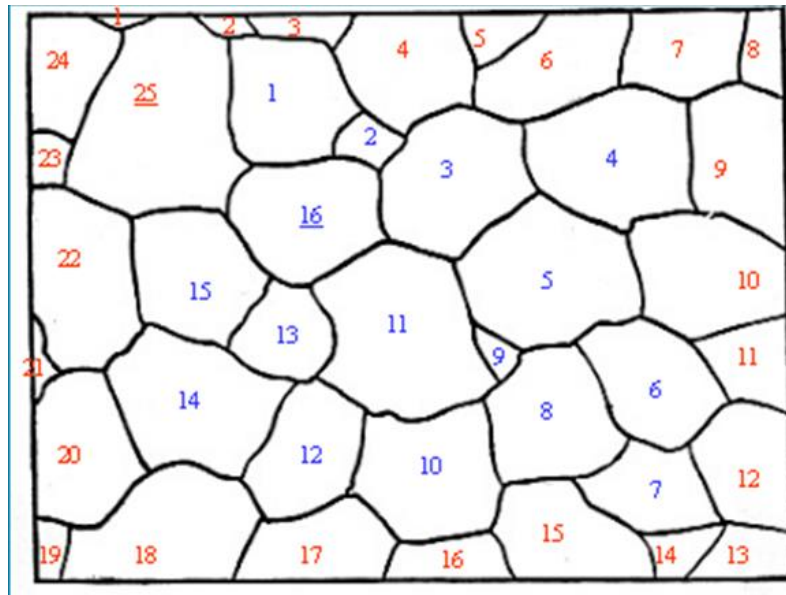


Figura 3. Ejemplo de la medición del tamaño de grano por el método ASTM a 100x.

Granos enteros = 16

Medios granos = 25

Granos totales = 16 + 25/2 = 28.5

Área de la microfotografía = 101 mm x 77 mm = 7 777 mm²

Para 100x, $N = 2^{n-1}$

$$N = \frac{28.5}{\frac{7777}{25.4^2}} = 2.36$$

Entonces, $2.36 = 2^{n-1}$

$$\ln 2.36 = (n-1) \ln 2$$

$$n = \frac{\ln 2.36}{\ln 2} + 1 = 2.2$$

Se redondea el resultado, entonces $n = 2$.

PROCEDIMIENTO

Utilizando el método ASTM, obtener el tamaño de grano de la figura 4.

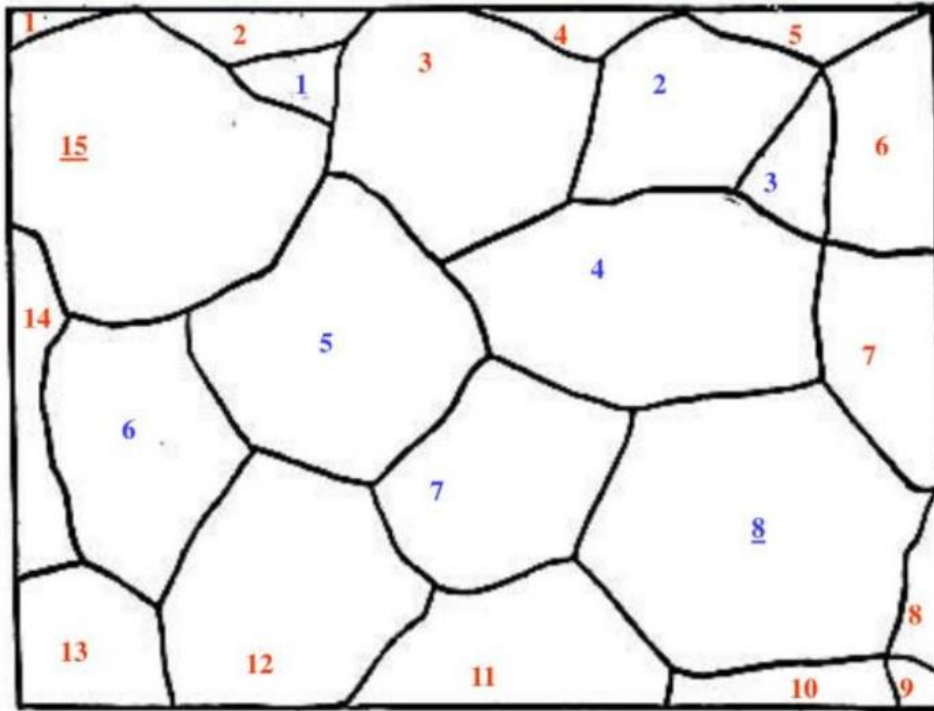


Figura 4. Microestructura observada a 500X. A = 101 x 77 mm.

CUESTIONARIO

1. Determine el tamaño de grano para la estructura que se muestra en la fig. 5.

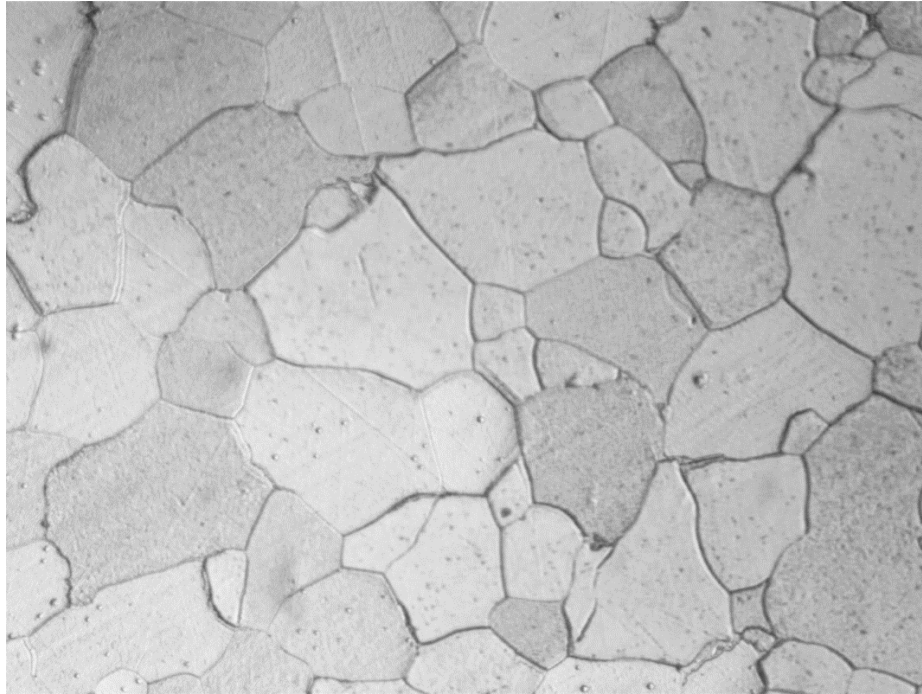


Figura 5. Acero de muy bajo carbono (400X)

A = 100 x 74 mm

2. ¿Qué propiedades mecánicas de los metales dependen del tamaño de los granos que constituyen su estructura?
3. ¿Qué efecto tienen sobre el tamaño de los granos los tratamientos térmicos en materiales metálicos?
4. ¿Cuál es la relación de la resistencia mecánica de un material metálico con el tamaño de grano?
5. En qué consiste el método de Graff-Snyder para determinar el tamaño de grano
6. En qué consiste el Método de Hilliard
7. ¿Cómo influye el tamaño de grano en la conductividad eléctrica de un metal?

Práctica 6: PRUEBA DE TORSIÓN.

OBJETIVOS

1. Determinar el módulo de elasticidad al esfuerzo cortante (G) de diferentes metales por medio de un ensayo de torsión.
2. Calcular el esfuerzo cortante en una barra de sección circular sometida a torsión.

INTRODUCCIÓN

Los elementos mecánicos como ejes, flechas y resortes se encuentran sujetos a momentos torsionantes, debido a las cargas a que están sometidos. Para determinar la resistencia a la torsión de un eje, es necesario realizar una prueba de torsión, que consiste en someter una barra de sección circular a la acción de una carga P aplicada a una distancia R_p con respecto al centro de la barra como se muestra en la figura 1.

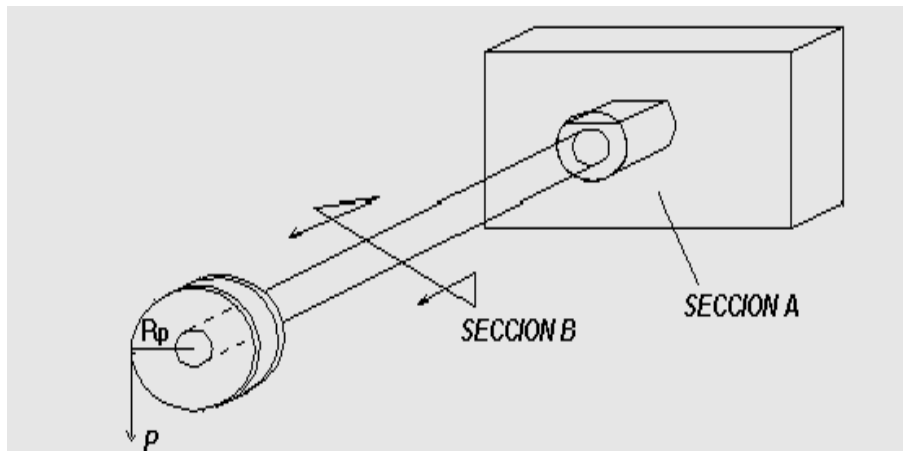


Figura 1. Barra sometida a torsión.

Considérense dos secciones **A** y **B** de una barra circular sometida a torsión, figura 2, en la que:

T = Momento de torsión, en kg-cm.

L = Longitud entre las secciones A y B de la barra circular, en cm.

r_b = Radio de la barra circular, en cm.

γ = Deformación angular de un eje, entre dos secciones (**A** y **B**), en radianes.

θ = Ángulo de torsión en la barra al ir del punto **A** al punto **A'**, en radianes.

Si se considera el arco CD, de la figura 2 se puede ver que está relacionado con el ángulo γ de la siguiente forma:

Arco $AA' = Ly = r_b\theta$ En donde:

$$\gamma = \frac{r_b}{L}\theta \dots (1)$$

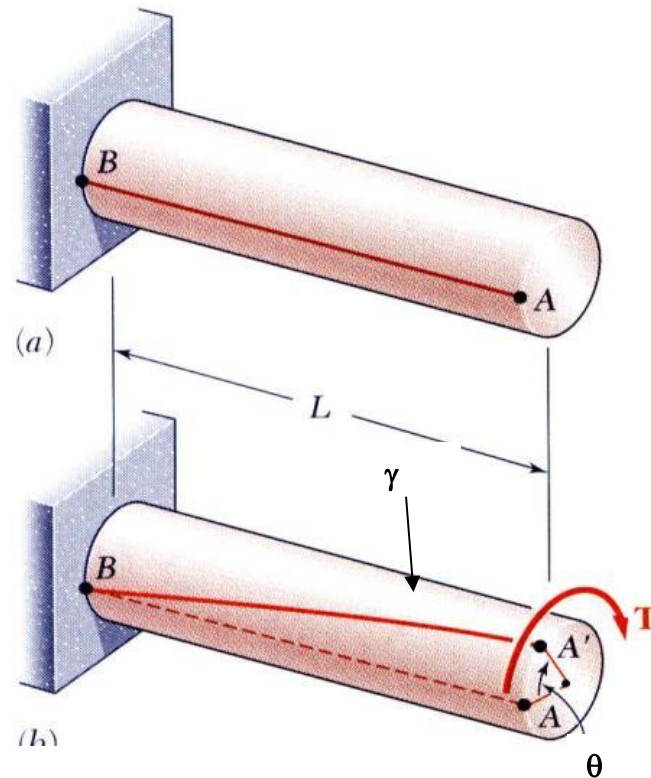


Figura 2. Condiciones de prueba

Por otra parte, se demuestra en mecánica de materiales que el ángulo θ es directamente proporcional al momento de torsión y está dado por la ecuación:

$$\theta = \frac{TL}{JG} \dots (2)$$

Despejando a G se obtiene:

$$G = \frac{TL}{J\theta} \dots (3)$$

Donde:

G = Módulo de elasticidad al esfuerzo cortante en kg/cm^2

J = Momento polar de inercia en cm^4

Para una sección circular J está dado por:

$$J = \frac{\pi d^4}{32} \dots (4)$$

donde d = diámetro de la barra en cm .

Para una barra de sección transversal circular la distribución de los esfuerzos cortantes es como se muestra en la figura 3. Dentro del rango elástico de esfuerzos, la deformación es proporcional al esfuerzo, lo cual se expresa por la relación:

$$\tau = G\gamma \dots (5)$$

Sustituyendo (1) y (3) en (5) se obtiene:

$$\tau = \frac{Tr}{J} \dots (6)$$

Donde:

r = radio de la barra.

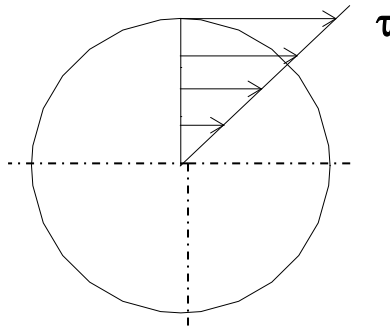


Figura 3. Variación del esfuerzo cortante a través de una sección circular.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Aparato de torsión con pesas y medidor de carátula.*
- *Barras de bronce y acero de diferentes diámetros.*
- *Regla.*
- *Vernier.*

INSTRUCCIONES PARA EL ENSAYO DE TORSIÓN

- *Arreglar el aparato sobre una mesa de trabajo de tal manera que la polea y el soporte para las pesas queden en un extremo de la mesa dejando suficiente espacio para que se puedan colgar éstas.*
- *El momento de torsión (T) se puede aplicar poniendo las pesas al brazo de la polea.*
- *La barra de metal a experimentar se sujeta con los prisioneros en ambos extremos del aparato de torsión.*
- *Los extremos planos deberán estar directamente abajo de los prisioneros.*
- *El ángulo de torsión θ se puede medir por medio de un brazo sujeto a la barra y un extensómetro sujeto al bastidor del aparato.*
- *Cada vuelta del medidor de carátula equivale a un milímetro de desplazamiento.*



Figura 4. Aparato de torsión



Figura 5. Medidor de carátula

Para medir el ángulo de torsión por medio del medidor de carátula se tendrá en consideración lo siguiente:

Si θ es pequeño $S \approx S_1$ (figura 6), entonces:

$$\theta = \frac{S}{R}$$

en radianes.

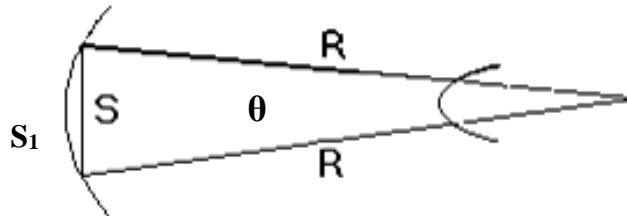


Figura 6

Obtenga los siguientes datos:

- Diámetro de la barra: d
- Longitud de la barra: L
- Material de la barra:
- Longitud del centro de la polea al orificio donde se cuelgan las pesas: L_T (ver figura 4)
- Longitud del brazo sujeto a la barra: R

CUESTIONARIO

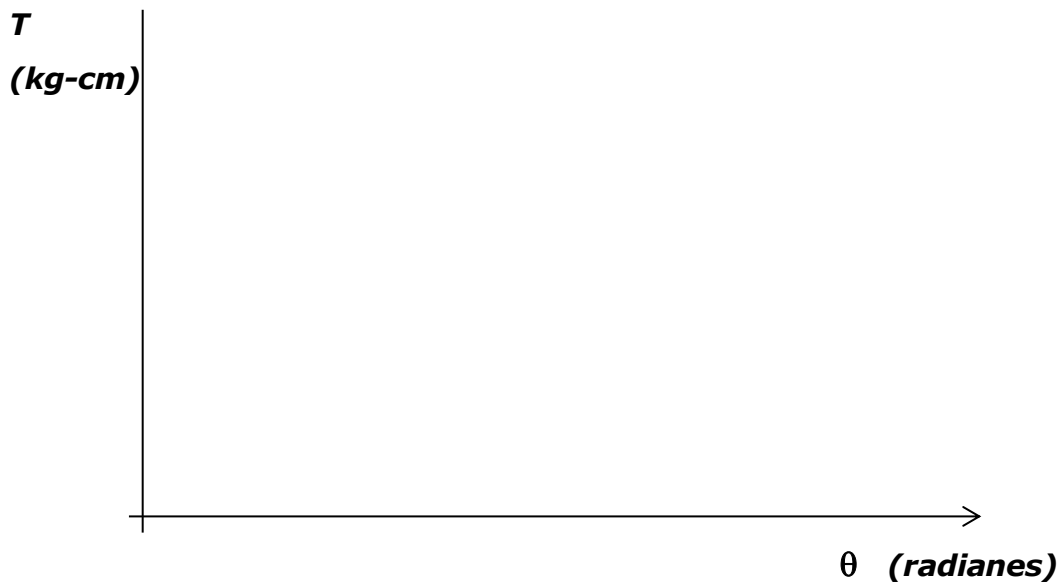
1. Determinar el momento de torsión (T), ángulo de torsión (θ) y el módulo elástico al corte (G) del metal probado.
 - a) Comparar el ángulo de torsión θ de la barra de sección circular con el momento de torsión T que lo produce. La longitud de la barra bajo giro permanece constante.

Llene la siguiente tabla con lecturas y cálculos:

Carga P (kg)	Desplazamiento S (mm)	Momento de torsión T (kg-cm)	Angulo de torsión θ (rad)	Esfuerzo cortante τ (kg/cm ²)	Módulo de elasticidad G (kg/cm ²)
0.2					
0.4					
0.7					
0.9					
1.2					
1.7					
1.9					
2.2					
2.7					
					Promedio

Incluir los cálculos en el reporte.

2. Grafique el momento de torsión (**T**) en función del ángulo de torsión **θ**.



- Compare el módulo de elasticidad al corte (**G**) con el valor encontrado en la bibliografía de Mecánica de Sólidos.
- Determinar el esfuerzo cortante máximo al que fue sometida la barra probada.

Practica 7: PRUEBA DE FLEXIÓN.

OBJETIVOS

- Calcular los esfuerzos que se producen en una barra sometida a flexión
- Calcular el Módulo de Elasticidad de dos metales (acero y aluminio) por medio de una prueba de flexión.

INTRODUCCIÓN.

Las vigas son elementos relativamente esbeltos (una dimensión es mucho mayor que las otras dos) y que soportan cargas aplicadas perpendicularmente a su eje longitudinal.

Otra definición establece lo siguiente:

Viga es todo elemento que se flexiona bajo la acción de una carga no importando su tamaño, ya que puede ser tan grande que forme parte de un puente o edificio o tan pequeño como el diente de un engrane.

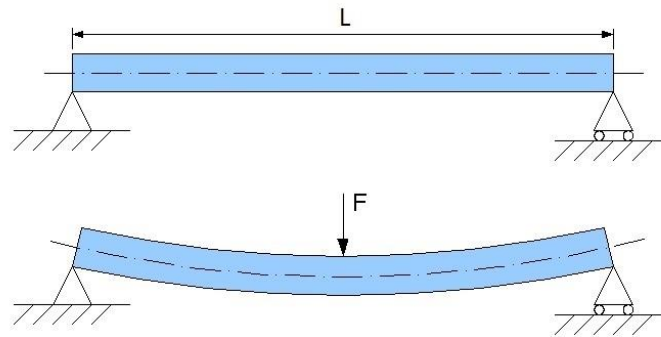


Figura 1. Flexión centrada

A diferencia de otros elementos estructurales, en una viga se presentan 2 efectos claramente definidos, a saber:

- **Una fuerza cortante (V)**
- **Momento flexionante (M)**

Para entender mejor la naturaleza tanto de la fuerza cortante como del momento flexionante considérese una viga prismática bajo la acción de una carga P como se muestra en la figura 1, a continuación, córtese dicha viga mediante un plano

transversal A-A' localizado a una distancia X con respecto a la reacción de la izquierda y por último trácese el diagrama de cuerpo libre de dicha sección.

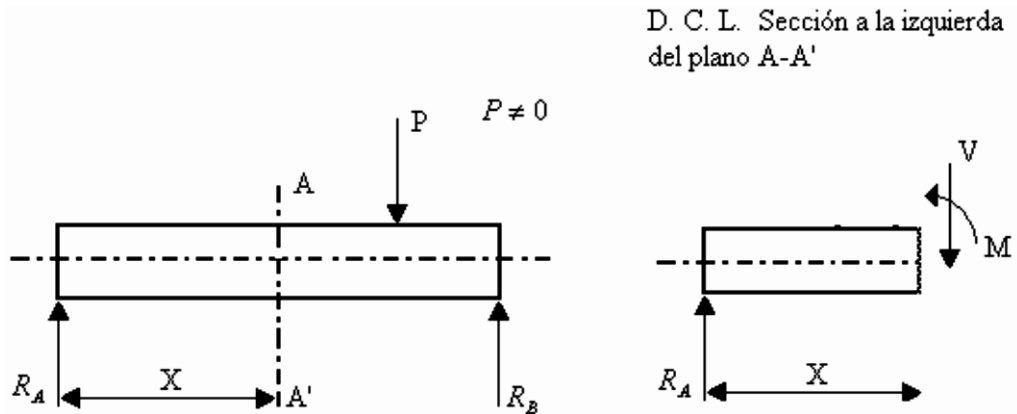


Figura 2. Fuerza cortante V , y el momento flexionante M en cualquier sección transversal de la viga

Como puede observarse en la figura, la fuerza cortante V tiende a cortar o deslizar una sección con respecto a otra y el momento flexionante M tiende a "doblar" o flexionar a la viga.

Estos efectos producen a su vez esfuerzos de corte (τ) y normales o de flexión (σ) que varían de una sección a otra de la viga dependiendo de las condiciones de carga de la misma.

El ensayo de flexión se verifica generalmente colocando la probeta a ensayar sobre dos apoyos A y B, aplicándose una fuerza única F en el punto medio entre los dos apoyos, como se muestra en la figura 2.

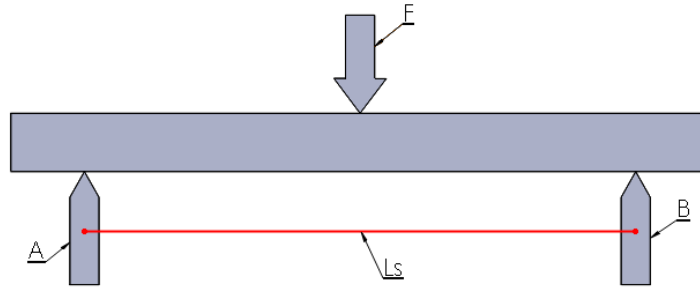


Figura 3. Carga de una probeta en un ensayo de flexión

Con una separación entre los apoyos A y B igual a L_s , resulta entonces que el momento flexionante máximo se presenta a la mitad de la distancia entre los apoyos, pudiéndose calcular con ayuda de la expresión siguiente:

$$M_{\text{máx}} = \frac{F L_s}{2} = \frac{F L_s}{4} \dots (1)$$

Donde:

$M_{\text{máx}}$ = Momento flexionante máximo sobre la viga [kg-cm]

F = Fuerza aplicada sobre la viga [kg]

L_s = Distancia entre apoyos [cm]

Para una probeta sometida a un momento flexionante como se mostró en la figura 3 la distribución de esfuerzos que se produce es similar a la que se muestra en la figura 4, siempre y cuando el material sea perfectamente elástico en la región de la recta de Hooke.

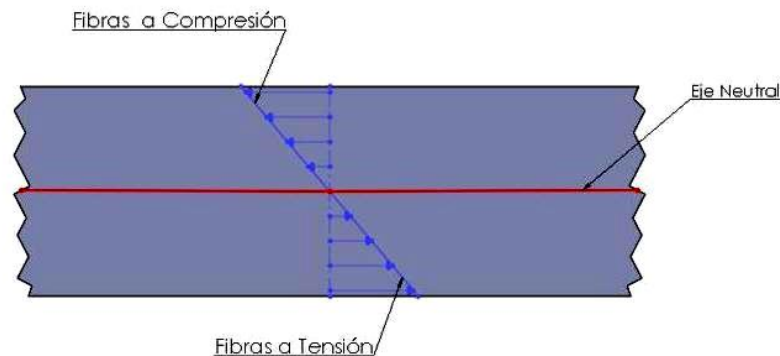


Figura 4. Distribución de esfuerzos en la sección de una probeta sometida a esfuerzos de flexión.

Así, el esfuerzo normal o de flexión máximo producido en la viga se presenta en las fibras más alejadas del eje neutro y se pueden calcular con ayuda de la expresión siguiente:

$$\sigma_{\text{máx}} = \frac{M_{\text{máx}} c}{I} \dots (2)$$

Donde:

I = Momento de inercia de la sección [cm^4]

C = Distancia que existe del eje neutro a la fibra más alejada.

Para una sección circular el momento de inercia se calcula mediante la ecuación siguiente:

$$I = \frac{\pi d^4}{64} \dots (3)$$

Para una sección rectangular el momento de inercia se calcula:

$$I = \frac{bh^3}{12} \dots (4)$$

Por otra parte, la deflexión o deformación máxima que experimenta la viga se encuentra en el punto medio entre los apoyos, exactamente en el punto de ataque de la carga F .

Así, con materiales que siguen la Ley de Hooke, la deformación δ puede calcularse en cada caso también a partir de la carga F , la distancia entre los apoyos L_s , el Módulo de Elasticidad E , y el momento de inercia I de la sección transversal utilizando la expresión siguiente:

$$\delta = \frac{FL_s^3}{48EI} \dots (5)$$

Donde:

δ = deflexión que experimenta la probeta

Despejando a **E** de la ecuación anterior es posible determinar el módulo de elasticidad del material, esto es:

$$E = \frac{FL_s^3}{48\delta I} \dots(6)$$

MATERIAL Y EQUIPO

- Equipo para prueba de flexión con manómetro incluido
- medidor de carátula (0 a 3 mm)
- 1 probeta circular o cuadrada de acero de 1.27 cm (1/2 plg) por lado con una longitud de 22 cm
- 1 probeta circular o cuadrada de aluminio. De 1.27 cm (1/2 plg) de diámetro con una longitud de 22 cm
- Calibrador Vernier.
- Regla.

PROCEDIMIENTO

- 1 Identifique cada una de las partes que integran el equipo, figura 5

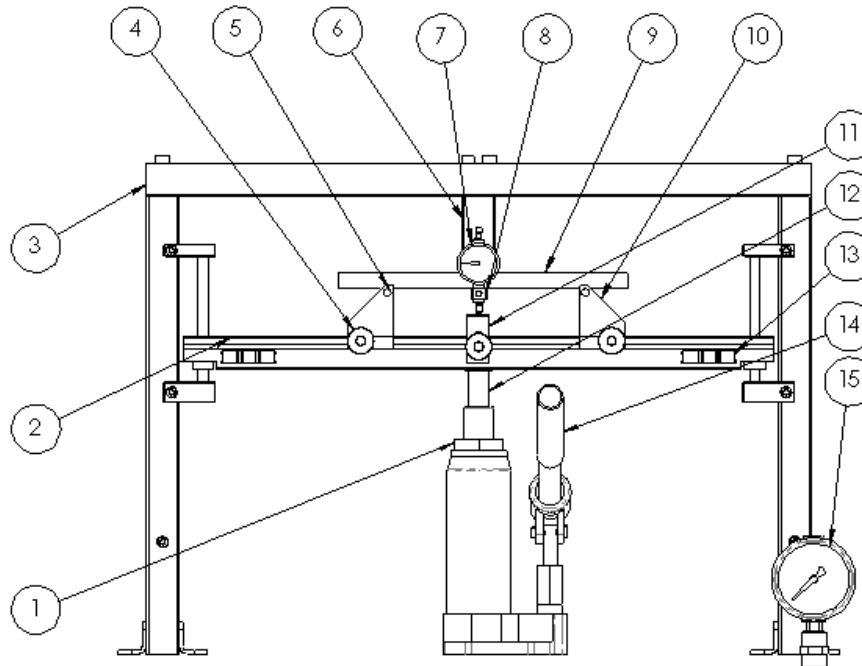


Figura 5. Esquema general del aparato para pruebas de flexión.

Lista de Componentes Principales		
1	Gato Hidráulico	8 Soporte de Indicador
2	Riel	9 Probeta
3	Estructura	10 Soporte
4	Perilla	11 Palanca
5	Perno de Soporte	12 Vástago
6	Punzón	13 Nivel de Gota
7	Indicador de Carátula	14 Palanca de Gato Hidráulico
		15 Manómetro

2. Se miden las dimensiones de las probetas a utilizar

3. Se acciona el gato hidráulico de manera que el perno del punzón y los pernos de los soportes donde descansará la probeta se encuentren al mismo nivel.

4. Se ajusta a distancia entre el perno del punzón y el perno del soporte a 10 cm como se muestra en la figura 6, se hace lo mismo para el soporte del otro lado y se aprietan las perillas para evitar que los soportes se muevan.



Figura 6. Ajuste de la distancia entre pernos.

5. Se gira la perilla que se encuentra en la base del gato hidráulico en sentido antihorario y se baja el riel manualmente, una vez abajo el riel, se gira la perilla del gato en sentido horario.

6. Se coloca la probeta de acero sobre los pernos de los soportes.

7. Se acciona el gato hidráulico cuidadosamente hasta que haga contacto con el perno del punzón como se muestra en la figura 7.



Figura 7. Ajuste de la probeta con el perno del punzón.

8. Se coloca el soporte del indicador de carátula apretando la perilla que se encuentra en la parte posterior como se muestra en la figura 7, procurando que la parte horizontal haga contacto con la probeta.

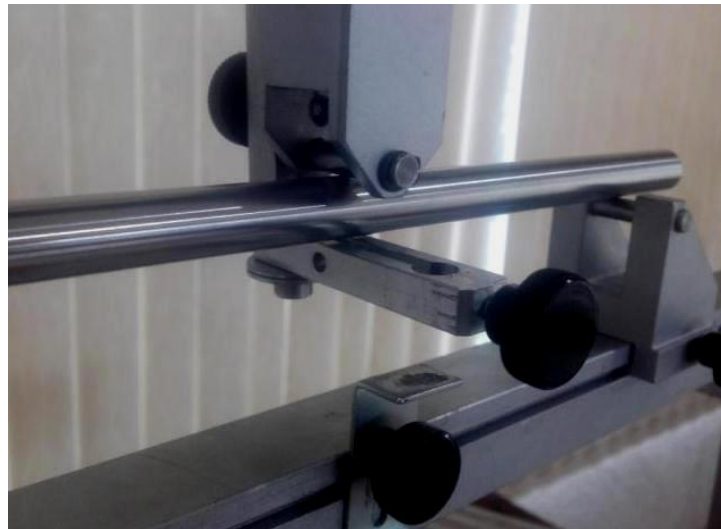


Figura 8. Ajuste del soporte del indicador de carátula con la probeta.

9. Se coloca el indicador de carátula sobre su soporte y se ajusta la palanca inferior para que hagan contacto. Una vez en su posición se aprietan las perillas del indicador para evitar que este se mueva de su lugar y la perilla de la palanca inferior como se muestra en la figura 8. Si es necesario el indicador de carátula se puede ajustar en "cero".

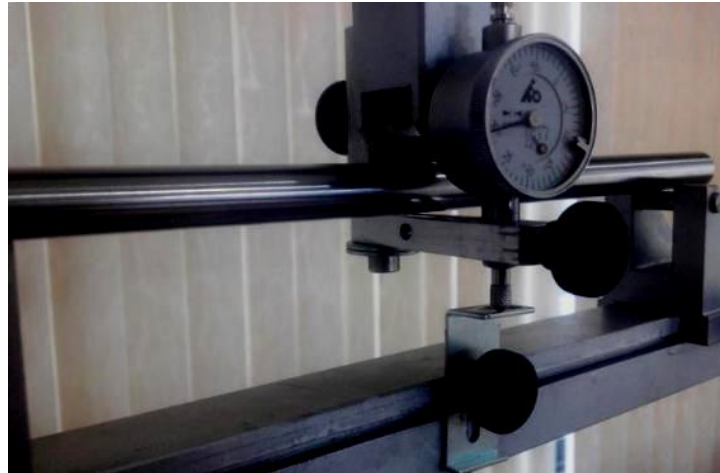


Figura 9. Ajuste del indicador de carátula con la palanca.

10. Por último, se acciona el gato hidráulico cuidadosamente para alcanzar las deformaciones indicadas en la tabla 1 y se registran los datos de flexión. Con los datos de obtenidos se calcula el Módulo de Elasticidad. **Cuide que la presión no exceda de 40 kg/cm²**

Tabla 1. Datos obtenidos

Flexión δ [mm]	Presión [kg/cm²]	Flexión δ [cm]	Fuerza [kg]	Esfuerzo de flexión σ [kg/cm²]	Módulo de Elasticidad E [kg/cm²]
0.2					
0.4					
0.6					
0.8					
1.0					
1.2					

**Para calcular la fuerza que ejerce el gato hidráulico sobre la probeta, se debe tener en cuenta que el diámetro del émbolo del vástago del gato hidráulico es de 2.4 cm, que es el que ejerce la presión que mide el manómetro. Por lo tanto, se despeja la fuerza F de la ecuación siguiente:*

$$P = \frac{F}{A} \dots (7)$$

Así:

$$F = PA = P \frac{\pi d^2}{4} = P \frac{\pi (2.4)^2}{4} \dots (8)$$

11. Se repite el procedimiento para la probeta de aluminio

CUESTIONARIO

1. Trace diagramas de esfuerzo (σ) contra deformación (δ) para ambos materiales
2. Si la resistencia a la fluencia del acero empleado es de 36,000 lb/pulg², ¿cuál debería la carga aplicada y la deformación δ experimentada por la barra?
3. Si se tienen dos probetas, una de acero NOM- 1018 y un acero NOM-4140 con la misma sección transversal y la misma distancia entre apoyos ¿Cuál puede flexionarse más? Justifique tu respuesta
4. Compare el módulo de elasticidad E obtenido para ambos materiales con el que proporciona la bibliografía especializada
5. Si se usara una probeta de aluminio 2014-T4 sección transversal hexagonal de 1/2 plg con una distancia entre apoyos de 20 cm. ¿Cuál sería la flexión máxima que podría soportar sin que se deforme plásticamente? Use valores de tablas.

Práctica 8: RECONOCIMIENTO DE LOS CONSTITUYENTES DEL ACERO AL CARBONO.

OBJETIVOS

1. Distinguir los constituyentes y las fases de los aceros al carbono.
2. Evaluar la dureza, la resistencia y la ductilidad de un acero al carbono de acuerdo a su contenido de ferrita y perlita.

INTRODUCCIÓN

Estrictamente hablando, los aceros al carbono son aleaciones formadas únicamente por hierro y carbono. Sin embargo, en la práctica un acero al carbono contiene un porcentaje muy pequeño de otros elementos, los cuales se pueden considerar que están presentes como impurezas, ya que no es costoso tratar de eliminarlos durante el proceso de obtención del acero. Dentro de estos elementos se pueden mencionar al silicio, manganeso, fósforo y azufre.

En el hierro puro hay tres fases sólidas: alfa (α), gama (γ) y delta (δ). Estas tres fases se conservan para las aleaciones Hierro-Carbono (ver diagrama de fases), en las cuales la fase alfa recibe el nombre de ferrita y la fase gama recibe el nombre de austenita. Se pueden encontrar así mismo los constituyentes perlita (mezcla eutectoide) y cementita (Fe_3C).

Cabe mencionar que las fases anteriores estarán presentes en un acero al carbono, cuando las condiciones de enfriamiento del acero desde el estado líquido se llevan a cabo bajo condiciones de equilibrio.

Dependiendo del contenido de **carbono**, las propiedades mecánicas del acero al carbono varían. Entre las propiedades más importantes se puede mencionar:

- Resistencia a la fluencia o cedencia
- Resistencia máxima a la tensión
- Ductilidad
- Dureza

- Tenacidad
- Módulo de elasticidad

Es importante tener presente que para un acero el contenido de carbono y la dureza guardan una relación estrecha.

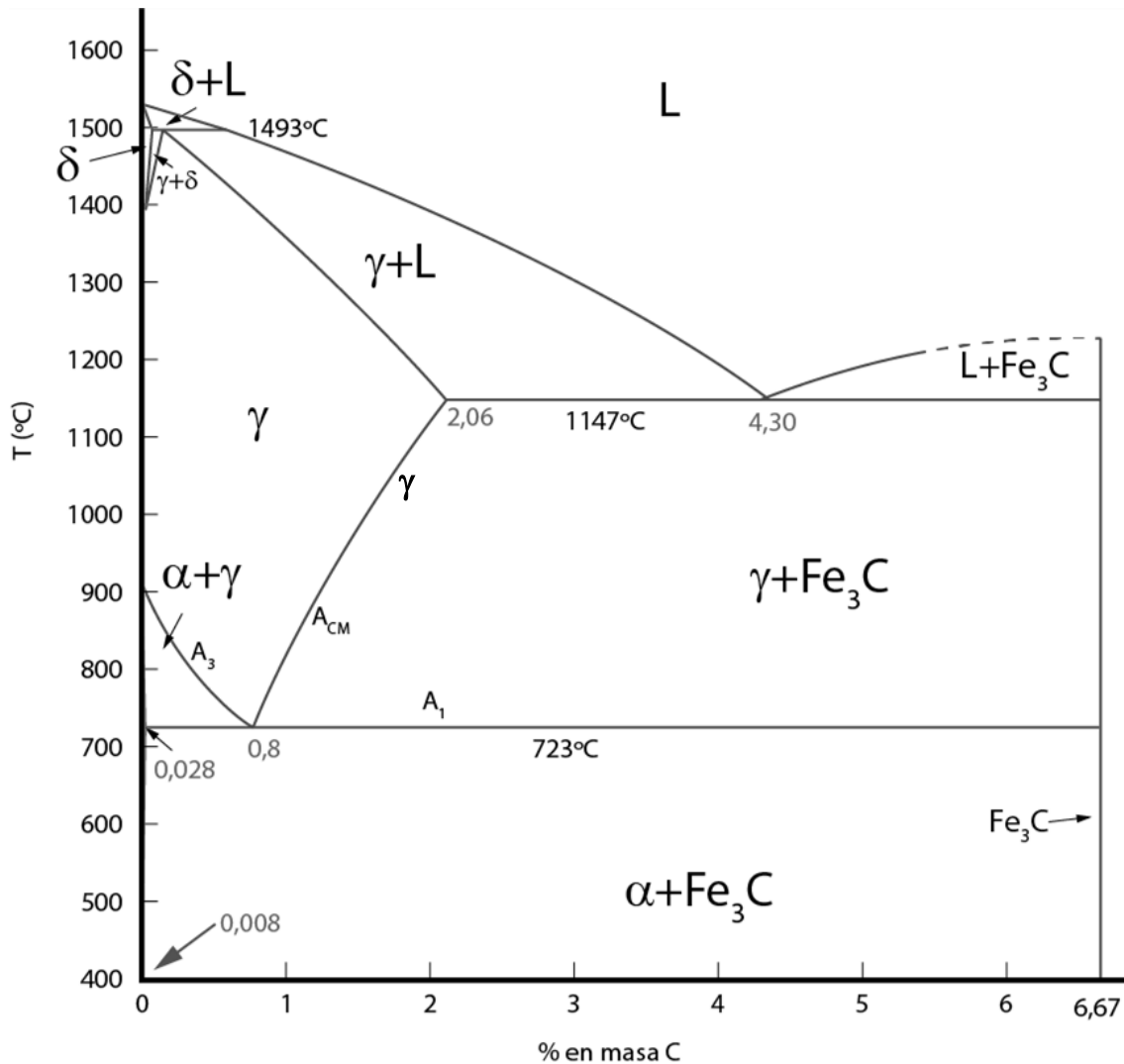


Figura 1. Diagrama de fases Fe-Fe₃C

MATERIAL Y EQUIPO

- Microscopio metalográfico
- Probetas de acero ya preparadas con diferentes contenidos de carbono

INSTRUCCIONES

- *Observar al microscopio e identificar los constituyentes para cada una de las muestras proporcionadas.*
- *Dibujar el campo o estructura observado en ellas.*
- *Con base en las observaciones hechas, determinar aproximadamente la cantidad de carbono y a partir de esto evaluar las propiedades de cada uno de estos aceros.*

CUESTIONARIO

1. *Diga qué porcentaje aproximado de perlita tiene cada una de las muestras determinando la cantidad del área que ocupa en el campo observado.*
2. *Determine la cantidad de carbono (%C) aproximadamente de cada una de las muestras. Para ello haga uso del diagrama Fe-C y de la regla de la palanca.*
3. *¿Qué relación puede obtener usted entre el contenido de carbono (%C) y la dureza a partir de los datos anteriores.*
4. *Diga como varía la ductilidad de un acero con el contenido de carbono (%C).*
5. *Diga como varía la resistencia máxima a la tensión con el contenido de carbono (%C).*
6. *De acuerdo a la pregunta anterior ¿Cuál de las probetas debe ser la más resistente?*
7. *¿Qué es una reacción eutectoide?*
8. *Diga qué cantidad de fase proeutectoide tiene cada una de las muestras.*
9. *El hierro es alotrópico. ¿Qué significa esto?*
10. *Explicar qué es un acero 41xx, de acuerdo con las normas SAE-AISI.*

Práctica 9: RECONOCIMIENTO DE LOS MICROCONSTITUYENTES DE LAS FUNDICIONES DE HIERRO.

OBJETIVO

El alumno identificará los constituyentes principales de los diferentes tipos de hierro fundido.

INTRODUCCIÓN

La industria de la producción de hierro fundido es una de las principales a nivel internacional. Anualmente son producidas piezas que son ensambladas y empleadas como componentes de equipos y maquinarias. La producción de hierro fundido es el triple al resto de las producciones de metales ferrosos y no ferrosos juntos, superado solo por la producción de acero laminado según datos obtenidos.

Los hierros fundidos, como los aceros, son básicamente aleaciones de hierro y carbono.

Con relación al diagrama Fe-Fe₃C (figura 1), los hierros fundidos contienen más carbono que el necesario para saturar la austenita a la temperatura eutéctica, por tanto, contienen entre 2 y 6.7 %de carbono. Como el alto contenido de este elemento tiende a hacer muy frágil al hierro fundido, la mayoría de los tipos manufacturados están en el intervalo de 2.5 a 5 % de carbono, además, contienen silicio del 2 al 4%, manganeso hasta 1%, bajo azufre y bajo fósforo

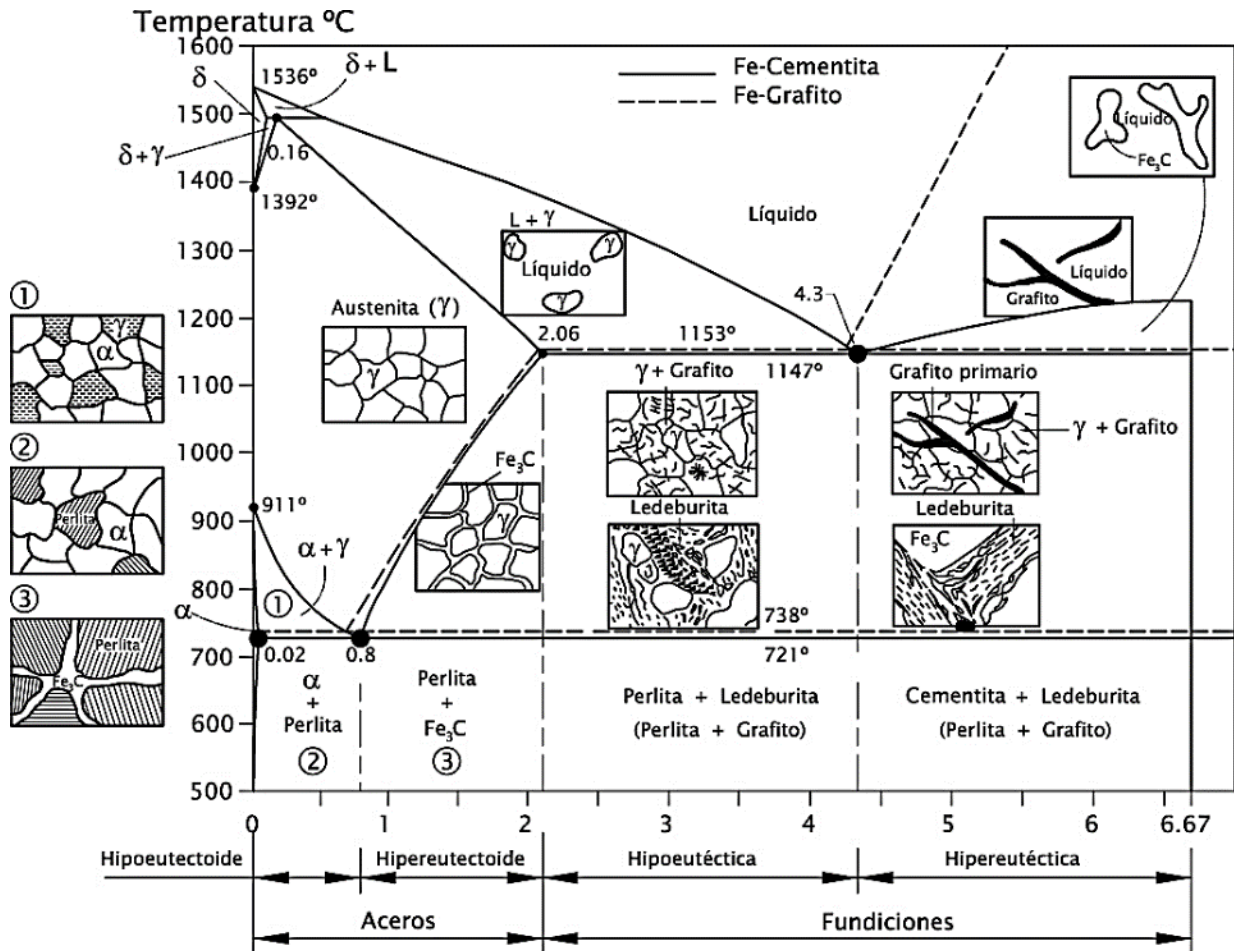


Figura 1. Diagrama de fases

La ductilidad del hierro fundido es muy baja y no puede laminarse, estirarse o trabajarse en frío o en caliente. Se pueden obtener piezas de diferente tamaño y complejidad siendo poco soldables, pero sí maquinables. Siendo relativamente duras y resistentes a la corrosión y al desgaste. Como la fundición de piezas es el único proceso aplicable a estas aleaciones se conocen como hierros fundidos, fundiciones de hierro o, hierros colados.

Aunque los hierros fundidos son frágiles y tienen menores propiedades de resistencia que la mayoría de los aceros, son baratos y pueden fundirse más fácilmente mostrando también las ventajas siguientes:

- Son más fáciles de maquinar que los aceros.
- Se pueden fabricar piezas de diferente tamaño y complejidad.

- *En su fabricación no se necesitan equipos ni hornos muy costosos.*
- *Absorben las vibraciones mecánicas y actúan como autolubricantes.*
- *Son resistentes al choque térmico, a la corrosión y de buena resistencia al desgaste*

Además, mediante una aleación adecuada, buen control de la fundición y un tratamiento térmico adecuado, las propiedades de un hierro fundido pueden modificarse ampliamente. Los significativos progresos desarrollados en el control de la fundición han dado lugar a la producción de grandes tonelajes de hierros fundidos, cuyas propiedades suelen ser muy consistentes.

El mejor método para clasificar el hierro fundido es de acuerdo con su estructura metalográfica, así, las variables a considerar y que dan lugar a los diferentes tipos de hierros fundido son:

- *El contenido de carbono*
- *El contenido de elementos aleantes e impurezas*
- *La rapidez de enfriamiento, durante y después de la solidificación y*
- *El tratamiento térmico posterior*

Estas variables controlan la fundición, o sea la condición del carbono y también su forma física. El carbono puede estar combinado en forma de carburo de hierro (Fe_3C) o existir como carbono libre en forma de grafito. La forma y distribución de las partículas de carbono sin combinar influye en forma determinante sobre las propiedades mecánicas del hierro fundido. Estas aleaciones se clasifican, por lo tanto, según el estado en que se encuentra el carbono en la microestructura, así como por la microestructura de la matriz, siendo los principales tipos los siguientes

a) Hierro fundido blanco. El carbono se encuentra en gran porcentaje, formando una red de Fe ₃ C	+ matriz de acero (ferrita, perlita, martensita, etc)
b) Hierro fundido gris. El carbono se encuentra libre en la matriz, en forma de hojuelas de grafito	
c) Hierro dúctil o nodular. El carbono se encuentra libre en forma de nódulos o esferas	
d) Hierro maleable. El grafito se encuentra en forma de terrones o nódulos informes (carbono recocido)	
e) Hierros fundidos aleados.	

Hierros fundidos blancos

Se les da este nombre por la apariencia que tiene el material fracturarse. Se forma al enfriar rápidamente la fundición de hierro desde el estado líquido, siguiendo el diagrama hierro-cementita metaestable; durante el enfriamiento, la austenita solidifica a partir de la aleación fundida en forma de dendritas. A los 1148 °C el líquido alcanza la composición eutéctica (4.3%C) y se solidifica como un eutéctico de austenita y cementita llamado ledeburita. Este eutéctico aparece en su mayor parte como cementita blanca que rodea las dendritas de forma de helecho.

Hierros fundidos grises

El hierro gris es uno de los materiales ferrosos más empleados es un excelente material para hacer piezas resistentes y fácilmente moldeables, se utiliza en muchas piezas para maquinaria en todas las ramas de la industria, su resistencia y duración es excelente. Su nombre se debe a la apariencia de su superficie al romperse. Esta aleación ferrosa contiene en general más de 2% de carbono y más de 1% de silicio, además de manganeso, fósforo y azufre.

Una característica distintiva de la fundición de hierro gris es que el carbono se encuentra en general como grafito, adoptando formas irregulares descritas como "hojuelas". Este grafito es el que da la coloración gris a las superficies de ruptura de las piezas elaboradas con este material.

Hierros fundidos nodulares

El hierro dúctil o nodular se obtiene mediante la introducción controlada de magnesio o cerio en el hierro fundido, y bajas proporciones de azufre y fósforo.

Se obtiene de este modo una extraordinaria modificación en la microestructura del metal, ya que el carbono se deposita en la matriz ferrítica en forma de esferas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria, en la que el carbono toma la forma de hojuelas.

El resultado de este cambio de estructura, es un aumento sustancial en las propiedades siguientes:

- *Resistencia a la compresión.*
- *Resistencia a la abrasión.*
- *Aptitud al moldeo.*
- *Resistencia a la fatiga.*
- *Maquinabilidad.*

Hierros fundidos maleables

La materia prima para poder producir este tipo de hierro fundido, es el hierro fundido blanco, en donde el carbono se encuentra en forma de carburo (Fe_3C). Aprovechando que el carburo de hierro es una fase metaestable y que su descomposición en $Fe + C$ se ve favorecida por las altas temperaturas se lleva a cabo lo que se conoce como proceso de maleabilización

Las características de estos hierros fundidos se pueden considerar intermedias entre los hierros grises y los hierros fundidos nodulares, siendo los hierros maleables con matriz perlítica los más resistentes, pero un poco menos dúctiles. Poseen buena resistencia al desgaste, al impacto térmico, excelente maquinabilidad y poca capacidad de ser soldados especialmente los de matriz perlítica.

MATERIAL Y EQUIPO

- Probetas de diferentes tipos de hierros fundidos
- Elementos para desbaste y pulido
- Pulidora
- Nital al 2% como reactivo de ataque
- Microscopio metalográfico

PROCEDIMIENTO

1. Desbastar las probetas proporcionadas de manera sucesiva con papeles abrasivos de No. 600 y 1000.
2. Pulir las probetas con ayuda de un paño de lana y alúmina hasta que hayan desaparecido todas las marcas dejadas por los papeles abrasivos.
3. Observar la estructura con ayuda del microscopio metalográfico a 100 y 400X
4. Dibujar o fotografiar las estructuras observadas
5. Atacar las probetas con nital durante 5 segundos
6. Volver a observar al microscopio a 100 y 400X
7. Volver a dibujar o fotografiar las estructuras observadas

CUESTIONARIO

1. ¿A qué se le llama arrabio?
2. ¿Por qué al arrabio a veces también se le da el nombre de fundición blanca?
3. Describa los métodos avanzados de producción de hierro fundido.
4. ¿En qué estado se encuentra el carbono en los diferentes tipos de fundiciones?
5. ¿Cuáles son las diferencias básicas entre los aceros y los hierros fundidos?
6. De qué modo influyen el silicio y el manganeso sobre el estado del carbono en el hierro fundido.
7. Indicar las composiciones típicas de las fundiciones gris y blanca
8. ¿Según las normas ASTM cómo se designan los diferentes tipos de fundiciones?
9. ¿Cómo influyen el magnesio y el cerio en los hierros fundidos nodulares?
10. ¿Por qué son más económicos las fundiciones de hierro?

BIBLIOGRAFÍA

1. *Técnicas de Laboratorio para Pruebas de Materiales*

Keyser, Carl A.

LIMUSA. México. 1986.

2. *Introducción a la Ciencia de Materiales para Ingenieros*

Shackelford, James F.

Pearson. México. 2010.

3. *Ciencia de Materiales para Ingeniería*

Keyser, Carl A.

LIMUSA. México. 1992.

4. *Laboratorio de Ensayos Industriales. Metales*

González Arias, Antonio.

Ed. Nueva Librería. 2008.

5. *Introducción a la Metalurgia Física*

Avner, Sidney H.

Mc. Graw Hill. México. 1990.

6. *Fundamentos de Ingeniería y Ciencia de Materiales*

Askeland, Donald R.

Cengage Learning. México. 2010.

7. *Mecánica de Materiales*

Hibbeler, Russell C.

Pearson. México. 2011.

8. *Mecánica de Materiales*

Fitzgerald, Robert W.

Alfaomega. México. 2009.

9. *Metals Handbook*

American Society for Metals. U.S.A. 10th. Edition.

10. *Manual de Prácticas de Ciencia e Ingeniería de Materiales*

Sánchez V., María Elena.

Just in Time Press. México. 2004.

11. *Metalografía y lo que faltaba.*

Díaz del Castillo, Felipe R.

FES-Cuautitlán. México. 2020.

12. https://www.escuelaing.edu.co/uploads/laboratorios/9026_tension.pdf

*Buzón de quejas,
sugerencias y comentarios*

UNAM / FESC

