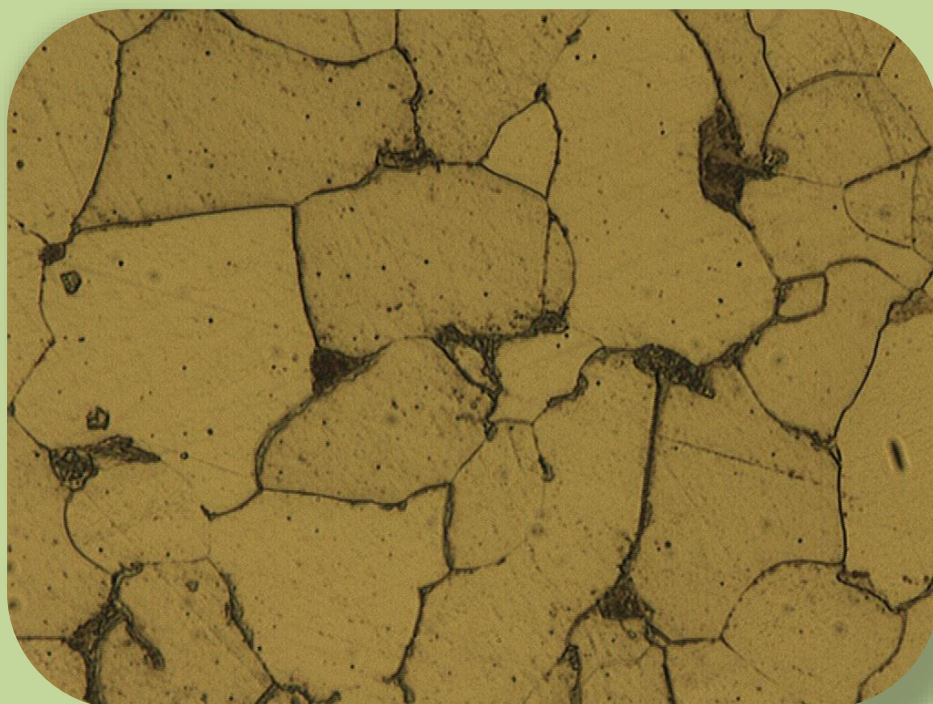


Universidad Nacional Autónoma de
México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán



Laboratorio de Introducción a la
Tecnología de Materiales

Manual de prácticas

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

Ing. Industrial

2024-2

CONTENIDO

CONTENIDO.....	- 1 -
INTRODUCCIÓN.....	- 2 -
REGLAMENTO GENERAL DE LABORATORIOS.....	- 3 -
REGLAMENTO INTERNO	- 5 -
Práctica 1: MICROSCOPIO METALOGRAFICO.....	- 9 -
Práctica 2: PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALOGRAFICAS	- 14 -
Práctica 3: ENSAYO DE TRACCIÓN	- 21 -
Práctica 4: PRUEBA DE TORSIÓN.....	- 29 -
Práctica 5: PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL.....	- 36 -
Práctica 6: PRUEBA DE IMPACTO	- 43 -
Práctica 7: RECONOCIMIENTO DE LOS CONSTITUYENTES DEL ACERO AL CARBONO.....	- 52 -
Práctica 8: TEMPLE DE LOS ACEROS	- 55 -
Práctica 9: REVENIDO DE LOS ACEROS	- 60 -
BIBLIOGRAFÍA	- 63 -

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios que se imparten dentro de la carrera de Ingeniero Industrial 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 Introducción a la Tecnología de Materiales, esperando que permita al alumno un mejor desarrollo de estas 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 Introducción a Tecnología de Materiales

Grupo:

Profesor:

Alumno:

Número y nombre de la práctica

Fecha de realización

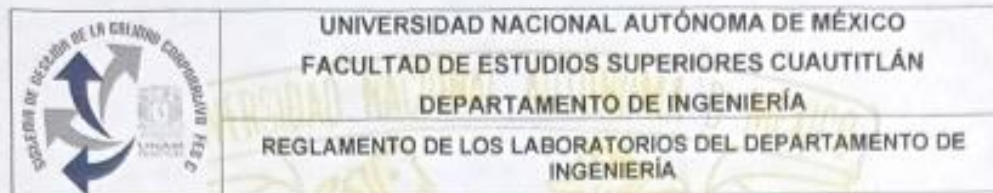
Fecha de entrega

Semestre 24-2

Contenido del reporte

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

REGLAMENTO GENERAL DE LABORATORIOS



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.

Jefe de Sección Eléctrica

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 8.0 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.

DEPARTAMENTO
INGENIERÍA
DE
MATERIALES
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.

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



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN MECÁNICA
LIME II-MATERIALES
REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE
MATERIALES

REGLAMENTO INTERNO

En el presente reglamento se establecen las normatividades y condiciones que deberán seguir los usuarios dentro del Laboratorio de Tecnología de Materiales (LIME-II Materiales) perteneciente al Departamento de Ingeniería de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán (FES-Cuautitlán).

DE LOS DOCENTES Y TRABAJADORES

1. Es responsabilidad del profesor dar a conocer el reglamento del laboratorio en la primera sesión.
2. Se desarrollarán un mínimo de 10 prácticas en un máximo de 12 sesiones durante el semestre en curso (casos excepcionales serán tratados por el jefe de la sección correspondiente).
3. La evaluación total del curso es responsabilidad de cada profesor, tomando como referencia el reglamento general.
4. Por causas de fuerza mayor cuando el docente no pueda asistir a la sesión de laboratorio deberá informar, lo antes posible, al jefe de sección correspondiente.
5. Es responsabilidad de cada profesor el uso, cuidado y resguardo del material: instrumentos, insumos, reactivos y dispositivos, mismos que deberán devolver al almacén, al término de sus sesiones de laboratorio.
6. Al finalizar la jornada laboral, la última persona, ya sea docente o trabajador (a) administrativo(a), será responsable de verificar que luces, cerraduras e interruptores se encuentren en condiciones seguras.
7. Si existe una duda sobre el correcto funcionamiento de algún equipo, instrumento, dispositivo o material favor de acudir con el responsable del laboratorio.
8. Al término de las prácticas hacer entrega de las calificaciones al encargado del laboratorio dentro de las fechas establecidas en el cronograma de actividades.

DEL ALUMNADO

9. Los alumnos podrán inscribirse al laboratorio de la asignatura teórica correspondiente, si sólo si, se encuentra inscrito en la misma.
10. No se permite que los alumnos ingresen a las aulas sin que esté presente el docente responsable.
11. No se permitirá la realización o iniciación de alguna práctica sin la presencia del docente responsable del grupo.
12. Por ninguna causa o circunstancia el alumno podrá poner en funcionamiento o usar cualquier equipo, instrumento, dispositivo o material sin la debida supervisión y autorización del docente responsable.
13. El alumno o grupo de alumnos que no cuenten con el material requerido para la ejecución de la práctica (cuando sea el caso), no se le permitirá realizar la misma ni podrá incorporarse en algún otro grupo.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN MECÁNICA
LIME II-MATERIALES
REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE
MATERIALES

14. Queda estrictamente prohibida la entrada de alumnos al almacén.
15. Si por un mal uso o negligencia, un alumno o un grupo de alumnos dañan o extravían algún material y/o dispositivo utilizado durante su práctica, se tendrá que reponer lo antes posible. Si al finalizar el semestre no se ha cubierto la reposición. Se negará el derecho a la calificación correspondiente y no se le entregará la constancia de no adeudo de material de laboratorio cuando sea requerida.
16. Si los alumnos o alumnas inscritos a un grupo o programa incurrir en faltas a las disposiciones anteriores, pueden ser acreedores a las siguientes sanciones por parte del profesor (a) de laboratorio o asesor (a), según sea el caso y la gravedad:
 - Baja temporal del grupo o programa al que está inscrito.
 - Baja definitiva del grupo o programa al que está inscrito.

DEL USO DE EQUIPOS, INSTRUMENTOS, DISPOSITIVOS Y MATERIALES

17. Para la realización de cualquier actividad es indispensable el uso correcto de batas de laboratorio.
18. Portar el equipo de seguridad necesario para la operación de cada equipo:
 - Para el uso de la cortadora metalográfica, deberán portar lentes de seguridad y bata, el usuario que realizará la operación de corte y el que lo asiste a sostener el material en caso de ser necesario.
 - Reactivos químicos de revelado microestructural, deberán usar lentes de seguridad, pinzas de ataque o guantes de nitrilo o látex.
 - Muflas deberán usar pinzas largas para crisol y guantes de alta temperatura.
19. Antes de usar un equipo, instrumento, dispositivo o material, revisar su estado inicial. Si existiera alguna situación extraordinaria, favor de reportarla al jefe de sección o al responsable del laboratorio.
20. Posterior al uso de los equipos, dispositivos o materiales, regresarlos a su lugar original bajo las condiciones iniciales.
21. El uso de la cortadora metalográfica queda limitado a materiales ferrosos (bajo algunas excepciones) con un diámetro máximo de 3/4" (19 mm) y bajo la supervisión del docente responsable del grupo. En caso en que el disco de corte se haya agotado o se rompa, solicitar al responsable del laboratorio el cambio de este. No poner discos abrasivos fuera de especificación y no cortar materiales sin líquido refrigerante.
22. Las lijas deberán ser seccionadas para garantizar el máximo rendimiento de estas y evitar el desperdicio. Al reverso de cada corte de lija, se pondrá el grado de lija al cual corresponde (en caso de que no sea visible).
23. Las lijas usadas deberán ser depositadas en el contenedor designado para esta acción. Bajo ningún motivo se podrá dejar lijas usadas en las mesas, ni en las desbastadoras.
24. Tomar acciones pertinentes para asegurar el uso óptimo de la suspensión de alúmina. Regresar los dosificadores al almacén al concluir la práctica.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN MECÁNICA
LIME II-MATERIALES
REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE
MATERIALES

25. Supervisar a los alumnos durante las operaciones de pulido o en su defecto no emplear más de 400 rpm durante esta operación.
26. Apagar la fuente luminosa de los microscopios metalográficos, cuando no se esté observando o enfocando alguna muestra.
27. Queda estrictamente prohibido la preparación de reactivos dentro del almacén. Para esta acción se deberán emplear las campanas de extracción ubicadas en el aula de “plásticos y cerámicos”.
28. Los residuos químicos generados deberán ser vertidos en el drenaje después de ser neutralizados o tratados adecuadamente para tal acción.
29. Los reactivos que deseen resguardarse deberán ser etiquetados y almacenados de acuerdo con los procedimientos establecidos dentro del laboratorio.
30. Al usar las muflas de alta temperatura, no dejarlas abiertas por periodos prolongados cuando esté a temperaturas mayores a 200°C. Abrir y cerrar la puerta de estas lo más rápido posible.
31. No dejar muestras dentro de las muflas por más de 24 h.
32. Usar de forma adecuada las balanzas analíticas, no exceder el peso recomendado por la ficha técnica del equipo y no golpear la platina de pesaje.

GENERAL

33. Se le prohibirá el acceso a cualquier persona que se presente en estado inconveniente, bajo los efectos del alcohol o de sustancias psicotrópicas y de ser necesario, se hará la notificación correspondiente al departamento de vigilancia.
34. Se prohíbe ingerir alimentos dentro de las aulas.
35. Se prohíbe fumar dentro del laboratorio.
36. Cualquier usuario que haga uso del laboratorio deberá conocer lo siguiente:
 - Acciones ante incendios y sismos.
 - Zonas de seguridad.
 - Rutas de evacuación.
 - Ubicación de extintores.
 - Señalización.
 - Ubicación de los botiquines de primeros auxilios.
 - Lineamientos emitidos por las autoridades de la FESC ante una situación adversa.
37. Deberán cumplirse y respetarse las indicaciones y señalamientos de seguridad de cada equipo, material, instrumento o reactivo.
38. Si el alumno infringe alguna de las disposiciones de este reglamento. Se hará responsable de los daños que pueda ocasionar tanto a instrumentos, equipos, dispositivos, material y/o personas. Turnándose el caso a las instancias correspondientes, liberando de toda responsabilidad al profesor.
39. El Laboratorio de Tecnología de Materiales (LIME-II), no se hace responsable por faltas en que pueda incurrir el alumno dentro del laboratorio por omisión y desconocimiento del reglamento interno.



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLÁN
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA
SECCIÓN MECÁNICA
LIME II-MATERIALES
REGLAMENTO INTERNO DEL LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE
MATERIALES**

40. Las calificaciones del curso de laboratorio tendrán una vigencia única y exclusiva del semestre en turno.
41. Los casos no previstos en el presente reglamento serán resueltos por el jefe de sección y/o jefe del departamento.
42. El presente reglamento deberá permanecer visible en todas y cada una de las aulas donde se imparten prácticas de laboratorio.

Práctica 1: MICROSCOPIO METALOGRÁFICO

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.

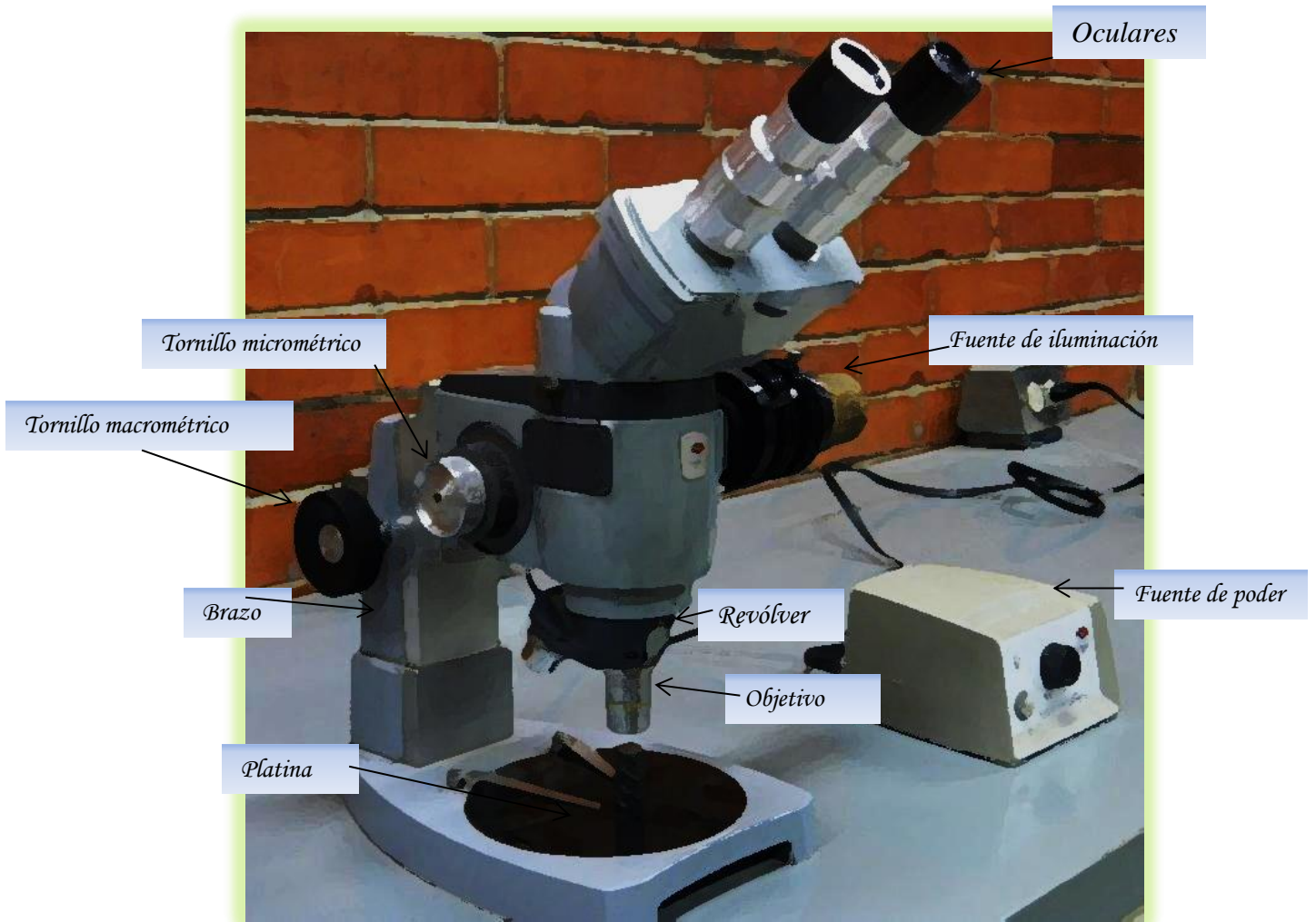


Figura 2. Microscopio vertical con fuente externa

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

g_1 = 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 2: 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 coloca 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.

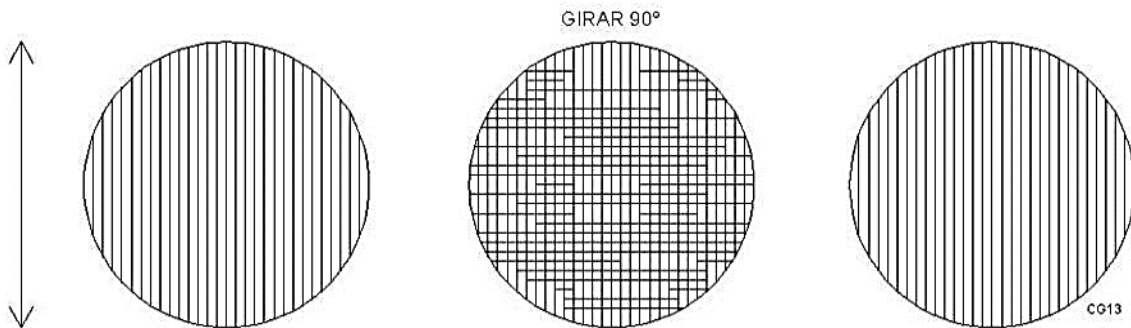


Figura 2. Desbaste a 90° en diferentes pasos.

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 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 cristizador. 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 ampliificaciones 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.

rg

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 3: ENSAYO DE TRACCIÓN

OBJETIVO

1. Realizar el ensayo de tracción en un material de ingeniería.
2. Identificar las principales características y particularidades de este ensayo destructivo.
3. Obtener las principales propiedades mecánicas en tracción del material ensayado.

INTRODUCCIÓN

El ensayo de tracción es uno de los más útiles en la obtención de propiedades mecánicas importantes de los materiales de ingeniería. Los detalles del procedimiento de la prueba varían de acuerdo con los diferentes tipos de material; sin embargo, en un ensayo de tracción ordinario, aun cuando se trate de distintas clases de materiales el procedimiento se efectúa a temperatura ambiente o próxima a ésta y la carga de tracción se aplica lentamente. También, hay pruebas a otras temperaturas y a niveles muy elevados de carga, así como con cargas estáticas que se aplican durante largo tiempo; pero ninguna de estas se considera como un ensayo de tracción ordinario. Para esta práctica se ensayarán específicamente materiales metálicos a temperatura ambiente bajo tensión uniaxial de acuerdo con la Norma Internacional ISO 6892-1:2009 o su equivalente ASTM E8.

En la figura 1 se esquematiza un espécimen o probeta cilíndrica típica para un ensayo de tracción. Los extremos de esta probeta, que se sujeta con mordazas aserradas, tienen un acabado liso; para otros tipos de mordazas se usan probetas con un borde o rosca en los extremos. La probeta debe maquinarse simétricamente a lo largo de su eje longitudinal, para que la carga (externa aplicada) esté distribuida uniformemente en el área transversal desarrollando así los esfuerzos normales característicos de esta prueba; evitando el desarrollo de componentes cortantes, las cuales podrían ser motivo de invalidación de la prueba.

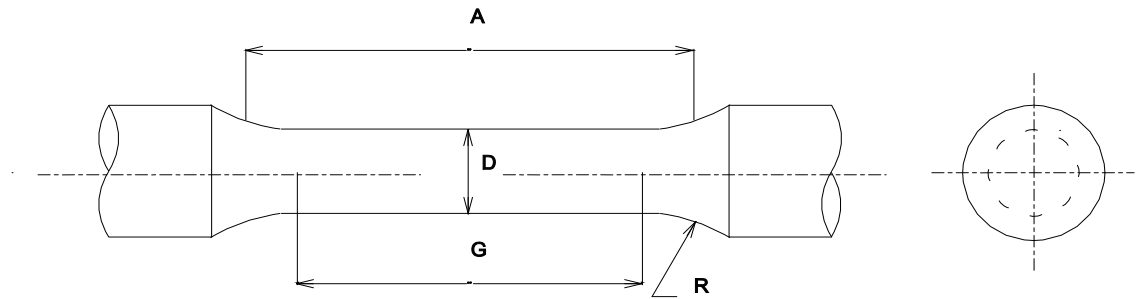
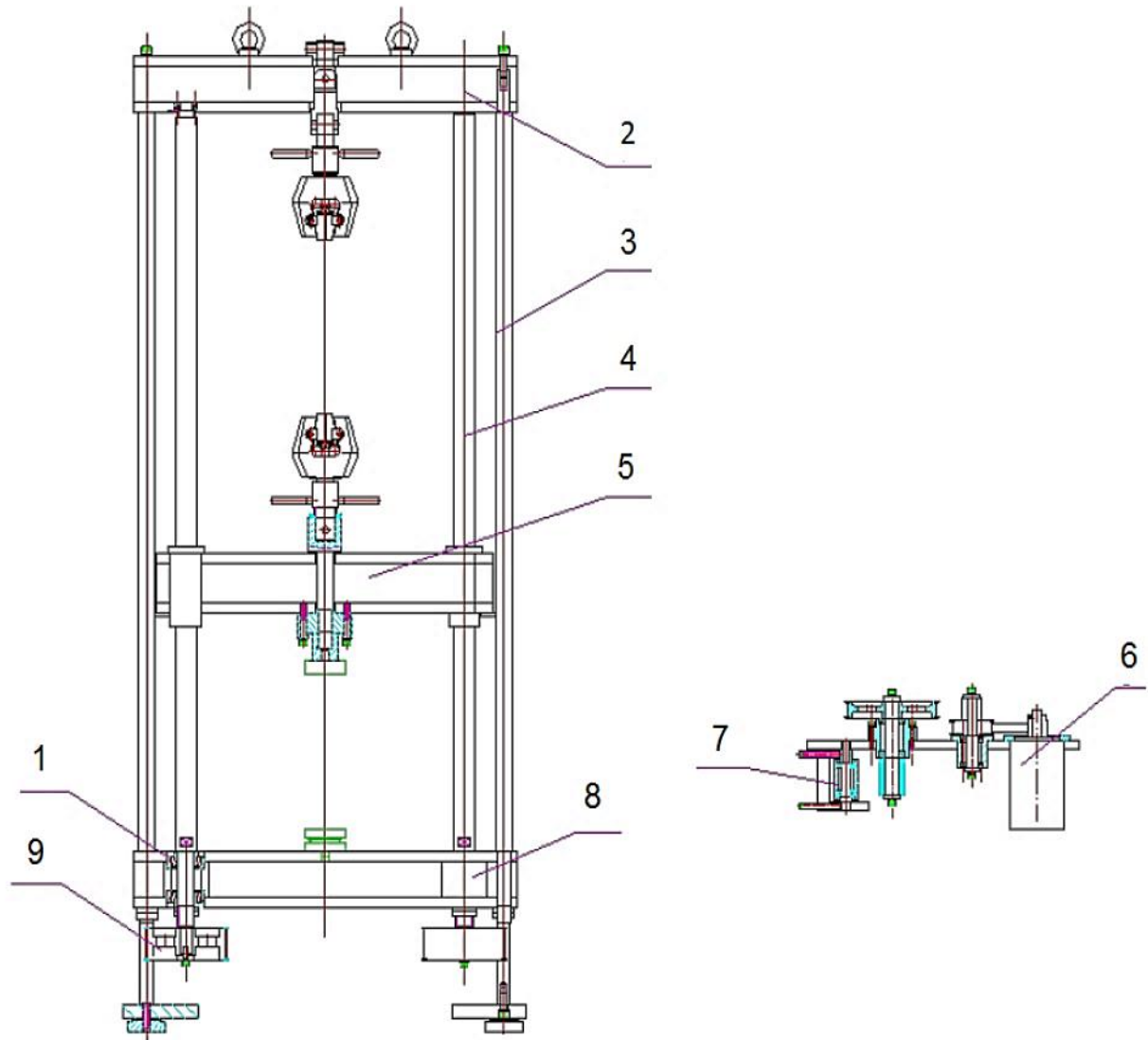


Figura 1. Esquemática de probeta cilíndrica normalizada para ensayo de tracción.

Las cargas se aplican mecánica o hidráulicamente en los dos tipos de maquinaria de pruebas existentes. El método mecánico de aplicar cargas tiene la ventaja de proporcionar un medio conveniente para controlar la rapidez de deformación, aunque por lo general se prefiere usar los sistemas hidráulicos, debido a sus capacidades mayores y su bajo costo.

En la actualidad existen muchas marcas y variantes de máquinas universales para ensayos de tracción. El laboratorio cuenta con una máquina universal de ensayos electromecánica operada por computadora, con capacidad de carga de 100 kN (10,000 kg), la cual se muestra esquemáticamente en la figura 2.

Las probetas de ensayo cuya longitud inicial se relaciona con el área inicial de la sección transversal $L_0 = \sqrt{A_0 K}$ son llamadas Probetas proporcionales. El valor adoptado internacionalmente para K es 5.65. La longitud calibrada inicial no puede ser menor a 20 mm. Cuando el área transversal de la probeta es demasiado pequeña es necesario un valor de K más alto, de 11.3.

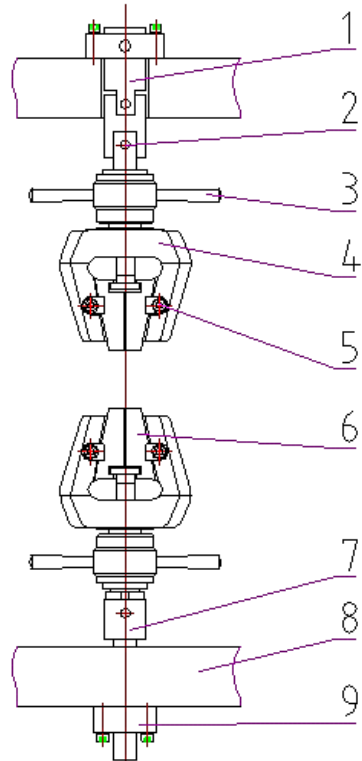


1. Rodamiento 2. Mecanismo de transmisión 3. Motor 4. Mecanismo tensor 5. Mesa de trabajo 6. Cabezal móvil 7. Tornillo de bolas 8. Columna 9. Cabezal superior

Figura 2. Esquematización de la amquina universal de ensayos FMCC-100, bastidor y sistema de transmisión.

2. Sistema de sujeción de las probetas

En la figura 3 se muestran algunas partes esenciales de la máquina universal de ensayos mecánicos.



- | | | |
|-------------------------|--------------------|-----------------------------|
| 1. Cabezal superior | 2. Junta Universal | 3. Manubrio apretar/aflojar |
| 4. Cuerpo de la mordaza | 5. Placa opresión | 6. Inserto mordaza |
| 7. Brida inferior | 8. Cabezal móvil | 9. Celda de carga |

Figura 3. Sistemas y partes esenciales de la máquina universal de ensayos.

PROCEDIMIENTO

1. Utilizando un calibrador dimensionar la probeta proporcionada, obteniendo el diámetro promedio de la zona de ensayo (**D**), la longitud total y longitud calibrada (**G**) de acuerdo con la figura 1.
2. Marcar con un plumon fino o un lapicero la longitud calibrada (**G**) dentro de la zona de ensayo o zona de entalle. La cual debe ser al menos cuatro veces el diámetro (**D**). No se debe rayar profundamente o penetrar la probeta, ya que se generaran concentradores de esfuerzo que alterarán los resultados.

3. Colocar la probeta en la mordaza inferior de la máquina, de tal forma que toda la sección de sujeción (diámetro mayor) este dentro de la mordaza, dejando la zona de constricción libre. Posteriormente cerrar la mordaza para fijar el espécimen de prueba. Con ayuda del profesor o el personal encargado de la máquina desplazar el cabezal móvil hacia arriba hasta que la otra sección de sujeción entre en la mordaza superior. Se debe guiar la probeta para que no impacte con la mordaza, ya que esto podría deformar permanentemente o romper la probeta y por consiguiente invalidar el ensayo. Por último cerrar la mordaza superior para fijar completamente la probeta.



Figura 4. Probeta colocada en las mordazas.

4. Se calculará el diámetro promedio (D_0) y la longitud calibrada (G_0) que son los dos parámetros a ingresar en el software de la máquina.
5. El personal académico responsable de la máquina ingresará los datos iniciales y creará el archivo de la prueba, el cual coincidirá con el número de grupo que este realizando el ensayo.
6. Dar inicio a la prueba.
7. Una vez iniciado el ensayo se puede visualizar el diagrama esfuerzo deformación(%) en tiempo real, figura 5.
8. Al generarse la ruptura del espécimen, se detendrá la máquina.
9. Retirar los pedazos de la probeta fracturada y proceder con las mediciones finales: reducción del diámetro (D_f) para poder calcular el área final (A_f) y la longitud final (G_f). Ambos valores deben ser ingresados a la tabla de resultados.

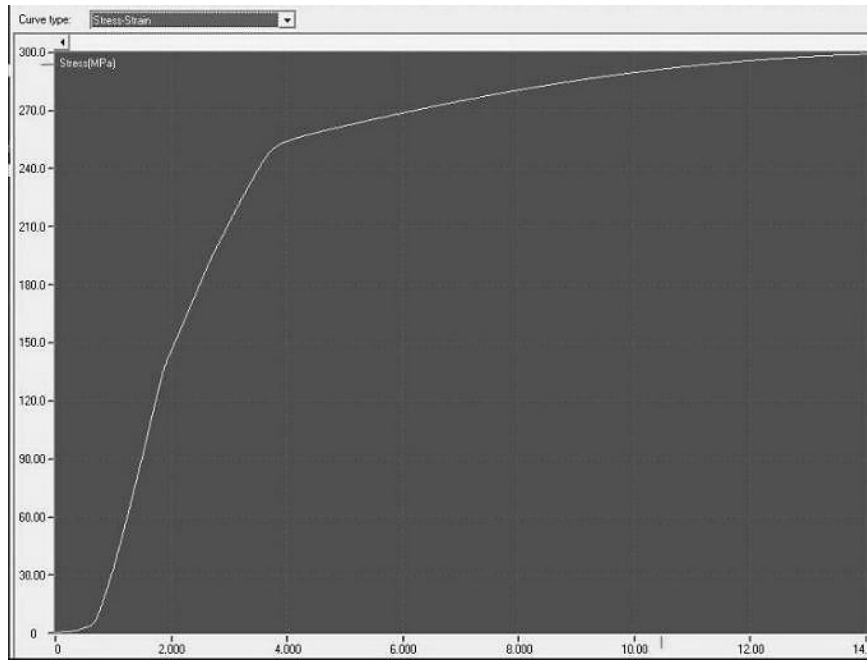


Figura 5. Diagrama esfuerzo-deformación(%) en tiempo real.

10. Esperar para visualizar el diagrama esfuerzo vs deformación [%] final obtenido del material ensayado como el que se Figura 6.

11. Tomar fotografía del código QR de la liga para poder buscar y descargar el archivo con los datos para la construcción de su propio diagrama esfuerzo-deformación.

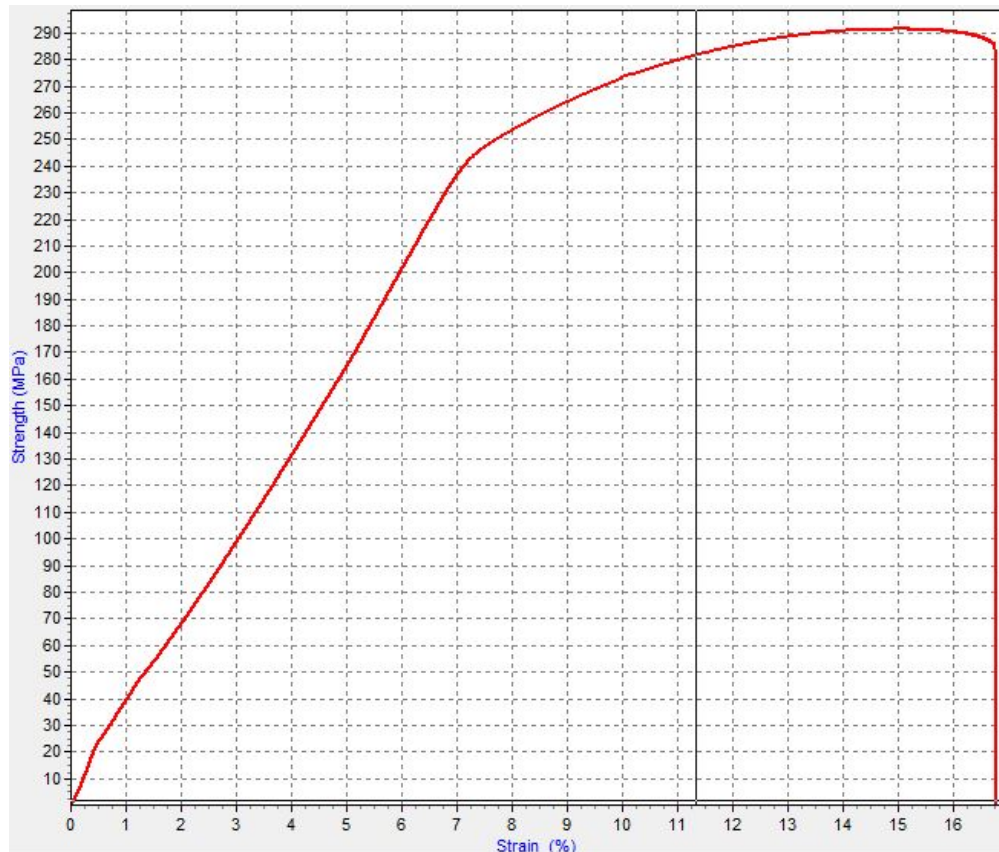


Figura 6. Diagrama esfuerzo-deformación(%) final.

CUESTIONARIO

1. Con ayuda del diagrama esfuerzo-deformación de ingeniería obtenido, muestre las propiedades tensiles que se pueden obtener a partir del mismo.
2. Calcule el porcentaje de elongación y el porcentaje de reducción de área de la probeta.
3. ¿Qué tipo de fractura se observa en la probeta ya fracturada y por qué?

4. *¿Cuál es la diferencia entre defomación elástica y deformación plástica?*
5. *¿Qué se entiende por ductilidad y maleabilidad?*
6. *Defina la Ley de Hooke.*
7. *¿Qué importancia tiene la resistencia a la fluencia o a la cedencia en las actiivdades de diseño mecánico?*
8. *Desde el punto de vista de la ingeniería, ¿qué define el módulo de elasticidad (de Young) de un material?*
9. *Fisicamente en la probeta. ¿Qué implica que el contador de carga llegue a un valor máximo y este valor se quede estático?*
10. *¿ En qué casos se tiene que medir el esfuerzo de cedencia convencional al 0.2% de deformación? y ¿cómo se obtiene?*

Práctica 4: 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.

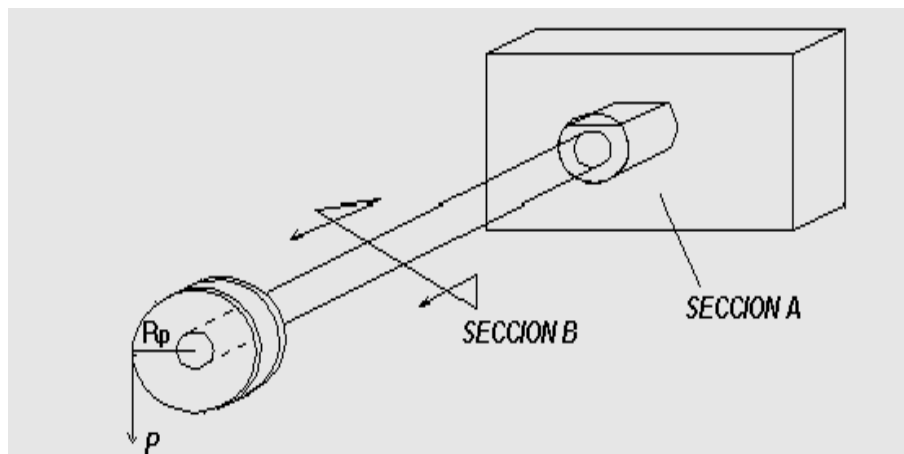


Figura 1. Barra sometida a torsión.

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 $AA' = L\gamma = r_b\theta$ En donde:

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

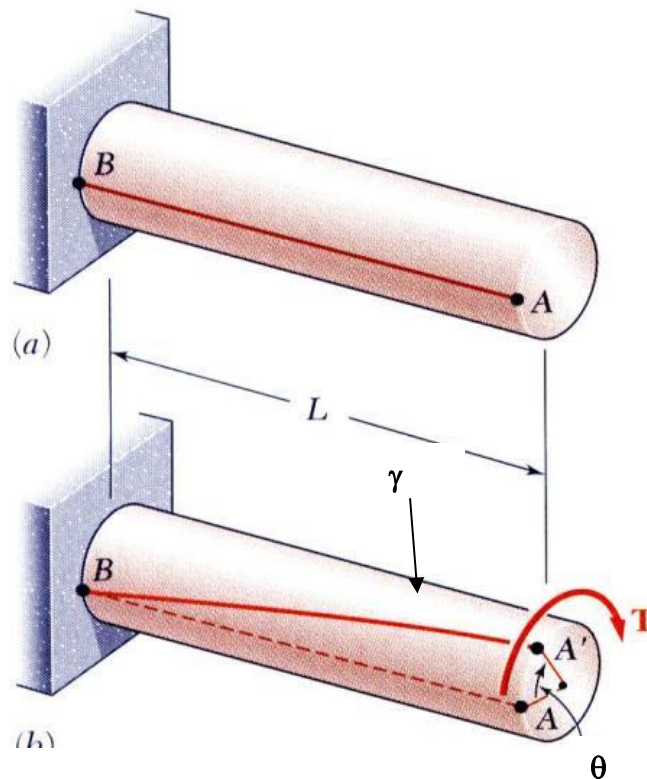


Figura 2. Condiciones de prueba

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:

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

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.

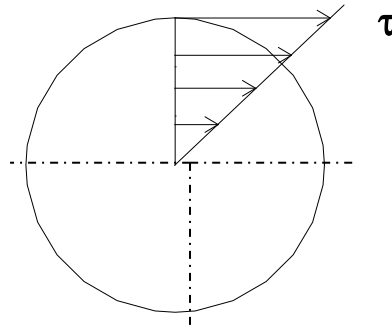


Figura 3. Variación del esfuerzo cortante a través de una sección circular.

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

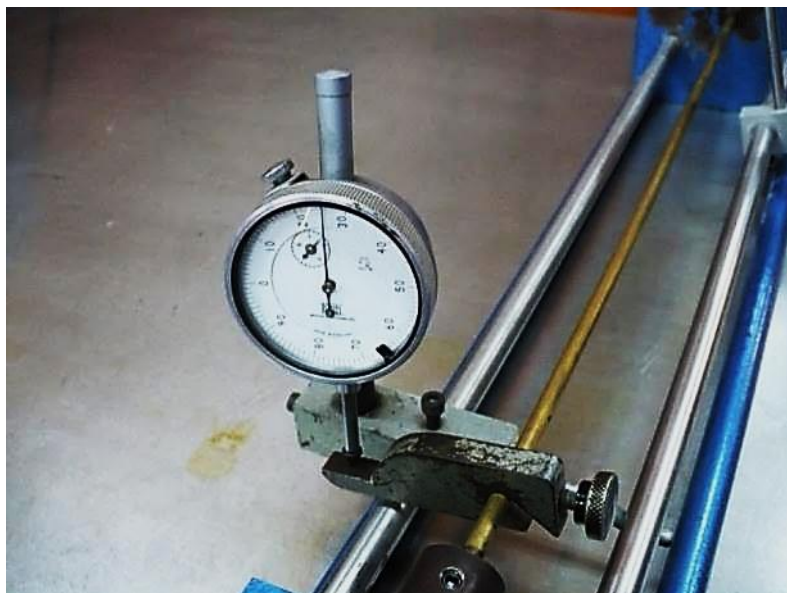


Figura 5. Medidor de carátula

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.

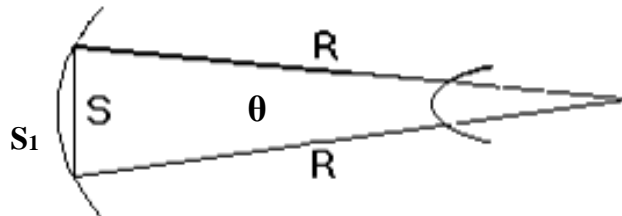


Figura 6

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.

Práctica 5: 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.

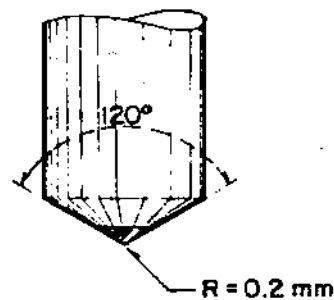


Figura 1. Penetrador cónico de diamante (Brale)

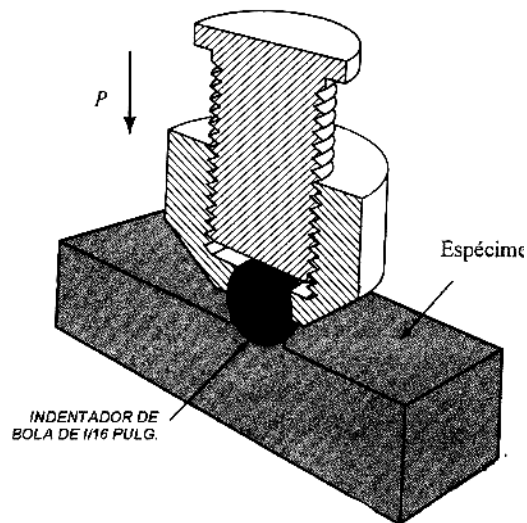


Figura 2. Penetrador de bola de 1/16 de plg

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 6: 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 construidos 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.

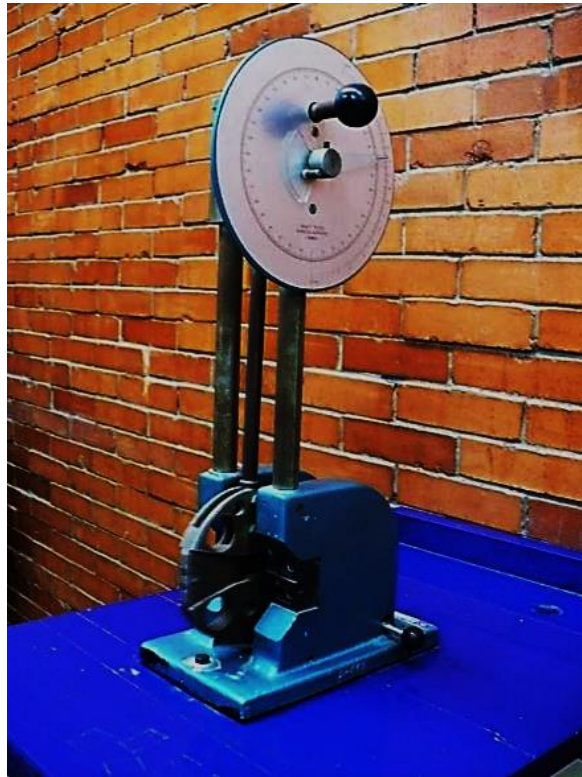


Figura 1. Máquina de impacto Charpy

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.

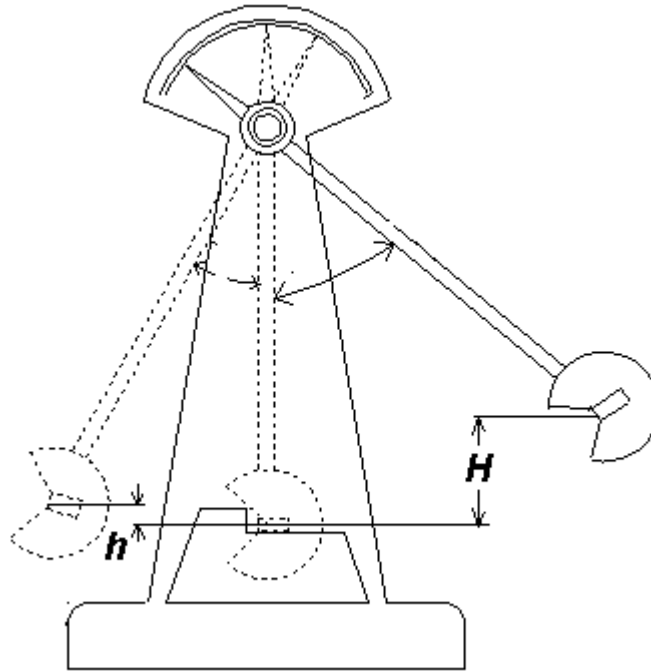
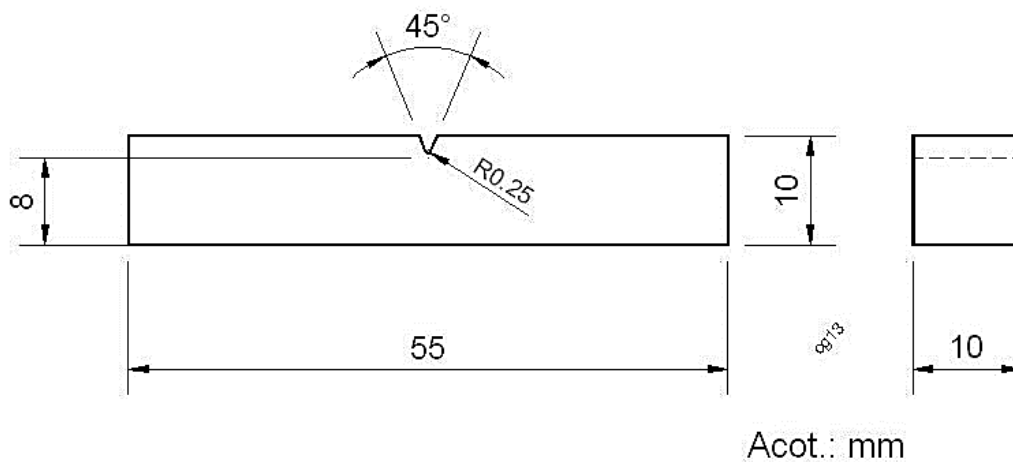


Figura 2. Máquina de péndulo típica para prueba de Charpy

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

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.

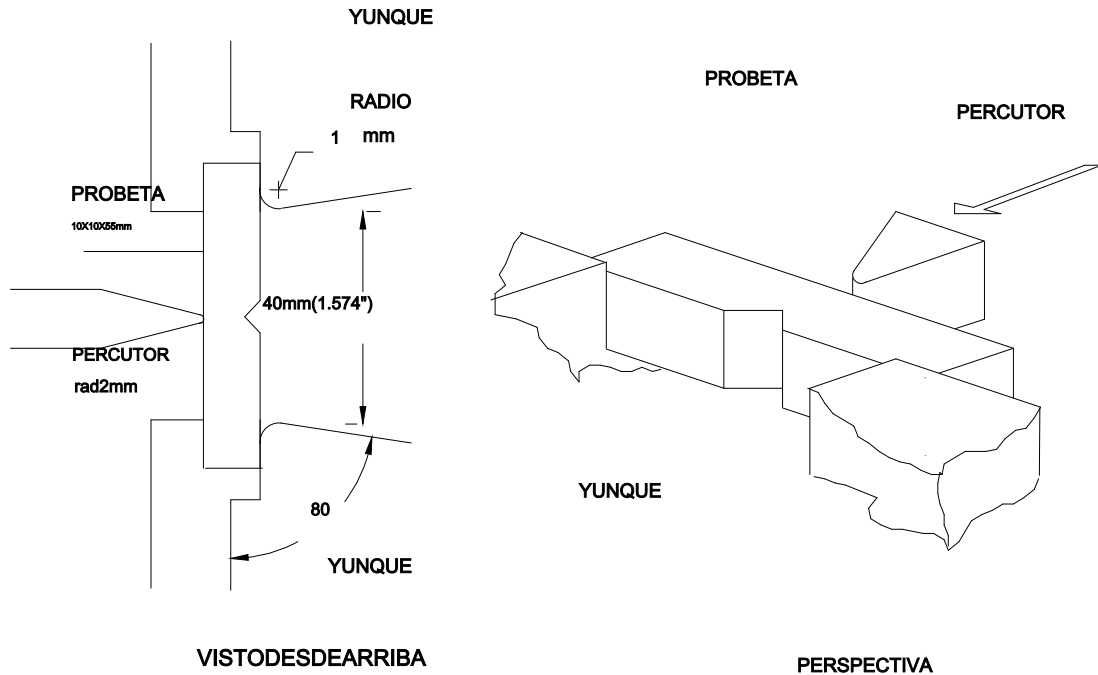


Figura 4. Colocación de la probeta

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 7: 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.

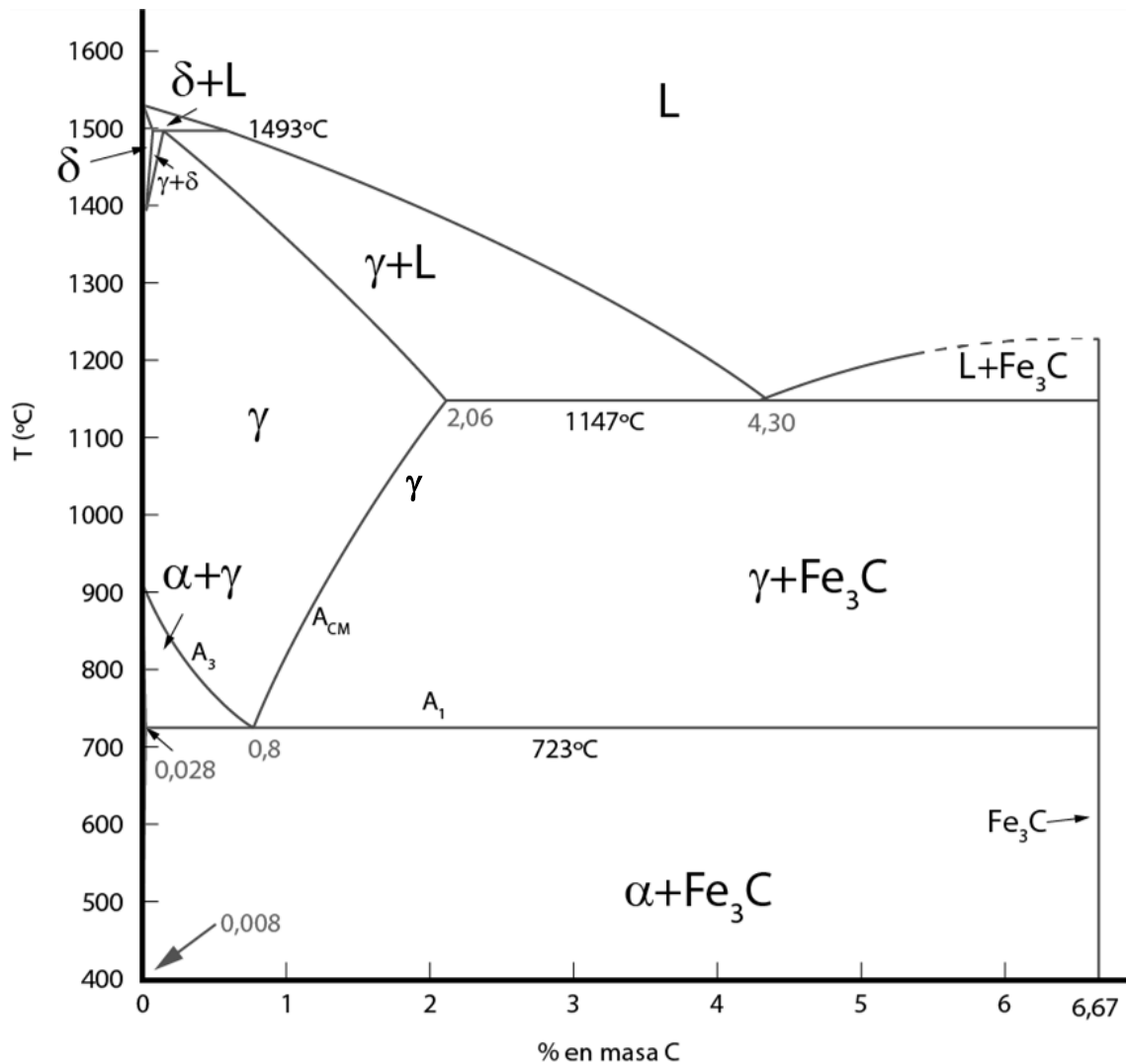


Figura 1. Diagrama de fases Fe-Fe₃C

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 8: TEMPLE DE LOS ACEROS

OBJETIVO

Comprobar el efecto del contenido de carbono y del medio de enfriamiento en la dureza obtenida en un acero sometido al tratamiento de temple (templado).

INTRODUCCIÓN

El tratamiento térmico de temple o templado consiste en calentar el acero a una temperatura predeterminada; mantener esta temperatura hasta que el calor haya penetrado hasta el corazón de la pieza y enfriar bruscamente en el medio correspondiente según el tipo de acero.

La temperatura de temple para los aceros de diferente contenido de carbono y elementos aleantes está determinada por la posición de las líneas A_1 y A_3 .

Para los aceros al carbono la temperatura de temple puede determinarse por el diagrama Hierro-Carburo de hierro. Por lo general para el acero hipoeutectoide debe ser 30-50 °C más alta que A_{C3} y para el hipereutectoide, 30-50° C más alto que A_{C1} .

El calentamiento de temple se realiza en hornos de acción periódica y continua, generalmente en hornos eléctricos o que funcionan a base de combustible gaseoso o líquido. Se emplean ampliamente los hornos de baño, en los cuales la pieza se calienta en sales fundidas.

Es deseable que el medio de enfriamiento para el temple enfríe con rapidez en la zona de temperaturas donde la austenita (fase γ) tiene poca estabilidad (600-500°C) y con lentitud en la zona de temperaturas de la transformación martensítica (300-200°C) para que no se originen esfuerzos muy elevados que puedan deformar o agrietar el material.

Para templar las piezas hechas de acero al carbono, con alta velocidad crítica de temple, se utiliza corrientemente el agua; aunque otro medio de enfriamiento muy común es el aceite. Los mejores resultados se obtienen templando en baños de

sales, los cuales tienen muchas ventajas sobre los medios de enfriamiento ya citados.

Cuando la composición del acero se desconoce, será necesaria una experimentación para determinar el rango de temperaturas de temple. El procedimiento a seguir es templar un determinado número de muestras del acero a diferentes temperaturas y medios de temple y observar los resultados mediante pruebas de dureza o al microscopio. La temperatura y medio de temple adecuados serán los que den como resultado el mayor aumento en la dureza y en otras propiedades sin ocasionar fracturas o deformaciones.

En el temple cambia la estructura del acero al carbono, ferrita y perlita, a martensita.

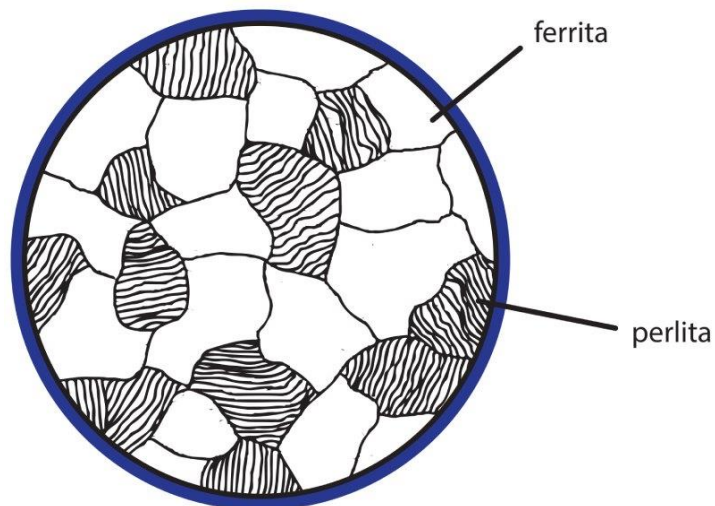


Figura 1. Microestructura del acero al carbono

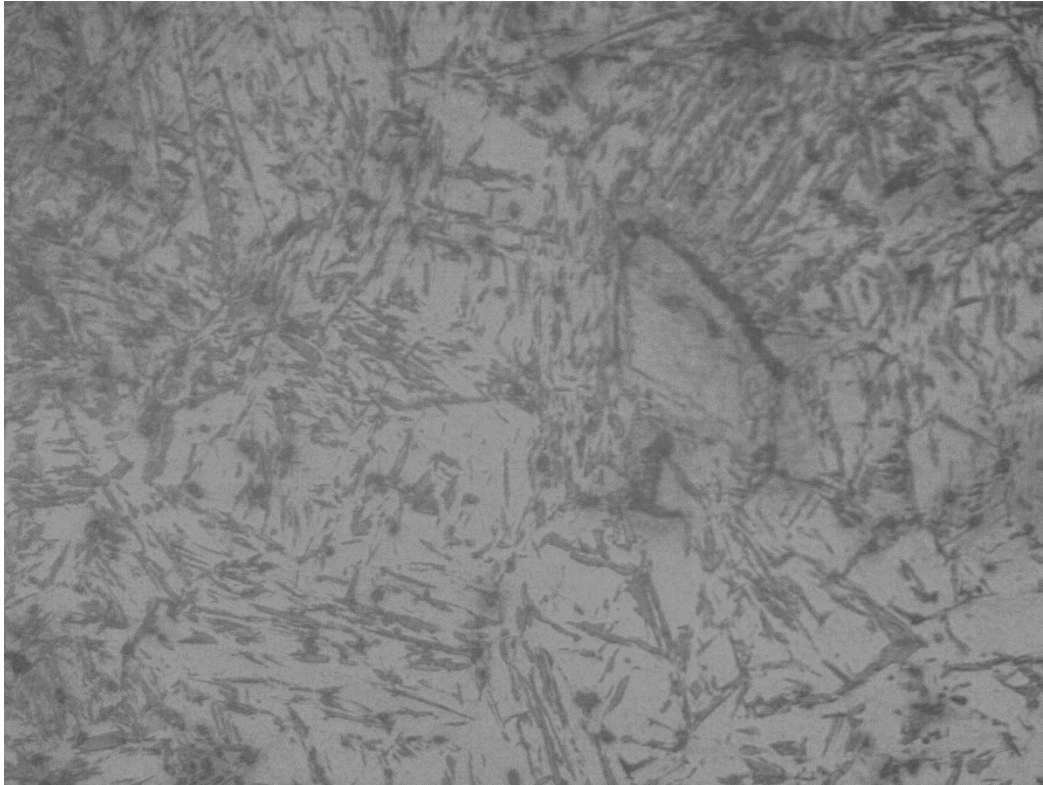


Figura 2. Martensita de un acero 1045 templado en agua, 400x Ataque químico con nital al 2%.

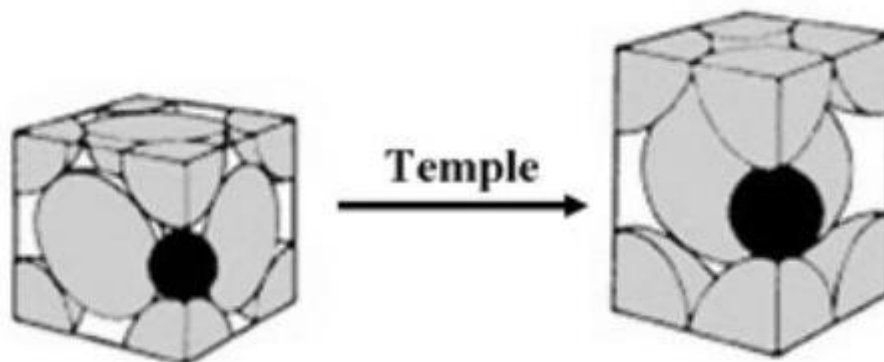


Figura 3. La celda cúbica de la austenita y la celda tetragonal de la martensita

MATERIAL Y EQUIPO

- Barra de acero NOM-1045 o NOM-1060
- Mufla (horno)
- Recipiente para contener los medios de temple.
- Durómetro.
- Pinzas de sujeción.
- Guantes de asbesto.
- Agua y aceite mineral.

PROCEDIMIENTO

1. Corte 3 probetas de acero NOM-1045 o de cualquier acero con más de 0.35% de carbono con una longitud aproximada de 2 cm.
2. Caliente dos probetas en la mufla a una temperatura comprendida entre 840 y 870°C durante 20 minutos.
3. Mida la dureza de la probeta restante.
4. Cuando las probetas estén listas para el temple, tome una de las probetas de acero con las pinzas e introdúzcala rápidamente en el recipiente con agua, agitando en forma de "ocho" dentro del medio de temple durante unos pocos minutos hasta que se enfríe. Haga lo mismo con la otra probeta, pero utilizando aceite como medio de temple
5. Practique la prueba de dureza a las probetas templadas. Estas probetas se utilizarán en la práctica de revenido.

CUESTIONARIO

1. *¿Qué es un tratamiento térmico?*
2. *¿Qué es el temple y cuál es su objetivo?*
3. *¿Cuáles son los medios de enfriamiento que se emplean en el temple, y de qué factores depende la elección de éstos?*
4. *Haga una tabla con los resultados obtenidos*
5. *Para la mayoría de los propósitos donde el acero al carbono debe ser endurecido. ¿Cuál es el rango de contenido de carbono que es utilizado? ¿Por qué?*
6. *En el templado ¿Qué determina la máxima dureza que puede obtenerse en una pieza de acero?*
7. *¿Por qué no debe calentarse el acero demasiado arriba de su temperatura crítica superior antes de ser enfriado?*
8. *¿Qué es la velocidad crítica de enfriamiento?*
9. *¿Para qué se adicionan elementos aleantes a los aceros?*
10. *¿A qué se deben los cambios dimensionales ocasionados al temprar aceros?*

Práctica 9: REVENIDO DE LOS ACEROS

OBJETIVOS

- 1. Conocer las etapas que se siguen para efectuar un tratamiento térmico de revenido.*
- 2. Comprobar los efectos y conocer las ventajas de practicar un revenido a los aceros, después de que fueron tratados por medio de un temple.*

INTRODUCCIÓN

Se sabe que el tratamiento térmico de temple confiere al acero una alta dureza y resistencia mecánica, sin embargo, otras propiedades como la tenacidad y ductilidad se ven seriamente afectadas, por lo que su aplicación dependerá principalmente de poder conseguir un aumento en la tenacidad y en la ductilidad, sin perder por ello la dureza adquirida.

Este compromiso entre las propiedades antes mencionadas puede lograrse con la aplicación de un tratamiento térmico, posterior al temple, conocido como revenido que consta esencialmente de las etapas siguientes:

- 1. Calentamiento del acero por debajo de la temperatura de transformación.*
- 2. Mantenimiento a esta temperatura por un tiempo determinado.*
- 3. Enfriamiento del metal a la velocidad más adecuada.*

Los efectos principales del tratamiento térmico de revenido son:

- a) Estabilización y afine de la microestructura.*
- b) Eliminación de las tensiones internas del metal, ocasionadas por el temple.*

Esto trae como consecuencia que el acero adquiera mayor tenacidad y ductilidad viéndose poco afectadas la dureza y la resistencia mecánica.

Aumentando la temperatura de revenido disminuyen la dureza, la resistencia máxima y el límite elástico hasta llegar a las propiedades que tendría el acero en estado normalizado; la ductilidad y la resistencia al impacto aumentan paulatinamente.

La microestructura se transforma en martensita revenida.



Figura 1. Martensita revenida, 500x Ataque químico con Nital al 2% .

El rango de temperaturas para efectuar este tratamiento, deberá seleccionarse de tal manera que las propiedades finales del acero sean las óptimas para una aplicación específica. El rango recomendable para efectuar el revenido de acero al carbono es de 200 a 400 °C, y además se debe considerar que la velocidad de enfriamiento varía las condiciones finales del acero.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Probetas de acero NOM-1018 y NOM-1045 templadas en agua y aceite de la práctica anterior*
- *Mufla.*
- *Durómetro.*
- *Pinzas de sujeción.*
- *Guantes de asbesto.*

PROCEDIMIENTO

1. *Se utilizan las probetas templadas en agua y aceite empleadas en la práctica anterior.*
2. *Calentar las probetas de acero dentro de la mufla a una temperatura comprendida entre 200 y 400°C durante 30 minutos.*
3. *Después del tiempo señalado en el punto anterior, se apaga la mufla y se retiran las probetas, dejándose enfriar al medio ambiente*
4. *Medir la dureza de las probetas.*

CUESTIONARIO

1. *Hacer una tabla que muestre los resultados obtenidos en la práctica.*
2. *Dibuje las microestructuras observadas y mencione sus constituyentes principales.*
3. *Explique la diferencia entre éste tratamiento y el temple.*
4. *¿Se encontró alguna diferencia entre la probeta que se enfrió al aire y la probeta que se enfrió dentro de la mufla? ¿Sí?, ¿No? y ¿Por qué?*
5. *¿Cuál es el constituyente que se obtiene después del revenido?*

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.

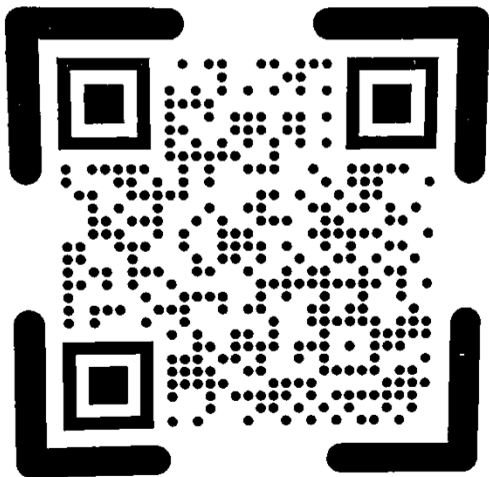
11. *Metalografía y lo que faltaba.*

Díaz del Castillo, Felipe R.

FES-Cuautitlán. México. 2020.

*Buzón de quejas,
sugerencias y comentarios*

UNAM / FESC



Revisión y edición 2024-2 por **M. en I. Diego Sanchez García.**