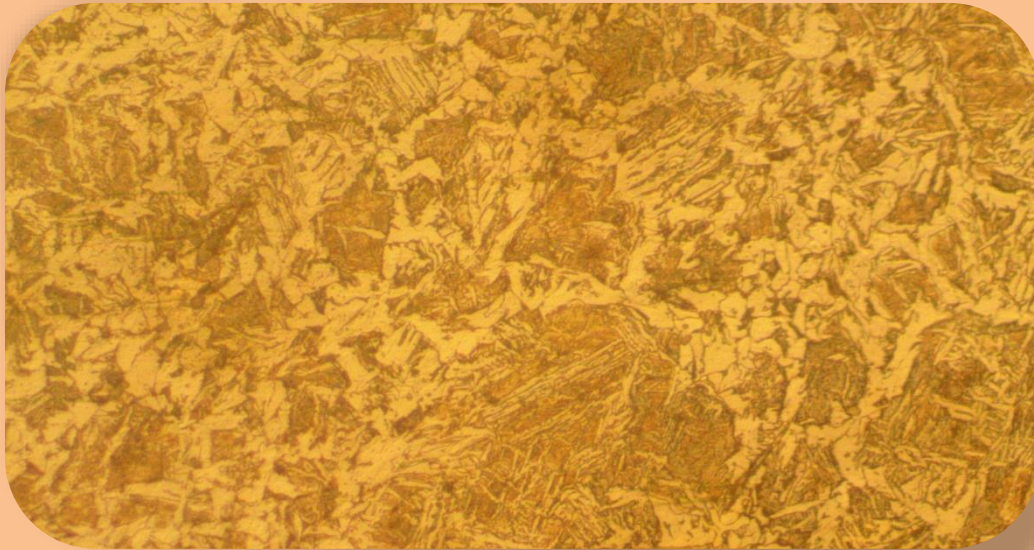


Universidad Nacional Autónoma de
México

Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán



Laboratorio de Ingeniería 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

CONTENIDO	- 1 -
INTRODUCCIÓN	- 2 -
REGLAMENTO DEL LABORATORIO	- 3 -
Práctica 1: TEMPLE DE LOS ACEROS	- 5 -
Práctica 2: REVENIDO	- 11 -
Práctica 3: ENSAYO DE TRACCIÓN	- 14 -
Práctica 4: NORMALIZADO	- 22 -
Práctica 5: RECOCIDO	- 23 -
Práctica 6: CORROSIÓN UNIFORME	- 25 -
Práctica 7: CORROSIÓN GALVÁNICA	- 29 -
Práctica 8: EFECTO DE ÁREA	- 34 -
Práctica 9: PASIVIDAD	- 36 -
Práctica 10: ELECTRODEPOSICIÓN	- 39 -
BIBLIOGRAFÍA	- 43 -

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 ésta manera, se presenta el manual de prácticas correspondiente al Laboratorio de Ingeniería 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 Ingeniería de Materiales

Grupo:

Profesor:

Alumno:

Número y nombre de la práctica

Fecha de realización

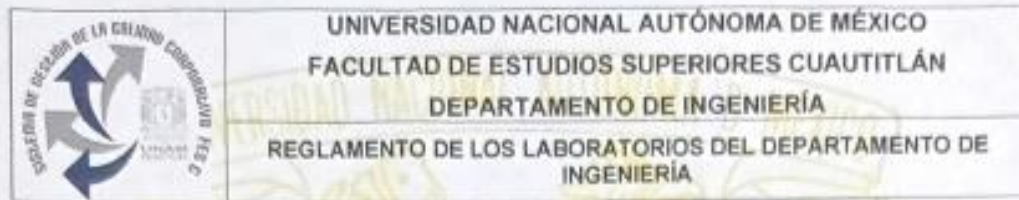
Fecha de entrega

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 turne 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
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

Práctica 1: 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.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento térmico de temple o templado se aplica a los aceros (y a algunas aleaciones no ferrosas) con la finalidad de aumentar sustancialmente su dureza y resistencia mecánica, aunque disminuye su ductilidad y tenacidad.

El tratamiento consiste en calentar el acero a una temperatura predeterminada, llamada temperatura de austenitización; 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 , figura 1.

Para los aceros al carbono la temperatura de temple puede determinarse con ayuda del diagrama Hierro-Carburo de hierro. Por lo general, para el acero hipoeutectoide debe ser 30-50 °C más alta que A_3 y para el hipereutectoide, 30-50° C más alto que A_1 .

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 para evitar la oxidación de las mismas.

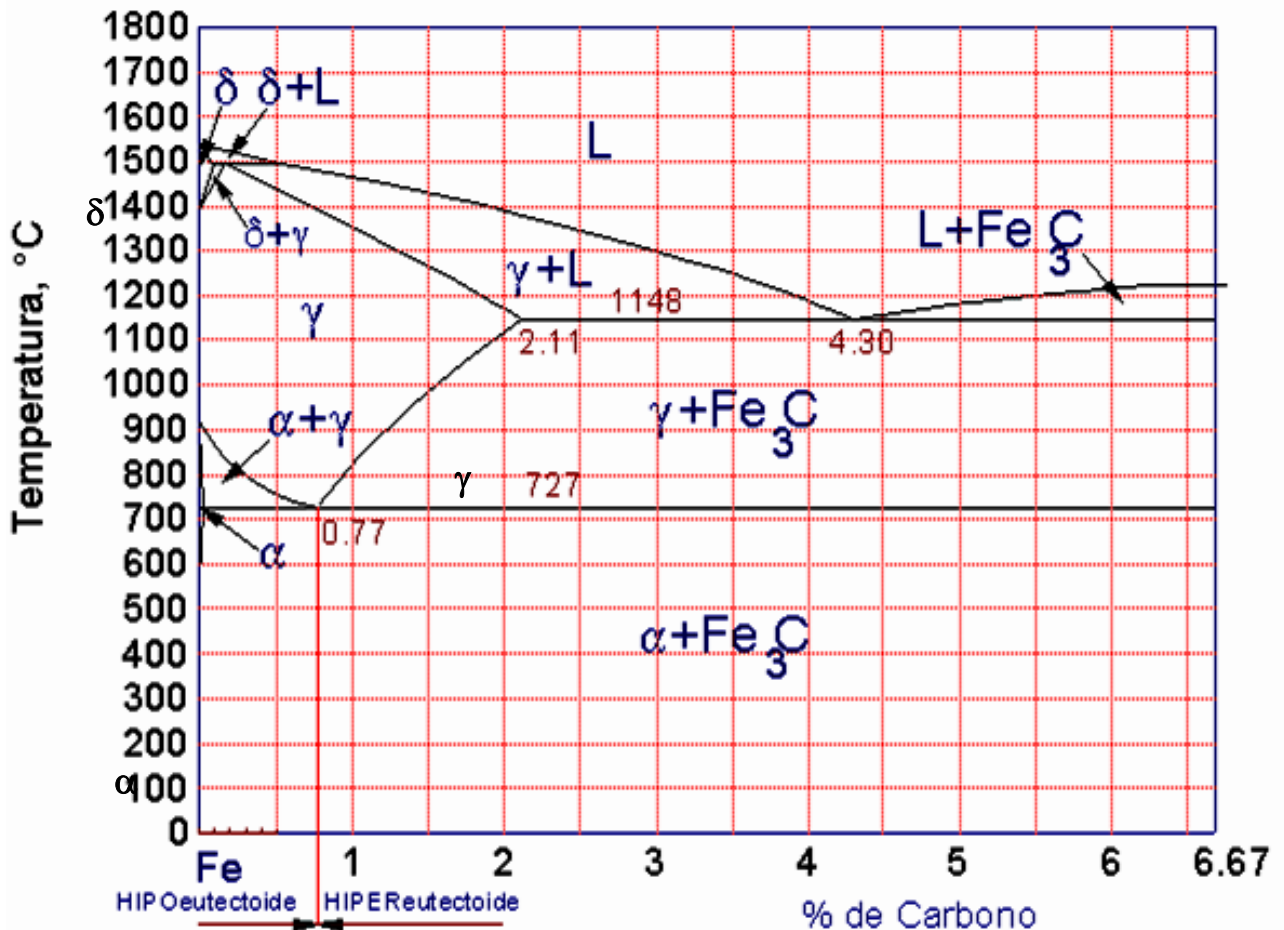


Figura 1. Diagrama de fases Fe-Fe₃C

Es deseable que el medio de enfriamiento para el temple enfríe con rapidez en la zona de temperaturas donde la austenita 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.

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

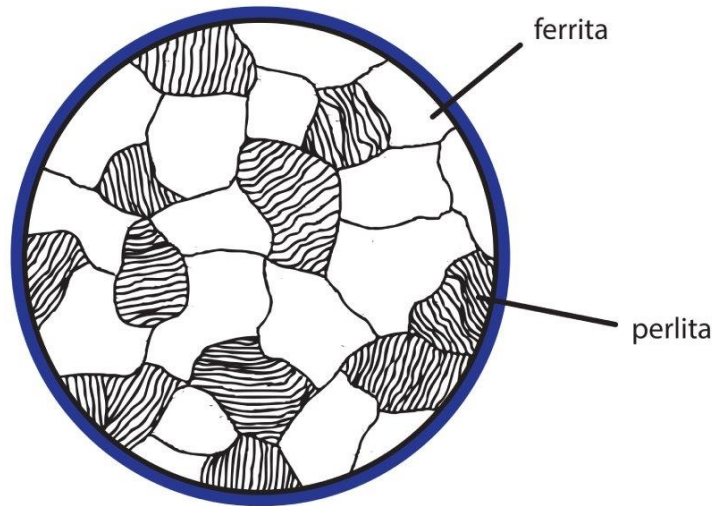


Figura 2. Microestructura del acero al carbono

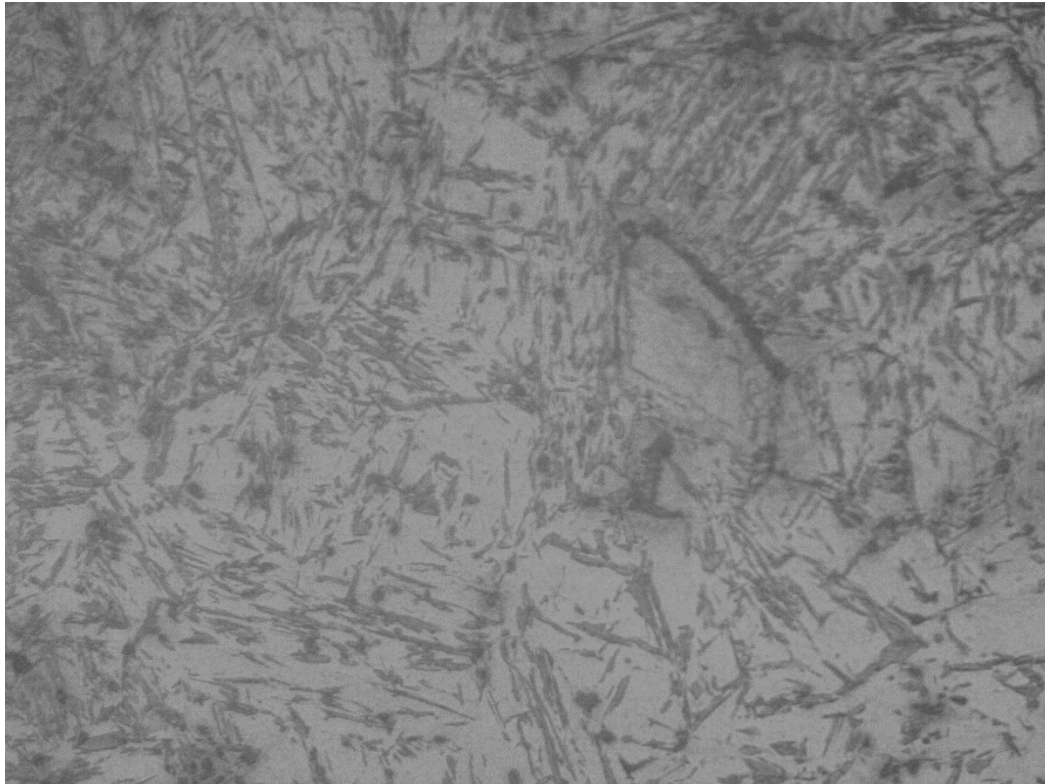


Figura 3. Martensita de un acero 1045 templado en agua, 400 x ataque químico con nital al 2%.

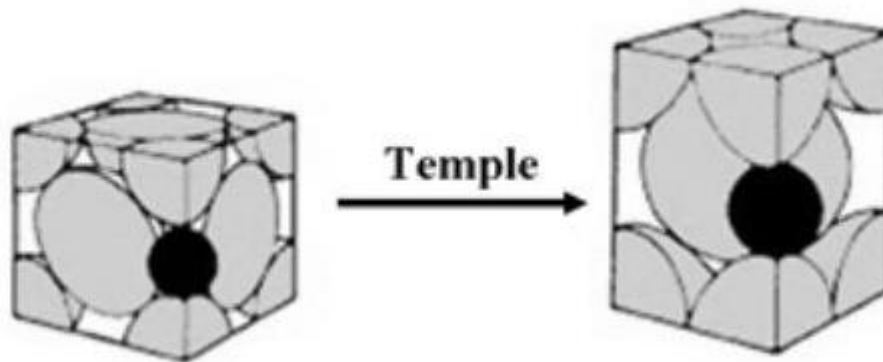


Figura 4. La celda cúbica de la austenita y la celda tetragonal de la martensita

Para aceros aleados y de alta aleación (aceros inoxidable martensíticos y aceros para herramienta) la temperatura de temple será seleccionada de acuerdo a los datos técnicos proporcionados por el fabricante del acero.

Finalmente, 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.

MATERIAL Y EQUIPO

- Barras 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

- Encender la mufla a una temperatura comprendida entre 850 y 900°C.
- Cortar 5 probetas de acero con una longitud aproximada de 2.5 cm.
- Introducir 4 probetas a la mufla y dejarlas durante 20 minutos.
- Medir la dureza Rockwell de la quinta probeta de acero. Esta es la dureza de este acero como viene de fábrica.

- Cuando las probetas estén listas para el temple, tomar tres de las probetas de acero con las pinzas e introducirlas en el recipiente con agua, agitando en forma de "ocho" dentro del medio de temple durante un minuto hasta que se enfríe. Repetir el procedimiento, utilizando aceite como medio de temple, para la probeta restante.
- Medirla dureza de una de las probetas templadas en agua y de la probeta templada en aceite.

Las dos probetas restantes se utilizarán para Normalizado y Recocido.

CUESTIONARIO

1. Haga una tabla con los resultados obtenidos
2. ¿Qué es un tratamiento térmico?
3. ¿Qué es el temple y cuál es su objetivo?
4. ¿Qué es un temple completo y qué es el temple incompleto?
5. ¿Cuáles son los medios de enfriamiento que se emplean en el temple, y de qué factores depende la elección de éstos?
6. 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?
7. En el templado ¿Qué determina la máxima dureza que puede obtenerse en una pieza de acero?
8. ¿Por qué no debe calentarse el acero demasiado arriba de su temperatura crítica superior antes de ser enfriado?
9. ¿Qué es la velocidad crítica de enfriamiento?

10. ¿Para qué se adicionan elementos aleantes a los aceros?
11. Explique por qué no es deseable la oxidación en un tratamiento térmico.
12. Explique por qué no es deseable la descarburación en un tratamiento térmico.
13. ¿Qué ventajas proporciona un calentamiento previo (precalentamiento) del acero antes de ser templado?
14. ¿Qué ventajas se obtienen al templar en baños de sal nuestras probetas?
15. ¿A qué se deben los cambios dimensionales ocasionados al templar aceros?

Práctica 2: REVENIDO

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 ésta temperatura por un tiempo determinado.
3. Enfriamiento del metal a la velocidad más adecuada.

Los efectos principales del tratamiento térmico de revenido son:

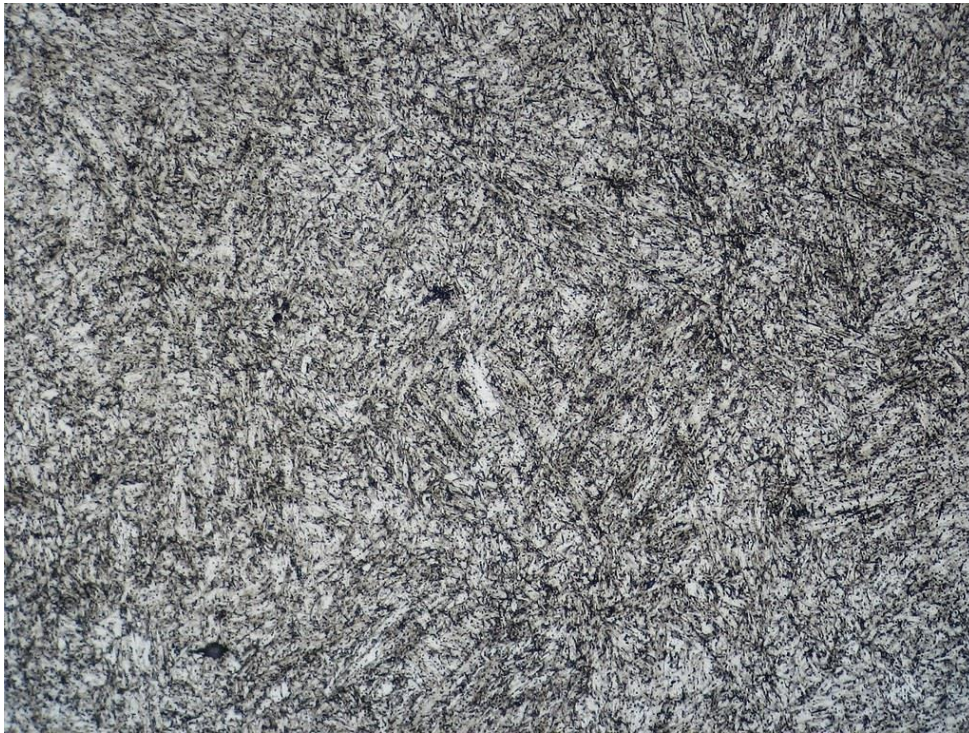
- a) Estabilización y afinamiento de la microestructura.
- b) Eliminación de las tensiones internas del metal, ocasionadas por el temple.

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.

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.

Después del revenido la microestructura cambia a martensita revenida.



Martensita revenida, 400x ataque químico con nital al 2%.

MATERIAL Y EQUIPO

- Probetas de acero 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 la práctica anterior.
2. Calentar las probetas de acero dentro de la mufla a una temperatura comprendida entre 200 y 400°C durante media hora.
3. Después del tiempo señalado en el punto anterior, se apaga la mufla y se retiran las probetas, dejándolas 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 este 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?

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.

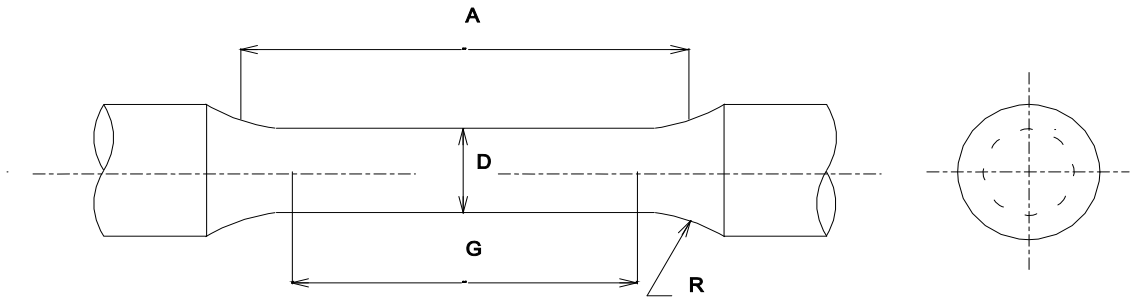
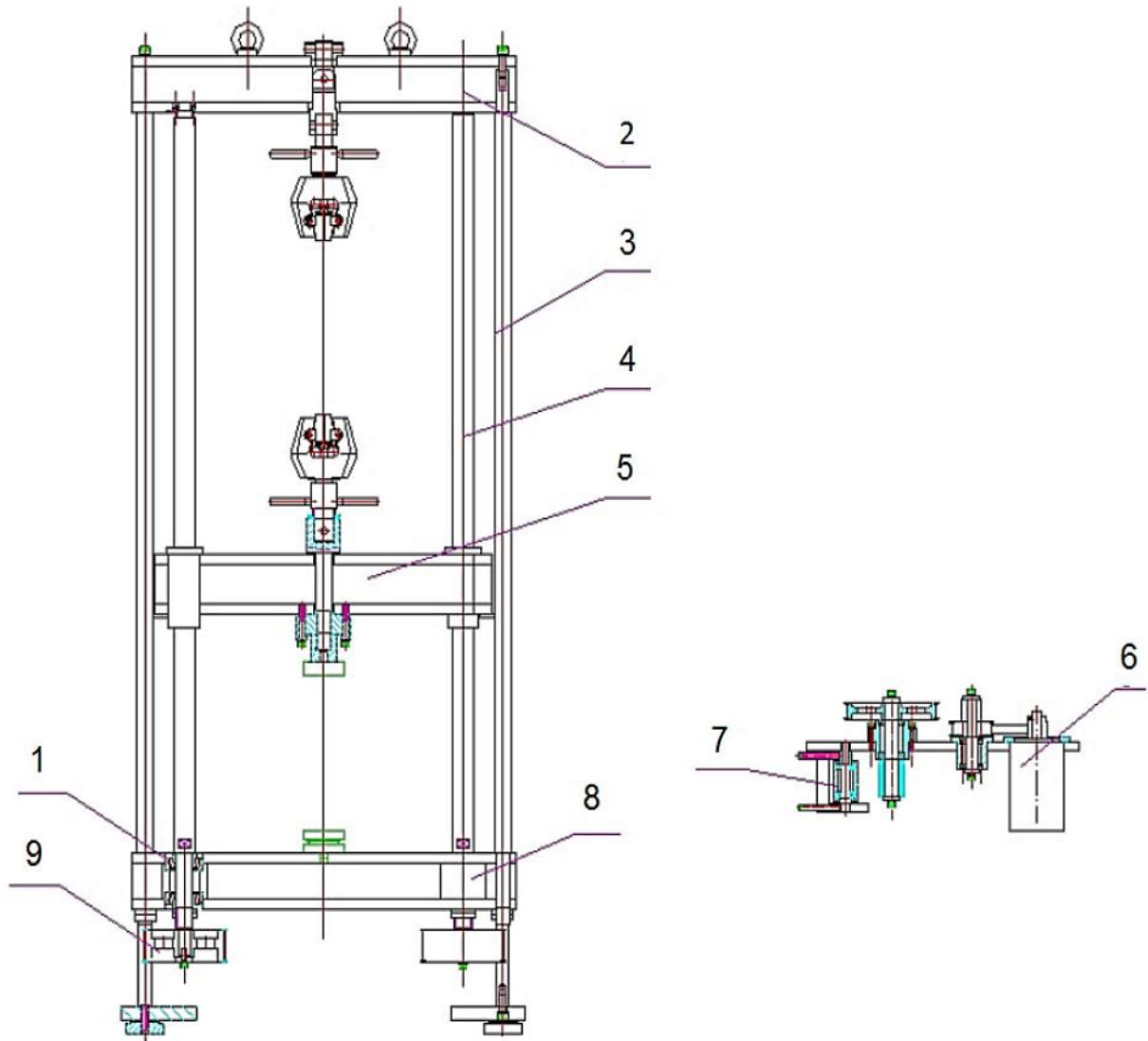


Figura 1. Esquemática de probeta cilíndrica normalizada para ensayo de tracción.

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.

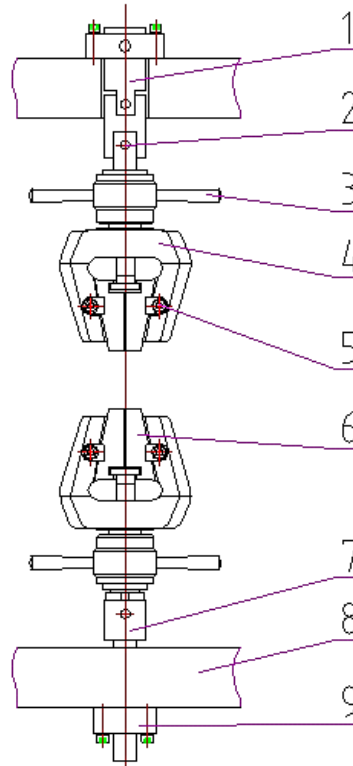


1. Rodamiento 2. Mecanismo de transmisión 3. Motor 4. Mecanismo tensor 5. Mesa de trabajo 6. Cabezal móvil 7. Tornillo de bolas 8. Columna 9. Cabezal superior

Figura 2. Esquematación 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.

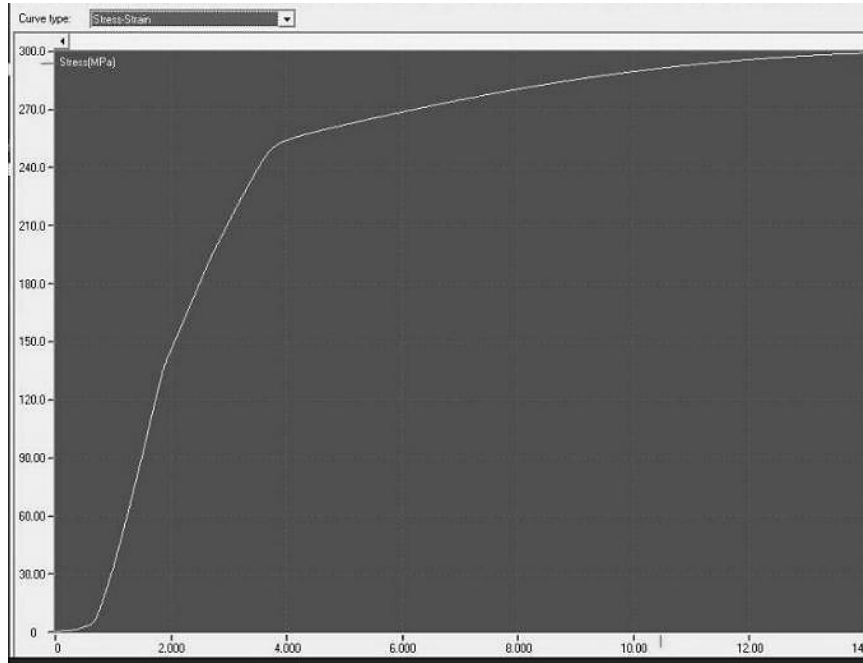


Figura 5. Diagrama esfuerzo-deformación(%) en tiempo real.

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.

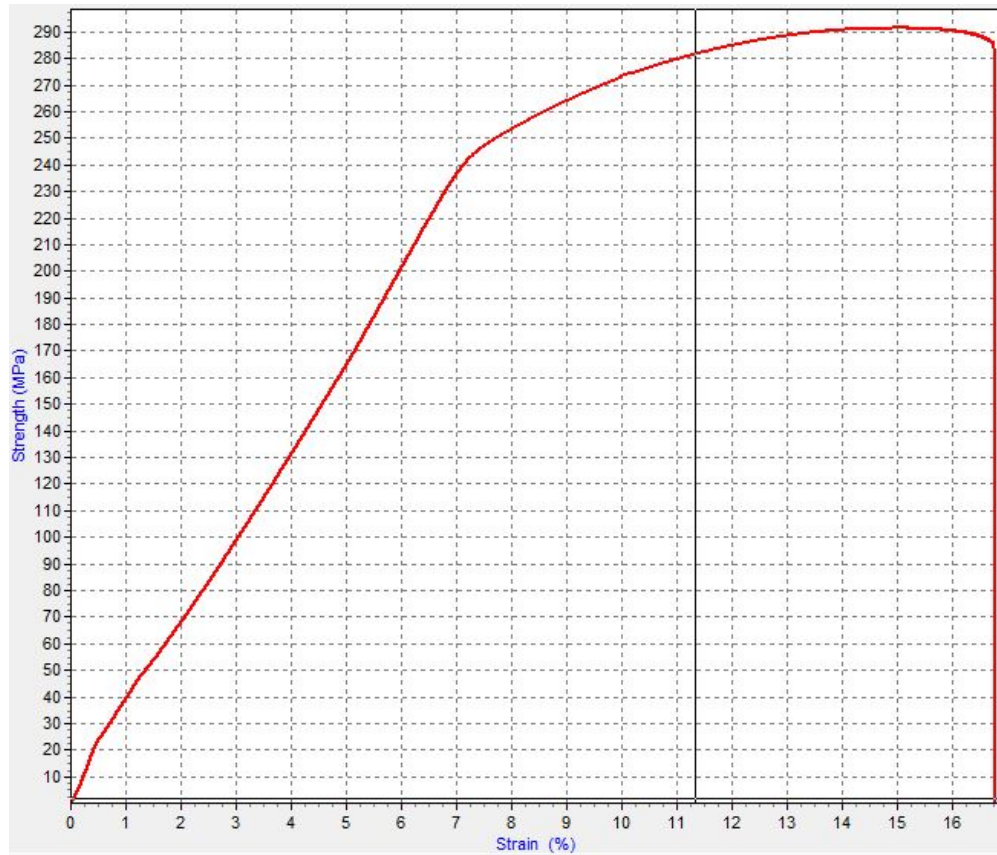


Figura 6. Diagrama esfuerzo-deformación(%) final.

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 deformación 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 actividades 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: NORMALIZADO

OBJETIVO

Comprobar que en el acero tratado se obtiene perlita fina, con mayor dureza que en el recocido.

INTRODUCCIÓN

El normalizado es una variedad de recocido en el cual se enfría el material en aire tranquilo, con lo que se consigue un enfriamiento algo más rápido que en el recocido ordinario.

El recocido y el normalizado son por lo regular, las operaciones iniciales del tratamiento térmico, tienen por objeto subsanar algunos defectos de procesos anteriores (colada, forjado, etc.). Sin embargo, suele ser con mucha frecuencia el tratamiento térmico final.

La designación de la normalización es distinta en dependencia de la composición del acero.

Para los aceros con bajo contenido de carbono, la normalización se emplea en lugar del recocido. Para los aceros con 0.3% de carbono aproximadamente, la normalización se emplea en lugar del temple y del revenido a alta temperatura.

EQUIPO Y MATERIAL

- Probeta de acero templada, en agua, en la práctica 1.
- Mufla.
- Durómetro.
- Pinzas de sujeción.
- Guantes de asbesto.

PROCEDIMIENTO

1. Colocar las probetas en el horno y calentar lentamente hasta alcanzar la temperatura de normalizado.

2. Mantener esa temperatura durante 30 minutos.
3. Después enfriar las probetas al aire.
4. Realizar la prueba de dureza y anotar los resultados obtenidos.
5. Comparar los resultados del normalizado y del recocido.

CUESTIONARIO

1. Hacer una tabla que muestre los resultados obtenidos en la práctica.
3. ¿Qué es el normalizado y que tipo de estructura produce?
4. ¿Qué diferencia existe entre el normalizado y el recocido?
5. ¿Qué ventajas ofrece el enfriamiento al aire?
6. ¿Por qué se dice que tanto el normalizado como el recocido son tratamientos térmicos iniciales y, sin embargo, muchas ocasiones se utilizan como tratamiento térmico final?

Práctica 5: RECOCIDO

OBJETIVOS

1. Efectuar un recocido total a un acero tratado anteriormente
2. Comprobar que el acero recupera sus constituyentes y propiedades originales

INTRODUCCIÓN

El recocido de los aceros es un tratamiento térmico que consiste en calentar el metal hasta una determinada temperatura y, posterior enfriamiento lento.

Como resultado del enfriamiento lento, el acero se acerca al equilibrio estructural y de fase. Por lo que, el fin del recocido es la obtención de la estructura equilibrada, la eliminación de los esfuerzos internos y, en relación con esto, el incremento de la ductilidad y tenacidad del acero necesarias para etapas posteriores en su uso.

Por lo tanto, después del recocido se obtienen las estructuras indicadas en el diagrama Fe-Fe₃C: ferrita más perlita en los aceros hipoeutectoides; perlita en los aceros eutectoides y, perlita más cementita en los aceros hipereutectoides.

El recocido total se aplica comúnmente a los aceros hipoeutectoides y consiste en el calentamiento a una temperatura de 30-50 °C por arriba de la línea A₃, permaneciendo a esta temperatura una cuarta parte del tiempo de calentamiento y un posterior enfriamiento lento dentro del horno hasta una temperatura de 500-400 °C y por último enfriándose al aire.

MATERIAL Y EQUIPO

- Probeta de acero templada, en agua, en la práctica 1.
- Mufla
- Durómetro
- Pinzas de sujeción
- Guantes de asbesto

PROCEDIMIENTO

1. Colocar las probetas en el horno y calentar lentamente hasta alcanzar la temperatura de recocido (austenitización).
2. Mantener esa temperatura durante 30 minutos (dependiendo del tamaño de la pieza, el tiempo puede variar).
3. Después, enfriar lentamente a 500 °C dentro del horno y a continuación al aire,
4. Efectuar la prueba de dureza y comparar los valores obtenidos con la probeta original.

CUESTIONARIO

1. Hacer una tabla que muestre los resultados obtenidos en la práctica.
2. Dibuje las microestructuras observadas y mencione sus constituyentes principales.
3. ¿Cuál es el propósito del recocido?
4. ¿Recuperó el acero sus constituyentes y propiedades originales? ¿Por qué?
5. ¿Qué relación hay entre el recocido y la resistencia a la corrosión?
6. Explicar las diferentes variantes que existen del tratamiento térmico de recocido.

Práctica 6: CORROSIÓN UNIFORME

OBJETIVOS

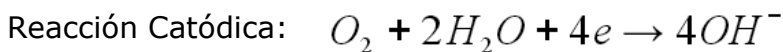
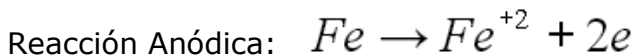
1. Observar el fenómeno de corrosión en metales inmersos en un medio corrosivo.
2. Determinar la velocidad de corrosión en metales que se desempeñan en un medio corrosivo.

INTRODUCCIÓN

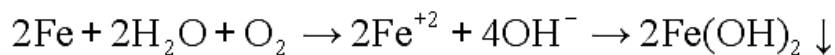
La corrosión uniforme o ataque uniforme es la forma de corrosión más común. Se caracteriza por una reacción química o electroquímica que se lleva a cabo de una manera uniforme sobre la superficie expuesta.

En esta forma de corrosión el metal se va adelgazado de una manera casi uniforme, hasta que eventualmente desaparecen grandes porciones de él.

Un ejemplo clásico de corrosión uniforme lo constituye el sistema hierro-agua-oxígeno; una superficie de hierro pulida, sumergida en agua expuesta a la atmósfera se va a corroer uniformemente. Para explicar este hecho es conveniente analizar las reacciones que se llevan a cabo:



La reacción total se obtiene sumando estas dos reacciones, dando:



Lo cual indica que el hidróxido ferroso se precipita de la solución. Sin embargo, este compuesto es inestable en soluciones oxigenadas (aireadas) y se oxida para formar una sal férrica, como producto final, conocida con el nombre familiar de herrumbre; la reacción final será:

Esta reacción se lleva a cabo en toda la superficie expuesta, la cual mostrará una corrosión esencialmente uniforme.

Cabe mencionar que esta forma de corrosión no reviste gran peligrosidad, ya que la vida del material puede estimarse con bastante exactitud por medio de una prueba de corrosión, la cual consiste en sumergir una probeta del material en cuestión, en una solución idéntica a la del medio corrosivo en el cual estará trabajando y dejarla ahí durante un cierto tiempo. La velocidad de corrosión se puede obtener por medio de la siguiente relación:

$$mmpa = \frac{8760W}{DAT}$$

Donde

mmpa = milímetros por año

W = pérdida de peso, en miligramos

D = densidad del material de la probeta, en gramos/cm³

A = área de la probeta, en mm²

T = tiempo de exposición, en horas

MATERIAL Y EQUIPO

- Probetas de acero, latón y aluminio
- Salmuera (1 litro de agua, 30 gramos de sal)
- Tres recipientes
- Calibrador
- Balanza analítica
- Pinzas de acero y lija de 600

PROCEDIMIENTO

1. Las probetas deberán pulirse con lija del No. 600 de manera que sus superficies queden lisas y libres de óxido. A continuación, se pesarán y medirán a fin de obtener el área expuesta.
2. En los recipientes se colocarán las probetas, las cuales quedarán sumergidas en el medio ambiente (salmuera), las probetas deberán permanecer en el medio corrosivo durante dos semanas.
3. Al final de la prueba, las probetas se deberán de lavar con agua y lijarse muy suavemente con lija del No. 600, con el fin de retirar toda la capa formada por los productos de corrosión.
4. Después de esto se secan las probetas y se pesan nuevamente.

CUESTIONARIO

1. Determinar la velocidad de corrosión para los tres materiales utilizados.
2. ¿Es factible establecer con precisión la vida útil de un material, en un medio corrosivo dado, por medio de esta prueba?
3. ¿Qué se puede decir del comportamiento mostrado por los tres materiales?
4. ¿Es posible predecir el comportamiento de estos tres materiales, en salmuera a cualquier concentración, por medio de la prueba realizada, con la concentración utilizada en este ensayo?
5. Establezca las ecuaciones de oxidación y reducción para los tres materiales empleados.
6. ¿Cuál de los ocho tipos de corrosión es deseable durante un proceso de pulido de un metal con un electrolito?

Práctica 7: CORROSIÓN GALVÁNICA

OBJETIVO

1. Observar el fenómeno de la corrosión galvánica
2. Determinar la velocidad de corrosión para los materiales acoplados galvánicamente

INTRODUCCIÓN

Es un hecho conocido que existe una diferencia de potencial entre dos metales diferentes cuando se sumergen en una solución corrosiva.

Si estos metales se ponen en contacto (o se unen eléctricamente de alguna manera), esta diferencia de potencial producirá un flujo de electrones entre ellos, dando por resultado la corrosión de uno de ellos.

Se ha observado que, en general, la corrosión del metal menos resistente a la corrosión aumenta, mientras que el ataque al material más resistente disminuye notablemente, comparado esto con el comportamiento de cada metal cuando no están en contacto. Así, el metal menos resistente tenderá a comportarse como cátodo. Generalmente, al llevarse a cabo el acoplamiento, el metal que actúa como cátodo se corroe muy poco o nada.

Debido a las corrientes eléctricas y a los metales diferentes involucrados, este tipo de corrosión se denomina galvánica o corrosión bimetalica. La fuerza motriz para producir la corriente eléctrica y por lo tanto la corrosión de uno de los metales, se debe al potencial desarrollado entre los dos metales.

La diferencia de potencial entre los metales bajo condiciones en las que no existe corrosión, forma la base para predecir su tendencia a la corrosión, por ejemplo, la serie de fuerza electromotriz o serie **fem**, muestra el potencial entre metales expuestos a soluciones que contienen aproximadamente un gramo por peso atómico de sus iones respectivos (actividad unitaria), medidos con gran precisión a temperatura constante. Estos potenciales se muestran en resumen en la tabla 1.

Tabla 1. Potenciales de semicelda estándar para algunos metales de uso corriente.

		Reacción en Equilibrio	E° (volt)
Noble o Catódico	↑	$Au^{2+} + 3e \rightarrow Au$	+1.50
		$Pt^{2+} + 2e \rightarrow Pt$	+1.20
		$Ag^+ + e \rightarrow Ag$	+0.80
		$Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$	+0.34
		$2H^+ + 2e \rightarrow H$	0.00
Activo o Anódico	↓	$Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni$	-0.25
		$Fe^{2+} + 2e \rightarrow Fe$	-0.44
		$Zn^{2+} + 2e \rightarrow Zn$	-0.76
		$Al^{3+} + 3e \rightarrow Al$	-1.66

En problemas reales de corrosión, rara vez ocurre un acoplamiento galvánico entre metales en equilibrio con sus iones. Más bien, la mayoría de los casos de corrosión galvánica resulta de la conexión eléctrica de dos metales que se encuentran sumergidos en algún medio corrosivo. También debido a que la mayoría de los materiales de uso en ingeniería son aleaciones, el acoplamiento galvánico incluye una o más aleaciones metálicas. Debido a esto, la tabla 1, tiene una aplicación muy restringida por lo que se puede considerar que no tiene aplicación práctica.

Una visión más exacta de la relación galvánica entre materiales de uso en ingeniería, se basa en medidas de potencial y pruebas de corrosión galvánica, teniendo como medio corrosivo agua de mar. La tabla 2, muestra la serie galvánica de algunos metales y aleaciones comerciales en agua de mar, debido a que pueden existir variaciones entre pruebas realizadas, en la tabla 2 se expresan las posiciones relativas de los metales, más que sus potenciales.

Tabla 2. Serie galvánica de metales y aleaciones comerciales en agua de mar.

Noble o Catódico	↑	Platino
		Oro
		Grafito
		Titanio
		Plata
		Chlorimet 3 (62Ni, 18Cr, 18Mo)
		Hastelloy C (62Ni, 17Cr, 15Mo)
		Acero inoxidable al Mo 18-8 (pasivo)
		Acero inoxidable 18-8 (pasivo)
		Acero inoxidable al cromo, 11-30%Cr (pasivo)
	Inconel (pasivo) (80Ni, 13Cr, 7Fe)	
	Níquel (pasivo)	
	Monel (70Ni, 30Cu)	
	Cuproníquel (60-90Cu, 40-10Ni)	
	Bronces (Cu-Sn)	
	Cobre	
	Latones (Cu-Zn)	
	Chlorimet 2 (66Ni, 32Mo, 1Fe)	
	Hastelloy B (60Ni, 30Mo, 6Fe, 1Mg)	
	Inconel (activo)	
	Níquel (activo)	
	Estaño	
	Plomo	
	Acero inoxidable al Mo 18-8 (activo)	
	Acero inoxidable 18-8 (activo)	
	Acero inoxidable al cromo, 13%Cr (activo)	
	Fundición de hierro	
	Acero o hierro	
	Aluminio 2024 (4.5Cu, 1.5Mg, 0.6Mn)	
Activo o Anódico	↓	Cadmio
		Aluminio comercialmente puro (1100)
		Zinc
		Magnesio y sus aleaciones

Es interesante señalar que las aleaciones agrupadas en las llaves, debido a que el elemento base y la composición base son semejantes (por ejemplo, cobre y aleaciones de cobre), en la mayoría de las aplicaciones prácticas hay poco peligro de que sufran corrosión galvánica, si se ponen en contacto uno con otro, ya que el potencial generado por ellos es muy pequeño. Sin embargo, si se consideran materiales que se encuentren muy aparte en la serie, el potencial generado será grande lo que indica que habrá corrosión galvánica.

MATERIAL Y EQUIPO

- Dos probetas de latón, dos de aluminio y dos de acero. Todas de aproximadamente 4 cm de longitud
- Sal de cocina
- Recipientes
- Balanza analítica y calibrador

PROCEDIMIENTO

1. Se prepara la solución agregando 30 gramos de sal a un litro de agua.
2. Se une una probeta de latón con una de acero, una de aluminio con una de acero y una de latón con una de aluminio.
3. Hecho esto, se colocan las probetas en la solución salina durante dos semanas, cuidando que las probetas queden bien sumergidas en la solución.
4. Al concluir la prueba, las probetas se deberán lavar con agua. Después se secan y se pesan.

CUESTIONARIO

1. Describa lo que observó en cada uno de los recipientes.
2. Determinar la velocidad de corrosión para todas las probetas.
3. ¿Los resultados obtenidos están de acuerdo a lo establecido en la tabla 2?
4. ¿Podrían utilizarse los datos de la tabla 2, para determinar que metal sufrirá corrosión en un acoplamiento galvánico, sumergido en un medio corrosivo distinto del agua de mar?
5. ¿Qué efecto tiene el acero y el aluminio respectivamente, sobre la corrosión del latón y el acero, en los pares galvánicos latón-acero y acero-aluminio?
6. ¿Qué utilidad práctica tiene este tipo de acoplamiento galvánico?
7. Para proteger contra la corrosión a un metal dado, ¿se recomendaría una reacción anódica o una catódica en su superficie?
8. Si el aluminio es más anódico que el hierro, ¿por qué se corroe menos que éste, cuando forman un par galvánico?

Práctica 8: EFECTO DE ÁREA

OBJETIVOS

1. Observar el efecto de área en la corrosión de dos metales.
2. Determinar la velocidad de corrosión para los pares galvánicos formados.

INTRODUCCIÓN

Como se sabe, el acoplamiento galvánico debe evitarse en presencia de un medio corrosivo, ya que produce un aumento en la velocidad de corrosión del material más anódico. Sin embargo, este efecto también va a ser dependiente de las áreas catódica y anódica, es decir, otro de los factores importantes en la corrosión galvánica es el "Efecto de área", o sea la relación del área catódica al área anódica.

Una relación de área desfavorable, consiste en un cátodo muy grande y un ánodo muy pequeño; así, para un flujo de corriente dado en la celda, la densidad de corriente es mayor para un electrodo pequeño que para uno grande y entre mayor es la densidad de corriente en un área anódica, mayor será la velocidad de corrosión. La corrosión de área anódica puede llegar a ser de 100 a 1000 veces mayor que si las áreas fueran iguales. La violación de este principio puede resultar en fallas muy costosas en la industria, ya que soluciones medianamente corrosivas pueden llevar a velocidades de corrosión extremadamente altas, cuando la relación de áreas entre cátodo y ánodo es muy grande.

MATERIAL Y EQUIPO

- Probetas de cobre y acero de las siguientes dimensiones:
 - 1 Probeta de cobre de 3 x 0.3 x 0.5 cm
 - 1 Probeta de cobre de 3 x 0.3 x 2 cm
 - 2 Probetas de acero de 0.6 x 0.6 x 1.5 cm
- Sal de cocina.
- 2 vasos de precipitados de 100 ml.
- Balanza analítica y calibrador.

PROCEDIMIENTO

1. Cada probeta se pule, se pesa y se mide de manera que podamos obtener su área.
2. Se prepara la solución corrosiva con un litro de agua y 30 g. de sal.
3. Se unen las probetas, colocando una de cobre y una de acero, de manera que se tenga un buen contacto entre ellas.
4. Se introducen las probetas en el medio corrosivo permaneciendo dentro de él durante dos semanas.
5. Al retirar las probetas del medio corrosivo, se deben lavar perfectamente, de manera que se retire todo el óxido y productos de la corrosión.
6. Finalmente, se secan perfectamente y se pesan.

CUESTIONARIO

1. Describa lo que observó en los vasos de precipitados, durante el tiempo que duró la prueba.
2. Determine la velocidad de corrosión para todas las probetas.
3. ¿Qué efecto tiene el tamaño de la probeta de cobre sobre la velocidad de corrosión del acero?
4. Supongamos que se tienen unidos (soldados) dos materiales distintos, los cuales se encuentran sumergidos en un medio corrosivo no muy severo. ¿Sería recomendable recubrir el material más anódico con pintura anticorrosiva? Explique.
5. ¿Si dos metales distintos tienen que unirse, que precauciones se deberán observar para reducir el ataque del metal menos noble?

Práctica 9: PASIVIDAD

OBJETIVO

1. Observar el efecto de pasividad de los metales.
2. Obtener la velocidad de corrosión de un metal en el rango activo y pasivo.

INTRODUCCIÓN

El fenómeno de la pasividad de los metales es difícil de explicar debido a lo complejo de su naturaleza y a las condiciones específicas bajo las cuales puede ocurrir. Esencialmente, la pasividad se refiere a la pérdida de reactividad química, experimentada por ciertos metales y aleaciones bajo condiciones ambientales específicas. Lo anterior quiere decir que, bajo ciertas condiciones, algunos metales y aleaciones se comportarán como materiales inertes, tales como se comportaría el oro o el platino.

Se ha observado este comportamiento en metales de gran uso en ingeniería, tales como: hierro, níquel, cromo, titanio y las aleaciones que contienen estos metales

La figura 1 muestra el comportamiento típico de un metal que sufre el efecto de pasividad; el comportamiento de este metal se puede dividir en tres regiones: Activa, pasiva y transpasiva.

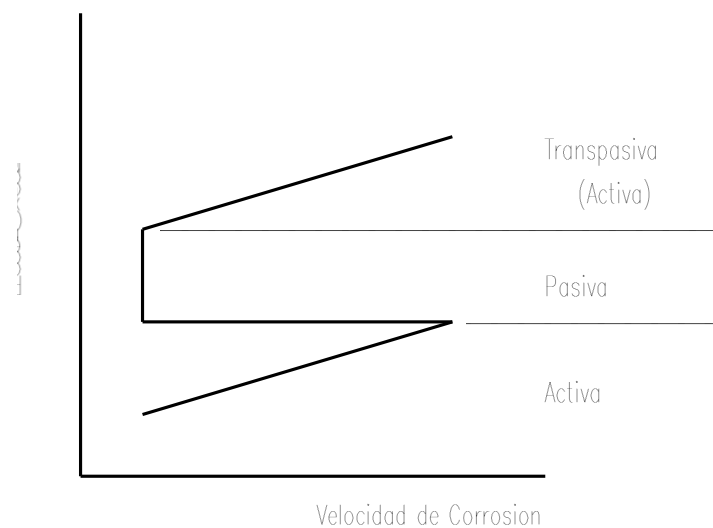


Figura 1. Comportamiento típico de un metal que experimenta pasividad

En la región activa el metal se comporta como cualquier metal activo sumergido en un medio corrosivo, es decir un aumento en la potencia del agente oxidante trae como consecuencia un aumento en la velocidad de corrosión. En la región pasiva, el metal se comporta como un metal noble y aumentos posteriores en la potencia del agente oxidante, prácticamente no produce cambio en la velocidad de corrosión. Finalmente, en la región transpasiva el metal se comporta nuevamente como un metal activo, en el cual un aumento en la potencia del agente oxidante trae como consecuencia un aumento en la velocidad de corrosión.

En suma, los metales que poseen una transición activa-pasiva, serán pasivos o muy resistentes a la corrosión en medios ambientes moderados o fuertemente oxidantes. Bajo condiciones de oxidación extremadamente fuertes, esos materiales pierden sus propiedades de resistencia a la corrosión.

MATERIAL Y EQUIPO

- Dos probetas de acero
- Ácido nítrico al 70% y al 35%
- Dos vasos de precipitados de 100 ml
- Balanza analítica y calibrador
- Pinzas y probeta graduada

PROCEDIMIENTO

1. Las dos probetas de acero se miden y se pesan.
2. A continuación, una de las dos probetas se introduce en un vaso de precipitados, conteniendo ácido nítrico al 70% permaneciendo dentro de este medio por espacio de 15 minutos.
3. Transcurrido este tiempo se agrega el ácido nítrico a un vaso de precipitados que contiene agua en igual cantidad, de manera que se logre una concentración de aproximadamente 35% y se deja en este medio durante una semana.

4. La segunda de las probetas se introduce en un vaso de precipitados, conteniendo ácido nítrico al 35% y se deja allí 15 minutos.
5. Al final del experimento se lavan las probetas y se pesan.

CUESTIONARIO

1. Describa lo que observó en cada vaso de precipitados.
2. Determine la velocidad de corrosión para las dos probetas
3. Las capas superficiales y las películas pasivadoras son recubrimientos protectores que tienden a reducir la velocidad de corrosión. ¿Qué tipo de capa es más estable?
4. Explique el comportamiento de las dos probetas en base a la curva mostrada en la figura 1
5. ¿Por qué la primera probeta reacciona violentamente, si se le golpea o se le raspa ligeramente en la solución ácida al 35%?

Práctica 10: ELECTRODEPOSICIÓN

OBJETIVO

1. Conocer y poner en práctica uno de los métodos de recubrimiento de metales más común como lo es el de electrodeposición (galvanoplastia).
2. Conocer las ventajas que se obtienen al realizar este tipo de trabajo.

INTRODUCCIÓN

La electrodeposición o galvanoplastia es una operación mediante la cual se deposita una capa de metal sobre otro metal, debido a la electrólisis de una solución que contiene una sal de aquel metal. La mayor parte de los metales pueden ser depositados mediante esta forma, pero los más comúnmente utilizados son el níquel, cromo, cadmio, cobre, plata, cinc, oro y estaño.

En aplicaciones comerciales, el objeto a recubrir es colocado en un recipiente que contiene un electrolito adecuado. El ánodo es el metal que va a ser depositado y generalmente es un metal de alta pureza, el objeto o pieza que va a ser recubierta es el cátodo.

Se requiere para la electrodeposición una fuente de C.D. que va a actuar como una bomba cuya función es la de extraer los electrones del ánodo, es decir, se establecerá una corriente y entonces los iones del metal del ánodo se desprenderán y se depositarán en estado sólido en la pieza o cátodo. Las propiedades del metal a depositar y velocidad de deposición dependen de factores como: la intensidad de la corriente, temperatura del electrolito, condiciones de la superficie y propiedades del material de la pieza a trabajar.

El niquelado es el proceso de electrodeposición más antiguo, utilizado para el recubrimiento de piezas de acero, cobre y bronce, dándoles una agradable apariencia y moderada resistencia a la corrosión.

A menos que se pule ocasionalmente, el niquelado se empaña, tomando un color amarillento bajo una atmósfera medianamente corrosiva o un color verdoso bajo condiciones severas. La introducción del cromado en la década de los 20's terminó con el problema del opacamiento e impulsó al níquel como un componente básico de recubrimiento para protección y decoración en varias combinaciones con cobre y cromo.

Los electrodepósitos de níquel poseen una amplia variedad de propiedades dependiendo de la composición química del electrolito y condiciones de depósito. Los procesos de niquelado se clasifican de acuerdo a la aplicación específica o a su apariencia tal como sigue: Propósito especial, propósito general, obscuro y claro.

El espesor medio del metal electrodepositado estará en función de:

- El peso del metal depositado.
- La superficie media del cátodo.
- La densidad del metal electrodepositado.

También es muy importante la preparación adecuada de la superficie, ya que de ello dependerá la buena adherencia del metal depositado. La cantidad de metal depositado en el cátodo en la electrodeposición se determina por la ecuación de Faraday:

$$W = \frac{I t M}{n F}$$

Donde:

W = Peso del metal que se deposita en el cátodo [g].

t = Tiempo [s].

I = Corriente [A]

F = Constante de Faraday = 96 500 C/mol

M = Masa atómica del metal que se deposita [g/mol].

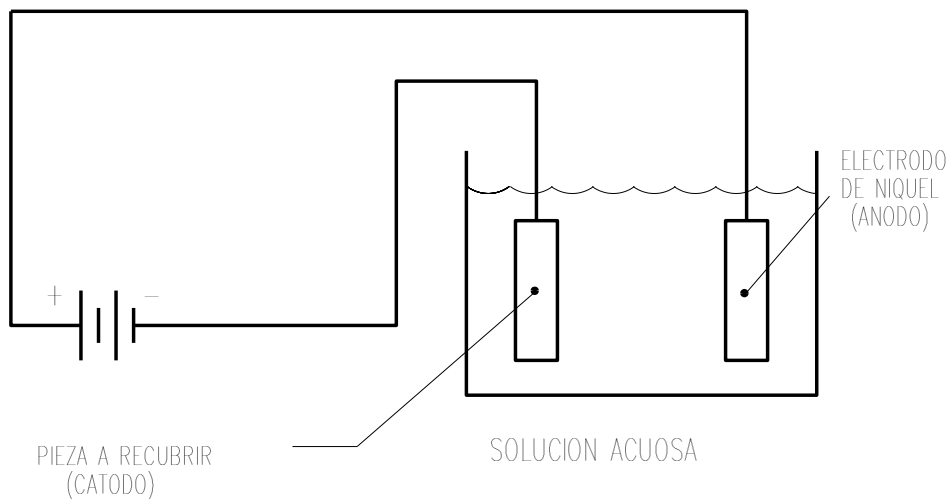
n = Valencia del metal que se deposita.

EQUIPO Y MATERIAL

- Fuente de C.D. regulable
- Solución acuosa de sulfato de níquel, ácido bórico y cloruro de amonio en 100 ml de agua.
- Piezas de acero o latón (cátodo).
- Electrodo de níquel (ánodo).
- Vaso de precipitados.
- Cables de conexión.
- Balanza analítica y calibrador.

PROCEDIMIENTO

1. Lije y limpie perfectamente la pieza de acero o latón.
2. Pese la pieza en la balanza analítica.
3. Tome sus dimensiones.
4. Conecte el circuito como se muestra en la figura.



5. Encienda la fuente de C.D. y proporcione una corriente de 1 A. durante el tiempo que se le indique.
6. Después de transcurrido dicho tiempo apague la fuente de CD y retire la pieza.

7. Pese nuevamente la pieza.

CUESTIONARIO

1. Explique brevemente lo observado en la práctica
2. Obtenga analíticamente el peso del metal que se ha depositado en la pieza y compárelo con el obtenido en la práctica.
3. Calcule el espesor de la capa depositada.
4. ¿Cuál es la función del sulfato de níquel, del ácido bórico y el cloruro de amonio?
5. Mencione los métodos utilizados comercialmente para recubrir un metal.
6. Mencione los elementos principales de que está construida una instalación de galvanoplastia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Tratamientos Térmicos de los Aceros.
José Apraiz Barreiro.
Editorial Dossat, S. A. 8ª Edición. 1981.
2. Introducción a la Metalurgia Física.
Sydney H. Avner
Mc Graw-Hill. Segunda Edición.1988.
3. Atlas of Isothermal Transformation and Cooling
Transformation Diagrams
American Society for Metals. 1977.
4. The Making, Shaping and Treating of Steel. 10th Edition.
Edited by W. T. Lankford, Jr, N. L. Samways, R. F. Craven and H. E. Mc Gannon.
United States Steel. Published by Association of Iron and Steel Engineers. 1985.
5. Metals Handbook. 8thEdition
Vols: 1, 2, 7 y 8.
American Society for Metals.
6. Handbook of Corrosion Engineering
Pierre R. Roberge
McGraw-Hill. E.U.A. 2000
7. Corrosion Engineering
Mars G. Fontana, and Norbert D. Greene
McGraw-Hill. New York. 1967.
8. Más allá de la herrumbre I
Javier Ávila Mendoza y Joan Genescá Llongueras
Fondo de Cultura Económica. México. 2002

9. Más allá de la herrumbre II. La lucha contra la corrosión

Javier Ávila Mendoza y Joan Genescá Llongueras

Fondo de Cultura Económica. México. 2003

10. Non destructive Evaluation. Theory, Techniques, and Applications

Peter J. Shull (Editor)

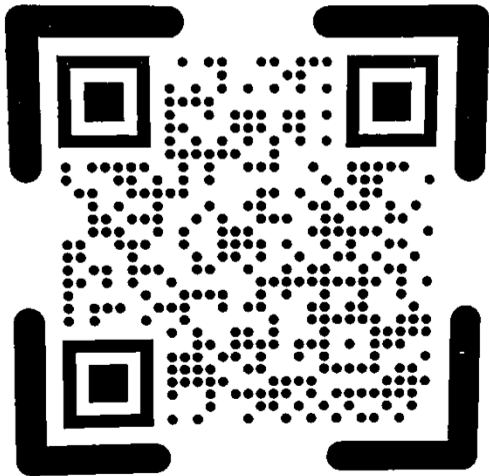
Ed. Marcel Dekker. E.U.A. 2002

11. Aceros. Estructuras y sus tratamientos térmicos.

Felipe Díaz del Castillo R. y Alberto Reyes Solís.

FES-Cuautitlán. 2004.

*Buzón de quejas,
sugerencias y comentarios*



UNAM/FESC