

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES-CUAUTITLAN

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA

LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

**MANUAL DE PRACTICAS PARA EL LABORATORIO DE
TECNOLOGÍA DE MATERIALES II**



ING. ENRIQUE CORTÉS GONZÁLEZ

M. en I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

M. en I. ALBERTO REYES SOLIS

2009-1

ÍNDICE

	<i>Pag.</i>
<i>INTRODUCCIÓN</i>	<i>1</i>
<i>1.- TEMPLE</i>	<i>2</i>
<i>2.- REVENIDO</i>	<i>6</i>
<i>3.- RECOCIDO</i>	<i>9</i>
<i>4.- NORMALIZADO</i>	<i>11</i>
<i>5.- PRUEBA DE TEMPLABILIDAD JOMINY</i>	<i>13</i>
<i>6.- CORROSIÓN UNIFORME</i>	<i>16</i>
<i>7.- CORROSIÓN GALVÁNICA</i>	<i>19</i>
<i>8.- EFECTO DE ÁREA</i>	<i>24</i>
<i>9.- PASIVIDAD</i>	<i>26</i>
<i>10.- ELECTRODEPOSICIÓN</i>	<i>29</i>
 <i>BIBLIOGRAFÍA</i>	 <i>33</i>

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, presentamos el manual de practicas correspondiente al Laboratorio de Tecnología de Materiales II, esperando que permita al alumno un mejor desarrollo de las mismas y que su estancia sea lo más fructífera posible.

TEMPLE

PRACTICA No.1

OBJETIVO

Determinar las condiciones de temple de un acero cuyas características se desconocen.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento térmico de temple 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 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 sal, los cuáles 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.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Barras de acero*
- *Mufla (horno)*
- *Recipiente para contener los medios de temple.*
- *Microscopio metalográfico.*
- *Durómetro.*
- *Pinzas de sujeción.*
- *Guantes de asbesto.*
- *Reactivo de ataque para el acero (Nital al 2%).*
- *Agua y aceite mineral.*

PROCEDIMIENTO

Se utilizarán por lo menos dos probetas de acero de la misma composición de carbono, para visualizar las diferencias de templar en agua y aceite.

1. *Corte, desbaste y pulido de las probetas de acero.*
2. *Ataque de las probetas de acero con el reactivo.*
3. *Se tomarán dos muestras o probetas iguales y se les denominarán probeta 1 y probeta 2.*
4. *Observar al microscopio cualquiera de las probetas y dibujar la microestructura observada a 400X.*
5. *Practicar la prueba de dureza a las probetas.*

6. *Calentar las dos probetas en la mufla a una temperatura comprendida entre 850 y 900°C durante 20 minutos.*
7. *Cuando las probetas estén listas para el temple, tomarlas con las pinzas y depositar primero la probeta 1 en el recipiente con agua y agitar en forma de "ocho" dentro del medio de temple. Hacer lo mismo con la probeta 2, sólo que se templará en aceite.*
8. *Pulir y atacar con el mismo reactivo a las probetas.*
9. *Observar al microscopio las dos probetas y dibujar lo observado a 400X.*
10. *Practicar la prueba de dureza a las dos probetas.*

CUESTIONARIO

1. *¿Qué es un tratamiento térmico?*
2. *¿Qué es el temple y cuál es su objetivo?*
3. *¿Qué es un temple completo y qué es el temple incompleto?*
4. *¿Cuáles son los medio de enfriamiento que se emplean en el temple, y de qué factores depende la elección de éstos?*
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. *Explique por qué no es deseable la oxidación en un tratamiento térmico.*
11. *Explique por qué no es deseable la descarburación en un tratamiento térmico.*

12. ¿Qué ventajas proporciona un calentamiento previo (precalentamiento) del acero antes de ser templado?

13. ¿Qué ventajas se obtienen al templar en baños de sal nuestras probetas?

14. ¿A qué se deben los cambios dimensionales ocasionados al templar aceros?

REVENIDO

PRACTICA No. 2

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.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Probetas de acero templadas anteriormente.*
- *Mufla.*
- *Microscopio metalográfico.*
- *Durómetro.*
- *Pinzas de sujeción.*
- *Guantes de asbesto.*
- *Material para pulir las probetas.*
- *Reactivo de ataque para el acero (Nital al 2%).*

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 una hora.*
3. *Después del tiempo señalado en el punto anterior, se apaga la mufla y se retira una de las probetas, la que se dejará enfriar al medio ambiente y la otra se dejará enfriar dentro de la mufla.*
4. *Pulir y atacar las probetas de acero ya enfriadas.*
5. *Observar al microscopio a 400x y dibujar el campo observado.*
6. *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 ? ¿ Si ?, ¿ No ? y ¿ Por qué ?.*
- 5. ¿Cuál es el constituyente que se obtiene después del revenido ?.*

RECOCIDO

PRACTICA No. 3

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

- Probetas de acero tratadas anteriormente mediante el temple.*
- Mufla*
- Durómetro*
- Pinzas de sujeción*

- *Guantes de asbesto*
- *Reactivo de ataque para el acero (nital al 2%)*
- *Elementos para desbaste y pulido*

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. *Una vez enfriadas las probetas, pulirlas atacarlas y observarlas al microscopio a 400x. Dibujar lo observado.*
5. *Efectuar la prueba de dureza y comparar los valores obtenidos con los originales.*

CUESTIONARIO

1. *¿Cuál es el propósito del recocido?*
2. *¿Recuperó el acero sus constituyentes y propiedades originales? ¿Por qué?*
3. *¿Qué relación hay entre el recocido y la resistencia a la corrosión?*
4. *Explicar las diferentes variantes que existen del tratamiento térmico de recocido.*

NORMALIZADO

PRACTICA No.4

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 tratada anteriormente.*
- *Mufla.*
- *Microscopio metalográfico.*
- *Durómetro.*
- *Pinzas de sujeción.*
- *Guantes de asbesto.*
- *Reactivo de ataque para el acero.*
- *Elementos para desbaste y pulido.*

PROCEDIMIENTO

Tomar una probeta tratada anteriormente y normalizarla.

- 1. Colocar la probeta en el horno y calentar lentamente hasta alcanzar la temperatura de normalizado.*
- 2. Mantener esa temperatura durante una 30 minutos.*
- 3. Después enfriar la probeta al aire.*
- 4. Una vez enfriadas las probetas al aire, pulirlas, atacarlas y observarlas al microscopio con 400x. Dibujar lo observado.*
- 5. Realizar la prueba de dureza y anotar los resultados obtenidos.*
- 6. Comparar los resultados del normalizado y del recocido.*

CUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué es el normalizado y que tipo de estructura produce?*
- 2.- ¿Qué diferencia existe entre el normalizado y el recocido?*
- 3.- ¿Qué ventajas ofrece el enfriamiento al aire?*
- 4.- ¿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 ?*

PRUEBA DE TEMPLABILIDAD JOMINY

PRACTICA No. 5

OBJETIVOS

- 1. Conocer y realizar la prueba Jominy, para determinar la templabilidad de un acero.*
- 2. Determinar y comparar la dureza a lo largo de la probeta de Jominy de acuerdo a diversas velocidades de enfriamiento.*

INTRODUCCIÓN

Hace muchos años los productores de acero desarrollaron manuales extensos que mostraban los perfiles de dureza que se podían lograr en diversos aceros con diferentes condiciones de temple para varios espesores.

Después de pensar un poco vemos que con las variables de composición el espesor de la sección y el medio de temple, se necesitaría literalmente de miles de curvas para tener en cuenta todas las posibilidades.

Además, surgió la pregunta de cómo se podía comprobar un lote de acero para saber cual era su capacidad de endurecimiento, dentro de la variación de los análisis químicos de los lingotes comerciales.

Para resolver el problema de evaluar millones de toneladas de acero en la industria automotriz, Walter Jominy y sus asociados desarrollaron la barra para evaluar la templabilidad. El fundamento de este ensayo es producir en una sola barra, una gran cantidad de velocidades de enfriamiento conocidas.

La prueba de Jominy es un procedimiento de laboratorio para medir la templabilidad de un acero. Se prepara una probeta estándar y se austenitiza en la manera normal para el acero dado.

El enfriamiento brusco, sin embargo se hace sólo en uno de los extremos de la probeta, por medio de un chorro estándar de agua. Así, la intensidad de enfriamiento variará a lo largo de la barra desde un máximo cerca del extremo enfriado hasta un mínimo en el otro extremo.

La medición de la dureza Rockwell C sobre una zona plana rectificada a lo largo de toda la probeta enfriada, da una indicación fidedigna de la estructura.

El diagrama de todos los valores de dureza conforma la curva de Jominy para la muestra de acero que se prueba. Debido a las inevitables variaciones de composición que ocurre durante la producción industrial de un tipo de acero específico, las curvas de Jominy varían considerablemente de una colada a otra.

La dureza mayor se encuentra en el extremo templado, (donde se tiene contacto con el agua) es en esta zona donde se forma martensita, y la dureza disminuye a medida que las mediciones se alejan de dicho extremo.

Con estos datos de algunas curvas de Jominy, para los aceros mas importantes, se puede elegir el acero apropiado para una pieza determinada.

El método más usual de comprar acero se basa en su composición química, lo cual permite una considerable variación en el contenido de carbono y de aleación del acero; por ejemplo: un acero AISI 4340 tiene el intervalo de composición de 0.38 a 0.43% de C, de 0.60 a 0.80 de Mn y de 0.30 de Mo.

MATERIAL Y EQUIPO

- *Barra de acero con dos superficies planas, paralelas longitudinalmente a una profundidad de 1/5 de pulgada.*
- *Mufla.*
- *Durómetro Rockwell.*
- *Dispositivo para llevar acabo la práctica (se encuentra instalado en el laboratorio).*

PROCEDIMIENTO

- 1.- *La barra de acero que va a ensayarse tiene 4 pulgadas de longitud y una pulgada de diámetro, cuenta con dos caras planas paralelas a los costados y además tiene un reborde en el extremo superior de la barra, el cual tiene como objetivo sostener la pieza.*
- 2.- *Se calienta la barra en la mufla hasta alcanzar la temperatura de austenitización y se mantiene así durante 30 min. aproximadamente.*
- 3.- *A continuación se coloca la probeta en el dispositivo.*
- 4.- *El agua se suelta rápidamente de modo que el chorro golpee sólo el extremo de la barra, el extremo templado se enfría rápidamente y las regiones que quedan lejos del extremo se enfrían a velocidades proporcionales a su distancia de la porción templada.*
- 5.- *Después de que la barra esté fría, se retira del soporte y se toman medidas de la dureza Rockwell C cada 1/16 de pulgada.*
- 6.- *Se deberá hacer una gráfica característica con los resultados obtenidos en el durómetro a lo largo de la barra.*

CUESTIONARIO

1. *¿La barra que sometimos a la prueba, tenía un tratamiento térmico previo? ¿Si o No? y ¿Por qué?*
2. *¿Esta prueba es exclusiva de los aceros o también la podemos emplear en otro tipo de materiales, por qué?*
3. *En un lote de 100 toneladas de acero de producción de acero, ¿Cuántas pruebas sería conveniente hacer?*
4. *¿Este tipo de prueba es costosa? ¿Por qué?*
5. *¿Cómo podríamos determinar cuando un acero cuenta con una buena templabilidad después de hacerle la prueba?*
6. *Cuando hablamos de velocidad de enfriamiento, ¿Qué es lo que entendemos?*

CORROSION UNIFORME

PRACTICA No. 6

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.

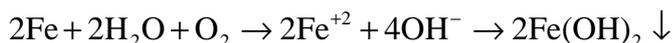
En esta forma de corrosión el metal se va adelgazado de una manera casi uniforme, hasta que eventualmente desaparecen grandes porciones de él.

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:

Reacción Anódica: $Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e$

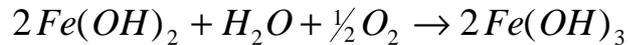
Reacción Catódica: $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$

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 milímetros cuadrados

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. A continuación se pesarán y medirán a fin de obtener su área.*
- 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 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 esta 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?*

CORROSIÓN GALVANICA

PRACTICA No.7

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

	<i>Reacción en Equilibrio</i>	<i>E° (volt)</i>
<u><i>Noble o</i></u> <i>Catódico</i>	$Au^{2+} + 3e \rightarrow Au$	+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
<u><i>Activo o</i></u> <i>Anódico</i>	$Ni^{2+} + 2e \rightarrow Ni$	-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, nos 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 consideramos 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. *Describe 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?*

EFEECTO DE ÁREA

PRÁCTICA 8

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 una 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?*

PASIVIDAD

PRACTICA No.9

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.

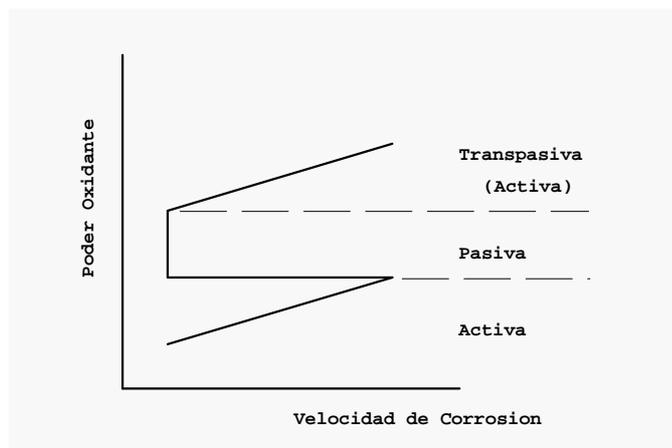


Figura 1.- Comportamiento típico de un metal que experimenta pasividad

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 10 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 min.*

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%?*

ELECTRODEPOSICION

PRACTICA No. 10

OBJETIVO

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

INTRODUCCIÓN

La electrodeposición o galvanoplastía es una operación mediante la cual se deposita una capa de metal sobre otro metal gracias 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 a las cuales les proporciona 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 = 96500 C/mol

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

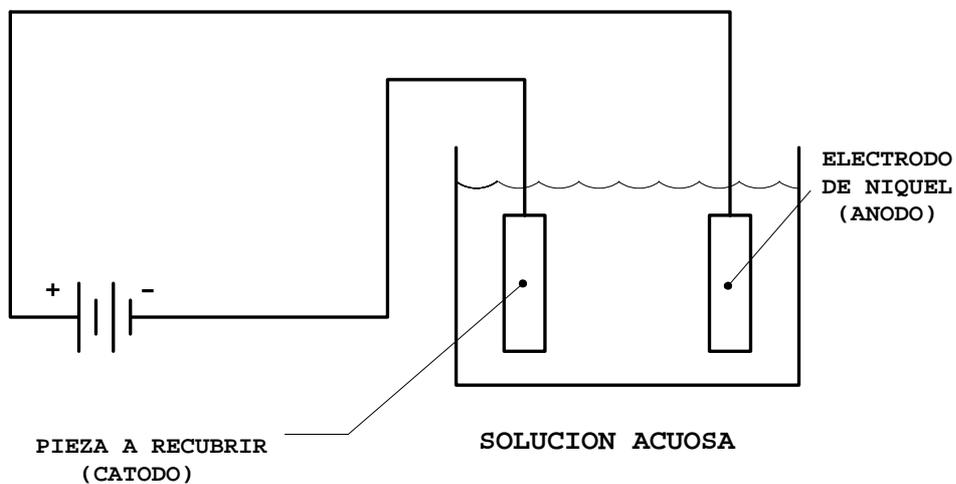
n = Valencia del metal que se deposita.

EQUIPO Y MATERIAL

- Fuente de C.D.
- 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

McGraw-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. McGannon.

United States Steel. Published by Association of Iron and Steel Engineers. 1985.

5.- Metals Handbook. 8th Edition

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.

APÉNDICES**Tabla 1.- Factores de corrección de dureza 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

Diagrama de fases Fe-Fe₃C

