

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES-CUAUTITLÁN



DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA



LABORATORIO DE TECNOLOGÍA DE MATERIALES

LABORATORIO DE BIOMATERIALES



ING. ENRIQUE CORTÉS GONZÁLEZ

M.I. FELIPE DÍAZ DEL CASTILLO RODRÍGUEZ

CUAUTITLÁN IZCALLI, EDO. DE MÉXICO.

2014

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN A LOS BIOMATERIALES	1
2. EL MICROSCOPIO METALOGRAFICO	13
3. PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALOGRAFICAS	17
4. PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL	25
5. CORROSIÓN UNIFORME	33
6. CORROSIÓN GALVÁNICA	36
7. EFECTO DE ÁREA	41
8. PASIVIDAD	44
9. ELECTRODEPOSICIÓN	47
BIBLIOGRAFÍA	50

INTRODUCCIÓN A LOS BIOMATERIALES

PRACTICA 1

OBJETIVO

- Definir y mostrar las características principales de los biomateriales.

INTRODUCCIÓN

Los biomateriales son materiales farmacológicamente inertes, utilizados para ser incorporados o implantados dentro de un organismo vivo para reemplazar o restaurar alguna función, permaneciendo en contacto permanente o intermitente con fluidos corporales. Desde la antigüedad el hombre ha experimentado con cierto tipo de implantes como el oro, la madera o el vidrio para mejorar la visión, en odontología fue muy popular el reemplazo de piezas dentales colocándoles trozos de oro o reemplazándoles completamente. En la actualidad se puede ver toda una gama de implantes debido al descubrimiento de nuevos materiales inertes que permiten reemplazar partes del organismo que se han visto afectados en un accidente o enfermedad o simplemente por estética ya que se desea que determinadas partes del cuerpo tengan un contorno diferente. Describamos algunas características de estos materiales y lo que la medicina y la industria están usando con ellos.

Biocompatibilidad

Reacción del tejido frente a la lesión:

El enfoque que inicialmente se dio al concepto de biocompatibilidad fue el que se acostumbra a dar cuando se está buscando algo que en realidad no se sabe lo que es: se dice lo que no se quiere que sea, así con un enfoque de tipo negativo se decía que un biomaterial:

- No debía producir respuesta del sistema inmunitario
- No debía ser tóxico, ni por sí mismo
- Ni por los productos de su degradación,

- No debía ser carcinógeno, ni a corto ni a largo plazo, ya fuese por si mismo o por los productos de su degradación,
- No debía ser incompatible, médicamente hablando,
- No debía ser hemodinámicamente incompatible.

Esta aproximación negativa no puede dar lugar a una metodología experimental que permita caracterizar el concepto de biocompatibilidad. Puesto que en Ciencia es imprescindible evaluar cuantitativamente para poder comparar y tomar decisiones, se hacía necesario proceder a establecer criterios cuantificables. La comunidad científica ha venido trabajando en este sentido y a partir de la racionalización de los procesos que tienen lugar al entrar en contacto un biomaterial con los tejidos vivos circundantes, ha sido posible empezar a establecer protocolos de ensayos que permiten medir, aunque solo sea parcialmente el grado de compatibilidad, o en ciertos casos de toxicidad. Existen así en la literatura ensayos normalizados, aunque es todavía un reto para toda la comunidad científica que trabaja en este campo el llegar a una normativa completa en cuanto a los ensayos a realizar para poder asegurar la biocompatibilidad de un producto.

Dado que la biocompatibilidad busca la aceptabilidad biológica, esta puede examinarse a varios niveles de interacción:

- La interacción entre el material y los tejidos.
- La reacción resultante de la degradación del material.
- Factores mecánicos (elasticidad, tenacidad etc.) o físicos.

Además la interacción debe considerarse tanto del implante hacia el tejido como a la inversa. Cualquier riesgo biológico que pueda ser consecuencia de la utilización de biomateriales, depende de una serie de factores incluyendo el uso, frecuencia, duración de la exposición, cantidad o identidad de sustancias migradas al cuerpo humano así como la actividad biológica de dicha sustancia.

Ingeniería biomédica

A fin de educar profesionistas capaces de este tipo de desarrollos, las universidades en el mundo abrieron varias carreras que unen conocimientos en diversas áreas de la ingeniería con la medicina, biotecnología, bioingeniería, biomecánica e ingeniería biomédica, y la formación en biomateriales es una de las importantes materias en el proceso de educación de expertos en ingeniería biomédica.

Los biomateriales, sustancias naturales o sintéticas cuya misión es reemplazar una parte o alguna función de nuestro organismo, de forma segura y fisiológicamente aceptable, se pueden clasificar de diversas formas: según su composición química, en biometales, biopolímeros, biocerámicos, biocompuestos y semiconductores; según su origen, en naturales y sintéticos.

Otra forma más práctica de clasificar los son los dispositivos implantables, los cuales se implantan un tiempo en el cuerpo humano para sustituir una función, y los no implantables, entre los cuales se incluyen sondas y catéteres, entre otros.

Propiedades requeridas en los biomateriales

Las características exigidas por el cuerpo humano para una articulación artificial hacen que las propiedades requeridas en los materiales utilizados en prótesis sean muy restrictivas. Por esta razón, se requieren materiales biocompatibles; es decir, materiales que produzcan un grado mínimo de rechazo en el cuerpo humano. Los fluidos corporales son altamente corrosivos, y las aleaciones metálicas deben ser resistentes a la corrosión.

Otro aspecto que se debe considerar, son las propiedades mecánicas, las cuales son de suma importancia en la selección de materiales para prótesis, debido a que el sistema músculo-esquelético, junto con el movimiento, promueve fuerzas considerables para las prótesis.

Debido a que las superficies de la articulación están en contacto, y tienen un movimiento relativo entre ellas, las prótesis están sujetas a desgaste. Una de las consecuencias del desgaste en las superficies de los implantes es la generación de partículas de desecho. La acumulación de estas partículas en los tejidos circundantes de la articulación puede causar inflamación y dolor.

Además de lidiar con las condiciones mencionadas anteriormente, otro aspecto que se debe considerar en la selección de materiales para implantes quirúrgicos es que sus componentes sean ligeros, de bajo costo, y sus propiedades, estables a través del tiempo.

Idealmente, una prótesis implantada debe funcionar satisfactoriamente durante toda la vida del paciente, de manera que no sea necesario su reemplazo. Sin embargo, en los diseños actuales, la vida de las prótesis varía entre 10 y 15 años para el caso de la prótesis total de cadera, por lo que existe un gran interés en la comunidad científica por desarrollar prótesis de mayor durabilidad para la creciente longevidad de que actualmente goza la población.

Biomateriales metálicos

En la década de 1920, Reiner Erdle y Charles Orange, quienes unieron sus conocimientos de médico dentista y metalurgia respectivamente, desarrollaron la aleación Vitallium, que fue el primer biomaterial metálico aleado con características mecánicas de biocompatibilidad y de resistencia a la corrosión, aceptables para aplicaciones en prótesis quirúrgicas. Esta aleación de cobalto (65 % de Co, 30 % de Cr y 5 % de Mo), fue el punto de partida para una serie de investigaciones multidisciplinarias en el desarrollo de nuevas aplicaciones ortopédicas, como clavos, tornillos y fijadores de huesos fracturados, además de varios tipos de implantes de reemplazo articular, como cadera, rodilla, hombro, codo, entre otras.

Posteriormente, en la década de 1930 se desarrolla el acero inoxidable grado quirúrgico 316LQ, que es un acero con bajo contenido de carbono, 18 % de cromo, 8 % de níquel, y 2 % de molibdeno.

Otras aleaciones que han tomado gran importancia en aplicaciones aeronáuticas y aeroespaciales, así como en aplicaciones médicas para implantes quirúrgicos, son las de base titanio, especialmente la aleación Ti6Al4V, la cual presenta ventajas superiores en peso, propiedades mecánicas y de resistencia a la corrosión con respecto a las aleaciones base cobalto y acero inoxidable. Sin embargo, tiene una resistencia baja al desgaste, así como un alto costo. Esta aleación ha sido modificada, intercambiando el Vanadio por el Niobio, lo cual ha dejado una notable mejora en el índice de biocompatibilidad.

Por otra parte, con el objeto de incrementar la resistencia al desgaste, se ha implementado el uso de recubrimientos duros en cabezas femorales, aplicados mediante técnicas de depositación física en fase vapor (PVD), además de utilizar materiales cerámicos como alúmina (Al_2O_3) o circonia (ZrO_2).

Biomateriales poliméricos

Existe una gran variedad de polímeros biocompatibles: los polímeros naturales, como por ejemplo la celulosa, glucosalina, etcétera, y polímeros sintéticos, como, por ejemplo, polietileno de ultra alto peso molecular (UHMWPE), PVC, nylon, silicona, etcétera. El desarrollo de los biopolímeros en las aplicaciones incluye prótesis faciales, partes de prótesis de oído, aplicaciones dentales; marcapasos, riñones, hígado y pulmones.

Películas delgadas y capas de PVC se utilizan en bolsas de almacenamiento y empaquetamiento quirúrgico de sangre y otras soluciones; partes de esófago, segmentos de arterias, suturas biodegradables, partes de implantes articulares en dedos, acetábulo de cadera y rodilla, entre otros.

Biomateriales cerámicos

Los biocerámicos son compuestos químicos complejos que contienen elementos metálicos y no metálicos. Debido a sus enlaces iónicos o covalentes, son generalmente, duros y frágiles. Además de tener un alto punto de fusión y una baja conductividad térmica y eléctrica, los cerámicos se consideran resistentes al desgaste. Los principales biocerámicos son alúmina, zirconia, hidroxiapatita, porcelanas, vidrios bioactivos, etcétera. Sus principales aplicaciones están en el sistema óseo, con todo tipo de implantes y recubrimientos en prótesis articulares; también se utilizan en aplicaciones dentales, en válvulas artificiales, cirugía de la espina dorsal y reparaciones craneales.

En la tabla 1.1 se muestran las características de los principales biomateriales.

Tabla 1.1. Características de los principales biomateriales

BIOMATERIALES	VENTAJAS	DESVENTAJAS	APLICACIONES
<p>Polímeros:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Silicón ➤ Teflón ➤ Dacrón ➤ Nylon 	<ul style="list-style-type: none"> - Elásticos - Fáciles de fabricar - Baja densidad 	<ul style="list-style-type: none"> -Baja resistencia mecánica - Degradación con el tiempo 	Suturas, arterias, venas, nariz, orejas, mandíbulas, dientes, implantes
<p>Metales:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Aceros inoxidables ➤ Aleaciones de titanio ➤ Aceros de bajo carbono 	<ul style="list-style-type: none"> - Resistencia a esfuerzos mecánicos - Alta resistencia al desgaste 	<ul style="list-style-type: none"> -- Baja biocompatibilidad en medios fisiológicos. - Alta densidad - Pérdida de propiedades mecánicas con tejidos conectivos suaves 	Fijación ortopédica: tornillos, clavos, alambres, placas, barras intermedulares, implantes dentales, etc.
<p>Cerámicas:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Óxidos de aluminio ➤ Aluminatos de calcio ➤ Óxidos de titanio ➤ Carburos 	<ul style="list-style-type: none"> - Buena biocompatibilidad - Resistencia a la corrosión - Inerte 	<ul style="list-style-type: none"> - Fractura ante esfuerzos de alto impacto - Fabricación difícil - Baja resistencia mecánica - Baja resistencia mecánica - Inelásticos - Alta densidad 	Prótesis de cadera, dientes, dispositivos transcutáneos.
<p>Compuestos:</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ Cerámica-metal ➤ Carbono- otro material 	<ul style="list-style-type: none"> -Buena compatibilidad - Inerte - Resistentes a la corrosión - Alta resistencia a los esfuerzos 	<ul style="list-style-type: none"> - Carecen de consistencia en la fabricación del material 	Válvulas cardíacas, uniones óseas, marcapasos

Algunas aplicaciones de los biomateriales

A continuación se describen algunas aplicaciones actuales de los principales biomateriales:

Prótesis total de cadera

La solución para fractura de cadera, y enfermedades como la artritis, entre otras, puede ser una prótesis total de cadera vista en la figura 1.1. Esta articulación está formada por una copa acetabular (UHMWPE, Co-Cr, Al_2O_3 , ZrO_2), la cual se fija en la pelvis y sirve como asiento para una esfera cuyo vástago (Co-Cr, 316LQ, Ti6Al4V) es empotrado en el fémur. Los dos elementos artificiales restauran el sistema articular tipo rótula, con el cual el paciente puede volver a caminar.

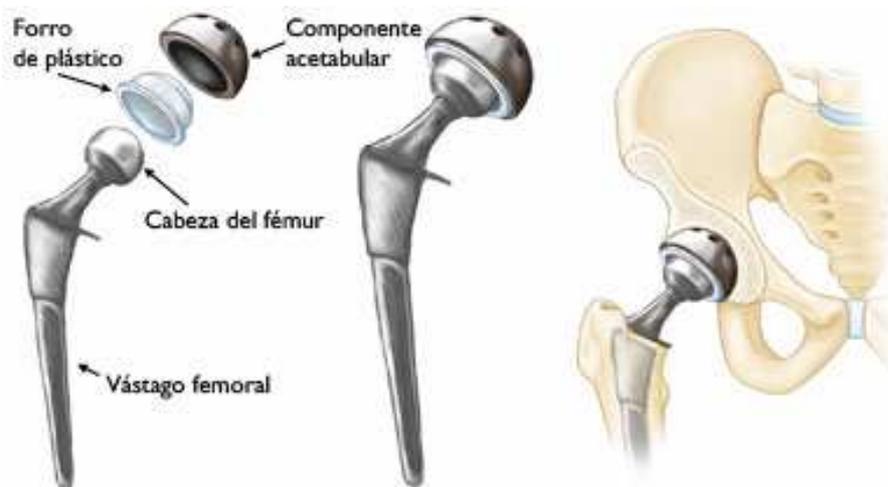


Figura 1.1. Prótesis de cadera

Implante de rodilla

El reemplazo de rodilla es uno de los avances más importantes en la cirugía ortopédica, y fue realizado por primera vez en el año 1968. En la figura 1.2 se puede ver los componentes de una prótesis total de rodilla.



Figura 1.2. Prótesis total de rodilla, en la parte inferior se tiene la componente tibial y en la parte superior la componente femoral.

Válvulas de corazón

El corazón es una parte vital de la anatomía humana, dado que es una bomba de recirculación de la sangre a través del cuerpo. Las válvulas del corazón permiten que éste bombee sangre eficientemente. Estas válvulas son propensas a fallar por enfermedades; sin embargo, pueden ser sustituidas por las válvulas prostéticas artificiales.

Las válvulas mecánicas son excelentes en términos de durabilidad, pero son obstaculizadas por su tendencia a coagular la sangre. Las válvulas biológicas son de menor durabilidad y se deben sustituir periódicamente, figura 1.3



Figura 1.3 a) Válvula mecánica b) Válvula biológica (humana o porcina)

Lentes intraoculares

En la cirugía de la catarata y en la lensectomía refractiva se elimina el cristalino, la lente natural del ojo, figura 1.4 y se sustituye por una lente artificial que se denomina lente intraocular o, del latín, pseudofaco. Como acrónimo se utiliza en español la palabra L.I.O. y en inglés I.O.L.

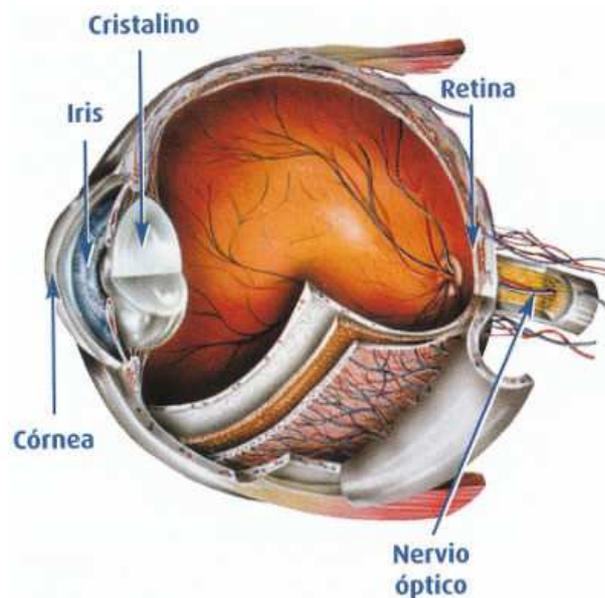


Figura 1.4. Principales elementos constitutivos del ojo humano.

La evolución de la operación de cataratas mostró un avance muy importante en 1949, cuando un oftalmólogo inglés llamado Harold Ridley desarrolló e implantó el primer lente intraocular Si

bien los cirujanos habían estado extrayendo cataratas por siglos, hasta el descubrimiento de Ridley, no existía una manera segura o eficaz de sustituir el cristalino extraído. El lente intraocular de Ridley, fabricado de un plástico duro que imitaba al cristalino, finalmente permitió a los pacientes de cataratas la posibilidad de restaurar alguna parte de su visión original.

Actualmente, las lentes intraoculares están hechas de materiales biocompatibles muy manejables usándose principalmente un plástico duro denominado metacrilato de polimetilo (PMMA), silicona o un acrílico blando y plegable denominado material para el lente y que mantienen sus características toda la vida, observándose sólo en muy raras ocasiones un desgaste del mismo que obliga a su recambio. Estas lentes se introducen en el interior del ojo plegadas sobre si mismas, abriéndose al alcanzar su posición definitiva, figura 1.5.

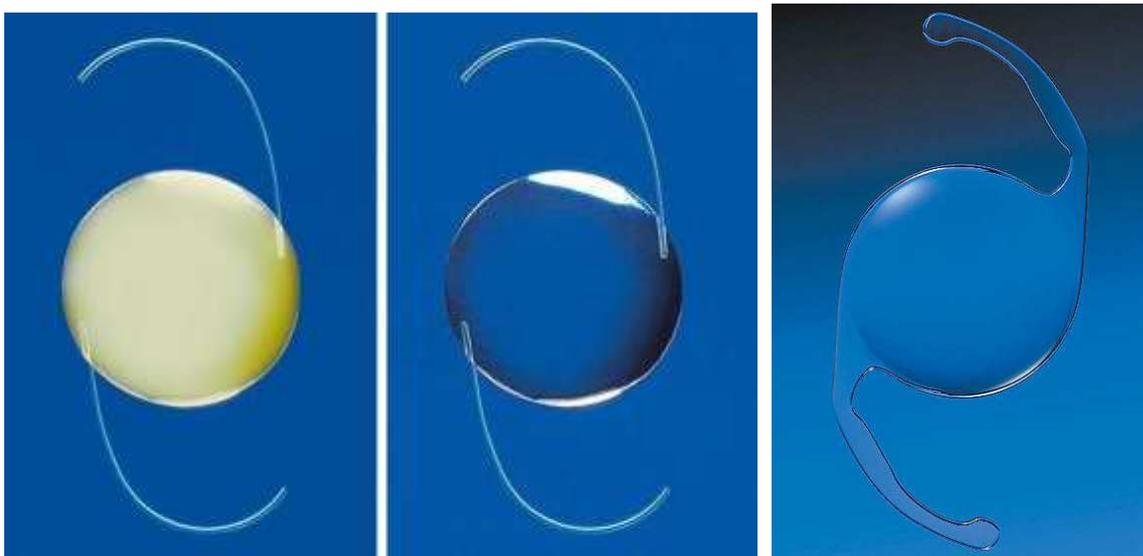


Figura 1.5. Lentes monofocales monobloque y de tres piezas

Implantes dentales

El surgimiento de los implantes dentales ha influenciado grandes cambios en la odontología clínica en la segunda mitad del siglo XX.

Mediante técnicas quirúrgicas específicas, es posible reemplazar piezas dentales perdidas, por otras sintéticas, con las mismas funciones y gran duración.

La prótesis consta de tres partes fundamentales, llamadas corona, perno o muñón, que soportará a la corona y el implante propiamente dicho que reemplazará la raíz del diente.

Espina dorsal

El primer procedimiento quirúrgico por un disco herniado torácico fue reportado por Middleton y Teacher en 1911. Desde los años 1930 hasta la actualidad, se emplea el material metálico en prótesis en las cirugías.

En 1966 se hizo la primer cirugía con prótesis, substituyendo un disco cervical.

Presente y futuro

En la actualidad, en el mundo de los biomateriales se formulan tres importantes cuestiones:

- ¿Qué calidad de vida proporcionarán?
- ¿Cuánto durarán?
- ¿Cuál es su precio?

Las respuestas no son en ningún caso satisfactorias al ciento por ciento; sin embargo, sí son positivas en líneas generales para un elevado número de pacientes. Para llegar, o al menos aproximarse a ese cien por cien deseado, hay todavía mucho trabajo por hacer, desde los campos investigador, médico, técnico e industrial.

A los biomateriales, materiales implantables intracorporalmente, se les exige que lleven a cabo una función adecuada y no ocasionen ningún daño al organismo. Entre sus características es imprescindible que sean biocompatibles, esto es, biológicamente aceptables.

Factores decisivos a la hora de evaluarlos son su biocompatibilidad y su duración, ya que estos materiales tienen que permanecer en contacto con los tejidos vivos, por lo que es imprescindible que posean una buena compatibilidad, es decir, que no se produzcan reacciones no deseadas en la interfaz tejido-material, y que mantengan sus prestaciones durante el tiempo que tengan que estar en servicio.

Como podemos ver la medicina usa de forma frecuente este tipo de biomateriales para muchos usos que van desde arreglar nuestro aspecto o poder salvarnos la vida, sin embargo es muy

frecuente también encontrar otras situaciones que desdibujan un tanto el noble propósito de estos materiales, veamos un poco mas sobre esta situación.

CUESTIONARIO

1. ¿Qué se entiende por biomaterial?
2. ¿Qué es la biocompatibilidad?
3. Mencione 10 aplicaciones actuales de los biomateriales
4. Las propiedades mecánicas de los biomateriales son muy importantes, ¿cuáles son las más importantes?
- 5.- ¿Qué es corrosión?
6. ¿Cómo se clasifican los aceros inoxidable?
7. El titanio y algunas de sus aleaciones son biomateriales muy utilizados actualmente, describa sus principales características.
8. Describa las ventajas y desventajas de los biomateriales poliméricos.
9. Describa las ventajas y desventajas de los biomateriales cerámicos.
10. Defina las aleaciones con memoria de forma.

EL MICROSCOPIO METALOGRÁFICO

PRACTICA 2

OBJETIVO

- Conocer y aprender a utilizar el microscopio metalográfico.

INTRODUCCIÓN

El microscopio metalográfico es un instrumento con un arreglo tal que permite observar la luz reflejada por la superficie opaca del metal.

En el microscopio metalográfico más común, la probeta de metal se dispone en la parte superior del aparato con la superficie a examinar vuelta a abajo. El objetivo se halla colocado abajo de la platina, donde también se encuentra el haz de luz para iluminar la probeta.

El haz de luz atraviesa el objetivo y al ser reflejado por la probeta vuelve a pasar por este para dar una imagen en el ocular de observación y/o en la película dispuesta en la cámara fotográfica.

El arreglo más comúnmente usado es el ideado por Le Chatelier. Es una inversión del sistema objetivo-platina, figura 2.1.

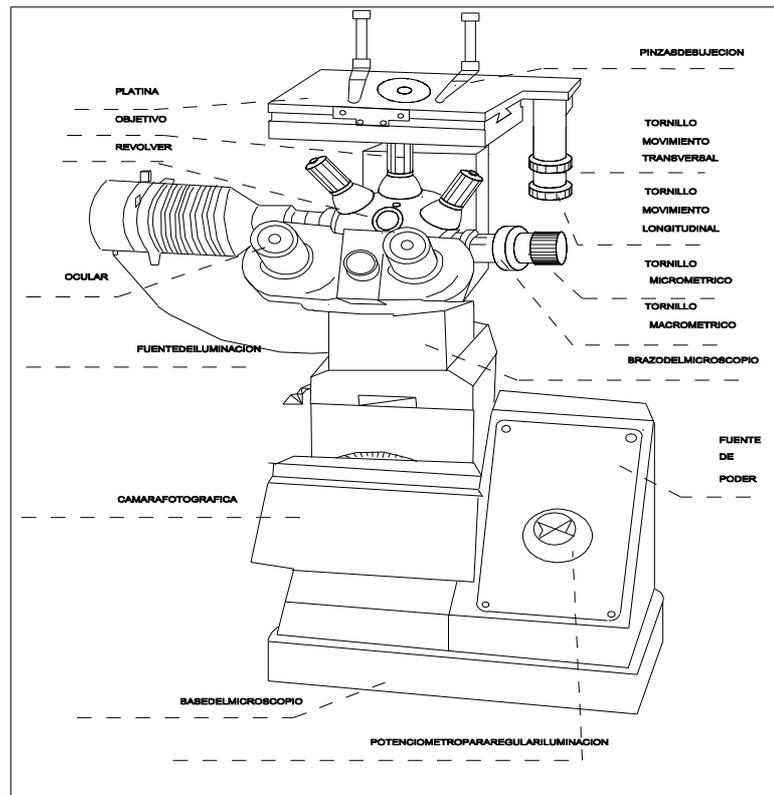


Figura 2.1. Microscopio metalográfico

MATERIAL Y EQUIPO

- Microscopio metalográfico provisto de ocular de 10X y objetivos de 6.5X, 10X y 40X
- Fuente de iluminación
- Probetas de diferentes materiales

PROCEDIMIENTO

- 1.- Conectar la fuente de iluminación al contacto y conectar esta al microscopio.
- 2.- Encender el microscopio observando las precauciones de uso.
- 3.- Colocar la probeta sobre la platina del microscopio.
- 4.- Seleccionar la resolución adecuada para la observación.
- 5.- Enfocar por medio de los tornillos macrométrico y micrométrico el campo a observar.

- 6.- En caso necesario ajustar el diafragma.
- 7.- Dibujar el campo observado en las resoluciones que indique el profesor.

PRECAUCIONES DE USO

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

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y FORMULAS

G = Aumento total del microscopio

g_1 = Aumento del objetivo

g_2 = Aumento del ocular

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

a = Apertura numérica

λ = Longitud de onda

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

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

FORMULAS

$$G = g_1 \times g_2 \dots (2.1)$$

$$d = \frac{\lambda}{2a} \dots (2.2)$$

$$G = \frac{d_{\text{ojo}}}{d_{\text{objetivo}}} \dots (2.3)$$

CUESTIONARIO

- 1.- ¿Para qué sirven los tornillos macrométrico y micrométrico?
- 2.- ¿Qué se entiende por resolución?
- 3.- ¿Para qué sirven los diafragmas de campo?
- 4.- ¿Para qué sirven los diafragmas de abertura?
- 5.- Explique la técnica de campo oscuro.
- 6.- Explique la técnica de campo claro.
- 7.- PROBLEMA. Supóngase que se quiere observar una estructura laminar cuya separación es de 0.2 micras, para lo cual se piensa utilizar un filtro verde ($\lambda = 5300 \text{ \AA}$), si se utiliza un ocular de 10X.
 - a.) Determine el objetivo mínimo necesario para observar la estructura.
 - b.) Calcular la abertura del objetivo.

PREPARACIÓN DE MUESTRAS METALGRÁFICAS

PRÁCTICA No. 3

OBJETIVO

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

INTRODUCCIÓN

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

La naturaleza submicroscópica de la estructura se estudia utilizando microscopios y sondas, por la microscopía de iones de campo, diafractómetros electrónicos y de rayos-X, dispositivos de exploración y otros dispositivos muy complejos.

Las técnicas submicroscópicas tienen su aplicación más importante en los laboratorios de investigación. Los estudios ópticos microscópicos proporcionan resultados que son útiles no solo a los científicos, sino también a los ingenieros. El examen de la microestructura es a veces útil para determinar si un metal o una aleación satisface las especificaciones en relación con trabajos mecánicos anteriores, tratamientos térmicos y composición general.

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

La metalografía de línea es un método para preparar muestras pequeñas de acero blando con el fin de hacer un examen metalográfico. Los cinco pasos que casi siempre se requieren para efectuar este tipo de pruebas son:

1. Hacer un corte transversal
2. Montaje
3. Desbastar
4. Pulir
5. Atacar con un reactivo químico adecuado.

CORTE TRANSVERSAL.- Por lo general, se deben cortar uno o varios trozos pequeños del objeto que se va a examinar. La ubicación de estas muestras y la forma en que se corten afectarán los resultados y su interpretación. por ejemplo, una varilla de acero estirada en frío puede cortarse en tal forma que quede expuesta una sección transversal o longitudinal, y ambas secciones variarán notablemente en su aspecto. En el caso del acero (y de algunas otras aleaciones), es necesario evitar el calentamiento de la muestra al hacer el corte. Si el acero se ha enfriado por inmersión en agua, el calor producido al hacer el corte puede ser suficiente para templearlo y alterar el estado de la superficie, que más tarde deberá pulirse y atacarse con ácido. Casi siempre es conveniente realizar los cortes, utilizando un medio refrigerante o hacerlo lentamente, a fin de que el calor generado en la pieza no altere su estructura.

MONTAJE.- Si la probeta que va a examinarse es lo suficientemente grande para que pueda sujetarse bien con la mano, no es necesario montarla. No obstante, la mayoría de las veces la probeta es demasiado pequeña para que pueda sostenerse en forma (por ejemplo, un tramo de varilla, alambre o lámina), mientras se esmerila o pule, por lo que en este caso, será necesario montarla, utilizando para ello baquelita.

DESBASTE BURDO O GRUESO.- El desbaste grueso se logra mejor en un esmeril húmedo de banco o en una acabadora de superficies de bandas húmedas. El objetivo del esmerilado es obtener una superficie plana, libre de toda huella de marca de herramientas, y en las que todas las marcas del esmerilado sigan la misma dirección. Se puede esmerilar en seco a condición de que se tenga cuidado de no producir cambios estructurales por el sobrecalentamiento de la muestra. Luego la muestra se lava y se seca antes de pasar de una etapa de la operación de esmerilado a la siguiente.

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

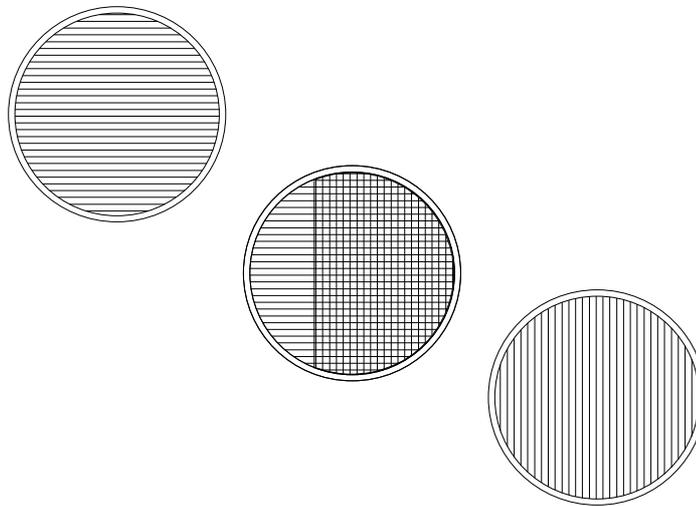


Figura 3.1. Desbaste a 90° en diferentes pasos.

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

Se procede a hacer el pulido final después de lavar con sumo cuidado tanto las manos como la muestra, a fin de evitar cualquier contaminación de la rueda de pulido. A esta rueda cubierta de tela se le aplica una suspensión de alúmina. La muestra se hace girar con lentitud en sentido contrario al de la rotación de la rueda y se pule hasta que desaparecen las marcas dejadas por la alúmina anterior.

Si los pasos descritos se realizan debidamente, este pulido no debe requerir más de dos minutos. Los resultados del pulido pueden mejorar si la última etapa de pulido se efectúa en una rueda de baja velocidad.

ATAQUE QUÍMICO.- Un reactivo común para atacar el acero es el nital, que consiste de 2 por ciento de ácido nítrico disuelto en alcohol etílico. El nital se vierte en un recipiente y la muestra, lavada y secada previamente, se sumerge, agitándola suavemente durante un tiempo que oscila entre 5 y 20 segundos, dependiendo del contenido de carbono del acero y del tratamiento térmico previo. Inmediatamente después, se lava la muestra con agua corriente, se enjuaga con alcohol y se seca mediante un chorro de aire.

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

MATERIAL Y EQUIPO

- Probetas cortadas de barras de acero con diferentes contenidos de carbono.
- Papeles abrasivos (lijas) números 100, 220, 320, 400, 500 y 600.
- Algodón
- Alcohol
- Nital al 2 %.
- Cortadora de metales o sierra provistas de refrigeración.
- Microscopio metalográfico provisto de ocular 10X y objetivo 40X.
- Alúmina con tamaño de partícula de 5 y 0.5 micras.

PROCEDIMIENTO

Consta de las siguientes etapas:

Desbaste.

1. Apoyar sobre la mesa de trabajo el papel abrasivo de grano más grueso.
2. Tomar firmemente la probeta y apoyar la cara elegida sobre la superficie del papel abrasivo. Frotarla sobre éste arrastrándola longitudinalmente en un sólo sentido, ejerciendo una presión suficiente como para eliminar las marcas originales, cuidando de conservar la cara desbastada perfectamente plana.
3. Lavar la probeta en un chorro de agua corriente. Sacudir el exceso de agua sin tocar la cara desbastada.
4. Repetir con el papel abrasivo del número siguiente llevando a cabo la operación de desbaste ya descrita, con la probeta girada 90° respecto a la dirección anteriormente seleccionada.
5. Lavar como se dijo en la primera etapa. Las pasadas sobre el papel deberán seguirse hasta la desaparición completa de las rayas dejadas por el papel anterior.
6. Repetir esta secuencia de operaciones, siempre girando la probeta 90° respecto de la dirección anterior, en cada uno de los papeles abrasivos hasta llegar al más fino.

Pulido.

1. Agregar la suspensión acuosa de alúmina sobre el paño del disco y poner en marcha la pulidora.
2. Tomar firmemente la probeta y apoyar la cara ya desbastada sobre el paño cuidando de que la cara a pulir esté perfectamente paralela al disco, con el objeto de evitar que la probeta se escape de la mano o que los bordes se redondeen.

3. La presión deberá ser tal que se logre hacer desaparecer en unos pocos minutos las rayas del último papel abrasivo, cuidando de no excederse en la presión por el peligro del desgarramiento del paño.
4. Durante la operación de pulido la probeta deberá desplazarse en la dirección del radio, desde el borde hasta el centro del disco. La presión ejercida deberá ser ligeramente inferior a la aplicada durante la operación de desbaste.
5. Lavar la probeta en un chorro de agua. Sacudir el exceso de agua sin tocar la cara pulida. Enjuagar esta con alcohol. Secarla en corriente de aire seco o caliente, terminando el secado con algodón. Observar en el microscopio a 400X. Si persisten las rayas provenientes del desbaste en el último papel, continuar con el pulido en la forma ya descrita todo el tiempo que sea necesario para que estas desaparezcan.
6. Las rayas más finas producidas por el paño durante el pulido y que se caracterizan porque su dirección está desplazada 90° respecto de las rayas provenientes del desbaste, así como también las "colas de cometa" generadas por las inclusiones dispersas en la matriz, deberán ser eliminadas prolongando el pulido tanto como sea necesario, controlando esto microscópicamente.
7. Finalmente, dibujar el campo observado.

Ataque Químico

1. Desengrasar con alcohol la cara a atacar de la probeta previamente pulida y secarla.
2. Tomar la probeta y sumergirla, con la cara pulida hacia abajo en el reactivo de ataque contenido en el cristizador. Mantener la probeta sumegida durante el tiempo que indique el profesor.

3. Extraerla, lavarla con alcohol, secarla y observar al microscopio.
4. Registrar el campo observado a distintos aumentos.
5. Repulir y repetir la operación descrita anteriormente, cuando se sobreataque o le falte ataque.

Examen Microscópico

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

CUESTIONARIO

1. Mencione los pasos fundamentales para preparar una muestra metalográfica.
2. ¿Por qué es necesario lijar o desbastar bajo la presencia de un flujo de agua constante?
3. Mencione los diferentes métodos de pulido existentes.
4. ¿Por qué es conveniente desplazar en dirección radial la probeta durante el pulido con alúmina?
5. ¿Qué diferencias se observan entre una probeta de superficie distorsionada y otra sin distorsión?
6. ¿Qué efecto tiene un ataque químico deficiente y un sobreataque?

7. ¿Por qué después del ataque químico se ven los límites de grano?
8. Dibujar las microestructuras observadas a 100x y 400x.
9. ¿Por qué mejora el aspecto de algunas microestructuras al repulirlas y volverlas a atacar?
10. Se recomienda agregar alcohol etílico a las probetas para secarlas en la última etapa del pulido. ¿Por qué?

PRUEBA DE DUREZA ROCKWELL

PRÁCTICA No. 4

OBJETIVO

- Conocer la importancia de la medición de la dureza como prueba mecánica.
- Conocer las ventajas y limitaciones de la prueba de dureza Rockwell

INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la Ingeniería, la dureza se puede definir así:

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

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

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

En la figura 4.1 se resumen las pruebas de dureza más utilizadas hoy en día, tanto a nivel industrial como en actividades de investigación.

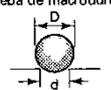
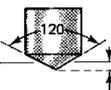
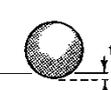
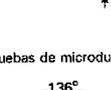
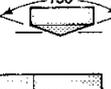
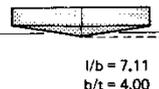
Prueba	Punzón	Forma de la muesca		Carga	Fórmula del número de dureza
		Vista lateral	Vista superior		
Pruebas de macrodureza					
Brinell	Esfera de acero o tungsteno carburo de 10 mm			P	$NDB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$
Rockwell	Cono de punta de diamante			60 kg	$R_A =$
A } C } D }				150 kg	$R_C =$
				100 kg	$R_D =$
	Esfera de acero de 1/16 de diámetro			100 kg	$R_B =$
B } F } G }				60 kg	$R_F =$
				150 kg	$R_G =$
	Esfera de acero de 1/8 de diámetro			100 kg	$R_E =$
Pruebas de microdureza					
Vickers	Pirámide de diamante			P	$NDV = 1.72P/d^2$
Knoop	Pirámide de diamante			P	$NDK = 14.2P/l^2$

Figura 4.1. Pruebas de dureza más utilizadas.

De las pruebas ilustradas, una de más usadas en la industria es la prueba de dureza Rockwell, habiendo muchas razones por las cuales esta prueba es tan popular, siendo algunas de ellas las que a continuación se mencionan:

- Es sencilla de realizar
- La dureza se lee directamente en un dial o carátula
- No requiere demasiado entrenamiento para poder realizar la prueba
- Deja una huella muy pequeña en la pieza
- Y se puede medir la dureza de una amplia gama de materiales, desde muy blandos hasta los muy duros, como pueden ser los aceros templados y los carburos sinterizados.

Se emplean dos tipos de indentador en la prueba de dureza Rockwell : el penetrador cónico de diamante (Brale) y el penetrador de esfera o bola (con diámetros de 1/16, 1/8, 1/4, 1/2 de pulgada) que se ilustran en las figuras 2 y 3

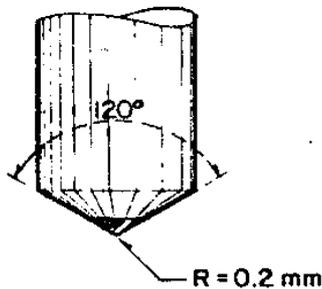


Figura 4.2. Indentador cónico de diamante (brale)

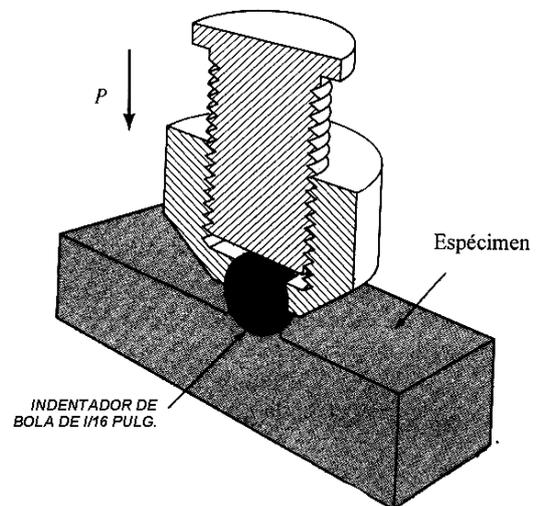


Figura 4.3. Indentador de bola de 1/16 de pulg.

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

Tipos de pruebas Rockwell.- Hay dos tipos de dureza Rockwell: normal y superficial; cada uno puede requerir el empleo de un durómetro distinto.

a) Prueba de dureza Rockwell normal.- Utiliza una carga menor de 10 kg y cargas principales de 60, 100 o 150 kg.

- b) Prueba de dureza Rockwell superficial.- Utiliza una carga inicial de 3 kg y cargas principales de 15, 30 o 45 kg.

Precauciones previas a la prueba.- Para poder realizar la prueba deben tenerse las precauciones siguientes:

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

Tabla 4.1. Factores de corrección para piezas cilíndricas

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

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

MATERIAL Y EQUIPO

- Durómetro Rockwell (figura 4.4)
- Juego de pesas
- Diferentes tipos de yunques
- Penetradores (de diamante y de bola de 1/16 pulg.)
- Probetas utilizadas en la práctica de preparación de muestras metalográficas.

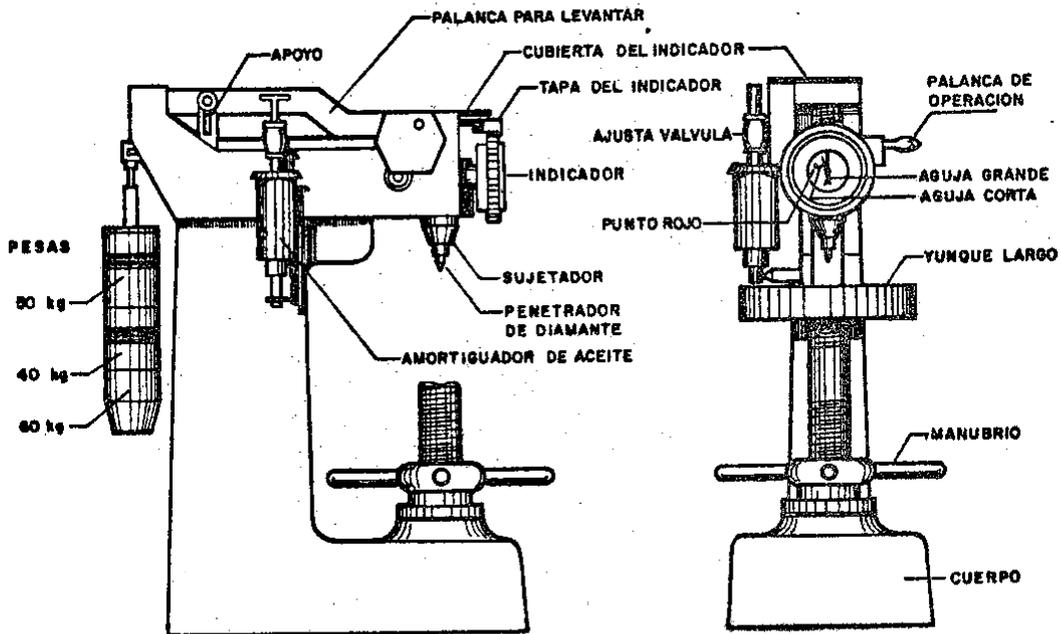


Figura 4.4. Durómetro Rockwell

PROCEDIMIENTO

- 1.- Escoja la combinación correcta de pesas (que se encuentran en la parte posterior de la máquina) y penetrador de acuerdo a la escala seleccionada en función del tipo del material a probar (una placa de datos montada en la máquina nos ayuda en dicha selección, junto con las instrucciones relativas al uso de las escalas en negro y rojo de la carátula).
- 2.- Coloque la pieza a probar en el yunque adecuado.
- 3.- Asegúrese que la palanca de operación se encuentre colocada hacia el frente y que la aguja grande o principal se encuentre en 0 negro (SET)
- 4.- Gire lentamente el manubrio para que el yunque suba como se muestra en la figura 5, hágalo hasta que el penetrador toque la pieza de prueba.

Después de hacer contacto suavemente, siga girando el manubrio hasta que la aguja grande de tres vueltas y se detenga en la posición de 0 negro (la aguja pequeña debe estar alineada con el punto rojo). El error que puede tener la aguja grande es ± 5 grados con respecto a la posición de 0 negro.

5.- Con un golpe pequeño suelte la palanca de operación hacia atrás, la carga principal comenzará a presionar poco a poco y el indentador penetrará en la pieza. La aguja girará y cuando ésta se haya detenido totalmente (contra un tope), la palanca de operación debe regresarse suavemente a su posición inicial.

6.- Anote la lectura registrada por la aguja grande en la escala adecuada (En la escala negra si se ésta usando el indentador de diamante y en la escala roja si se ésta usando el indentador de bola)

7.-Retire la carga menor, haciendo descender el yunque, lo cual se logra haciendo girar al volante en sentido antihorario.

8.- Finalmente, coloque la muestra en posición para la prueba siguiente y repita el proceso.

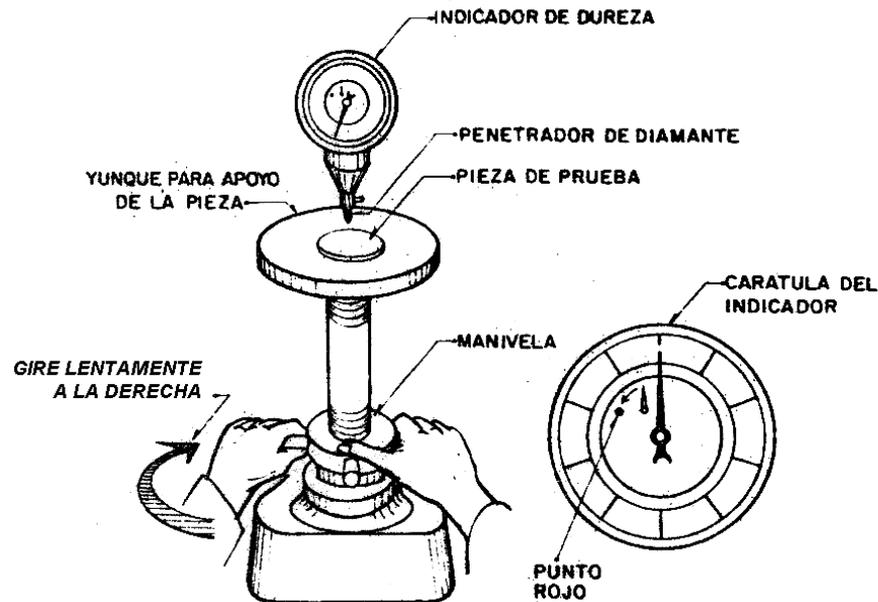


Figura 4.5. Manejo del durómetro Rockwell

CUESTIONARIO

- 1.- ¿Qué importancia tiene en la Ingeniería la medida de la dureza de un material?
- 2.- ¿Cuál es la diferencia entre dureza elástica y dureza plástica?
- 3.- Determinar la dureza de cada una de las muestras que le proporcionen en el laboratorio
- 4.- Mencione las diferentes escalas de dureza que existen para los metales
- 5.- ¿Por qué es necesario utilizar un factor de corrección cuando se toman medidas de dureza Rockwell en barras cilíndricas con un diámetro menor a 1 pulg.
- 6.- El factor de corrección de la pregunta anterior se suma o se resta de las lecturas obtenidas.
- 7.- ¿Por qué no se deben tomar mediciones demasiado cercanas entre sí?
- 8.- ¿Por qué no se deben tomar lecturas demasiado cercanas a la orilla de la muestra?
- 9.- ¿En qué consiste la prueba de dureza Shore?
- 10.- ¿En qué consiste la escala de dureza Mohs?

CORROSIÓN UNIFORME

PRACTICA No. 5

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.

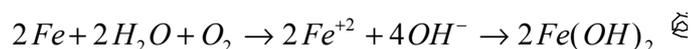
En esta forma de corrosión el metal se va adelgazado de una manera casi uniforme, hasta que eventualmente desaparecen grandes porciones de él.

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:

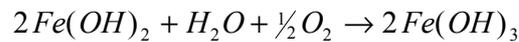
Reacción Anódica: $Fe \rightarrow Fe^{+2} + 2e$

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 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. 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 GALVÁNICA

PRACTICA No.6

OBJETIVO

- Observar el fenómeno de la corrosión galvánica
- 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 6.1.

Tabla 6.1. Potenciales de semicelda estándar para algunos metales de uso corriente

		<i>Reacción en Equilibrio</i>	E° (volt)
<i>Noble o 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
<i>Activo o 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 6.2, 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 6.2 se expresan las posiciones relativas de los metales, más que sus potenciales.

Tabla 6.2. 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. 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?

EFECTO DE ÁREA

PRÁCTICA 7

OBJETIVOS

- Observar el efecto de área en la corrosión de dos metales.
- 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.8

OBJETIVO

- Observar el efecto de pasividad de los metales.
- 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 7.1 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.

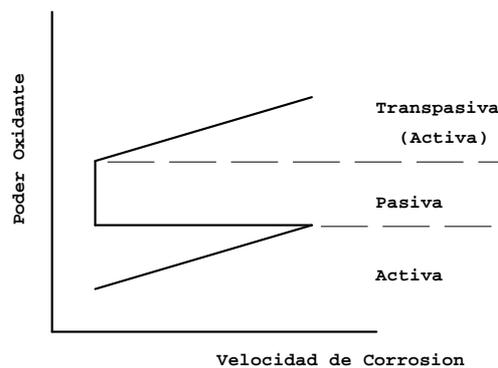


Figura 7.1. Comportamiento típico de un metal que experimenta pasividad

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%?

ELECTRODEPOSICIÓN

PRACTICA No. 9

OBJETIVO

- Conocer y poner en práctica uno de los métodos de recubrimiento de metales más común como lo es el de electrodeposición (galvanoplastía).
- 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 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 pulpa 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, oscuro 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].

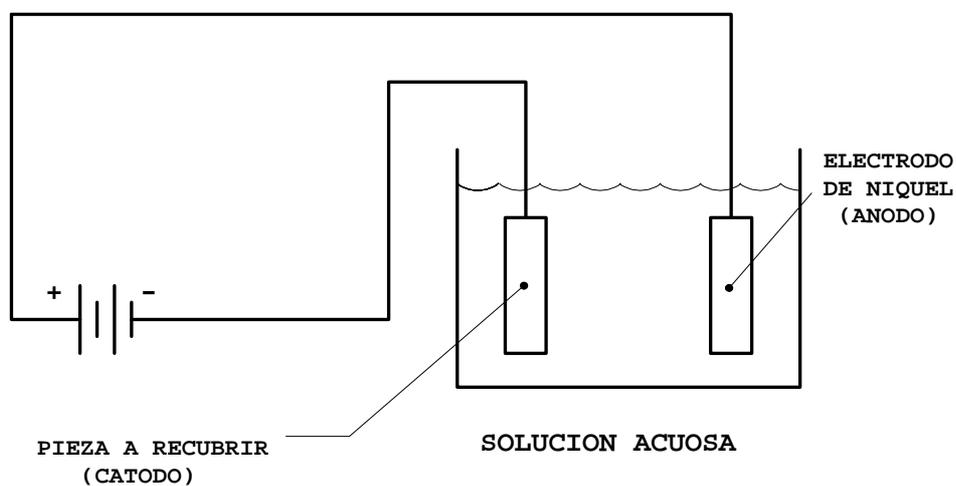
n = Valencia del metal que se deposita.

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. Biomateriales

María Vallet regil.

Ed. CSIC España. 1913

2. Biomaterials: An Introduction

R.S. Lakes & J.B. Park,

Ed. Springer (2007).

3. Biomaterials: The Intersection of Biology and Materials Science

J.S. Temenoff & A.G. Mikos, Ed.

Pearson Education. (2008).

4. Técnicas de Laboratorio para Pruebas de Materiales.

Carl A. Keyser

LIMUSA. México. 1986

5. Metallography, Principles and Practice.

George F. Vander Voort

Mc. Graw Hill. U.S.A. 1984

6. Ciencia de Materiales para Ingeniería.

Peter A. Thornton y Vito J. Colangelo

Prentice Hall. México. 1987.

7. Metalografía Práctica.

Felipe A. Calvo

Editorial Alhambra. España. 1972

8. Introducción a la Metalurgia Física

Sidney H. Avner

Mc. Graw Hill. México. 1990

9. Handbook of Corrosion Engineering

Pierre R. Roberge

McGraw-Hill. E.U.A. 2000

10. Corrosion Engineering

Mars G. Fontana, and Norbert D. Greene

McGraw-Hill. New York. 1967.

11. Más allá de la herrumbre I

Javier Ávila Mendoza y Joan Genescá Llongueras

Fondo de Cultura Económica. México. 2002

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

Javier Ávila Mendoza y Joan Genescá Llongueras

Fondo de Cultura Económica. México. 2003

13. Metals Handbook

American Society for Metals. U.S.A. 8th. Edition.