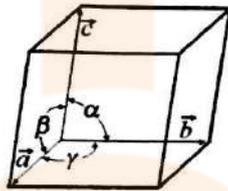


PRINCIPIOS DE MATERIALES Y ENSAYOS

ESTRUCTURA CRISTALINA

Un material tiene estructura cristalina cuando todos sus átomos están ordenados de tal manera que cada uno tiene un entorno idéntico.

En cristalografía se distinguen los siguientes conceptos,



Reticulo espacial: sistema de ejes tridimensional que tiene en el origen un átomo.

Celda unitaria: es la unidad que representa la estructura cristalina y está caracterizada por tres vectores \vec{a} , \vec{b} y \vec{c} que representan las direcciones de las aristas de la celda unidad y los ángulos α , β y γ de las intersecciones entre planos.

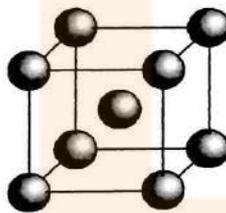
Sistemas cristalinos

Según el módulo de los vectores y del ángulo de los planos, nos encontramos con siete sistemas cristalinos diferentes y catorce retículos espaciales diferentes. De todos ellos los más comunes en metalurgia son:

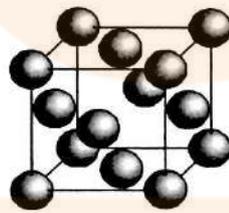
BCC Cúbica Centrada en el Cuerpo $\Rightarrow a = b = c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

FCC Cúbica Centrada en las Caras $\Rightarrow a = b = c; \alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$

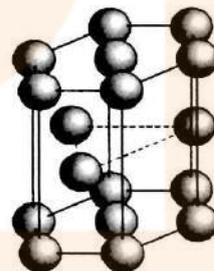
HCP Hexagonal Compacta $\Rightarrow a = b \neq c, \alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$



BCC



FCC



HCP

Relación entre constantes en las estructuras cristalinas**Índice de coordinación (i)**

Representa el número de átomos que rodea a cada átomo.

Factor de empaque (F.P.A.)

Representa la relación entre el volumen de los átomos que hay en la celda unidad y el volumen de la celda unidad. Nos proporciona una idea del volumen ocupado y libre.

Densidad volumétrica (ρ_v)

Representa la relación entre la masa de la celda unidad y el volumen de la celda unidad.

Redes cristalinas fundamentales

En las redes cristalinas fundamentales de los metales se cumple:

Celda BCC

- * Índice de coordinación $i = 8$
- * Número de átomos en la celda unidad $n = 1 + 8 \cdot \frac{1}{8} = 2$ átomos
- * Relación entre la arista celda unidad (a) y el radio atómico (R) $a = \frac{4 \cdot R}{\sqrt{3}}$
- * Factor de empaque

$$F.P.A. = \frac{\text{Volumen de los átomos}}{\text{Volumen celda unidad}} \cdot 100 = \frac{n \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{a^3} \cdot 100 = 68\%$$

Celda FCC

- * Índice de coordinación $i = 12$
- * Número de átomos en la celda unidad $n = 8 \cdot \frac{1}{8} + 6 \cdot \frac{1}{2} = 4$ átomos
- * Relación entre la arista celda unidad (a) y el radio atómico (R) $a = \frac{4 \cdot R}{\sqrt{2}}$
- * Factor de empaque

$$F.P.A. = \frac{\text{Volumen de los átomos}}{\text{Volumen celda unidad}} \cdot 100 = \frac{n \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3}{a^3} \cdot 100 = 74\%$$

Celda HCP

- * Índice de coordinación $i = 12$
- * Número de átomos en la celda unidad

$$n = 6 \cdot \frac{1}{6} \cdot 2_{(\text{át. vert. caras sup. e inf.})} + 2 \cdot \frac{1}{2} \cdot 2_{(\text{át. central caras sup. e inf.})} + 3_{(\text{át. centrales})} = 6 \text{ átomos}$$

- * Factor de empaque

$$F.P.A. = \frac{\text{Volumen de los átomos}}{\text{Volumen celda unidad}} \cdot 100 = 74\%$$

Alotropía

Indica el cambio que puede sufrir una estructura cristalina al variar la presión o temperatura que le rodea.

ENSAYOS

Son procedimientos normalizados con los que se cuantifican las diferentes propiedades de los materiales. De todas las propiedades, nos centraremos únicamente en algunas *propiedades mecánicas* tales como:

Cohesión: resistencia que oponen las moléculas de los materiales a separarse unas de otras.

Ductilidad: capacidad de los materiales para deformarse cuando se les aplica un esfuerzo de tracción.

Dureza: resistencia que opone un material a ser penetrado o rayado por otro.

Elasticidad: capacidad de un material de recobrar su forma primitiva cuando cesa la causa que lo deformó.

Fatiga: resistencia a la rotura de un material sometido a esfuerzos variables tanto en magnitud como en sentido.

Fragilidad: propiedad contraria a la tenacidad. Los materiales frágiles tienen muy poca zona plástica.

Maleabilidad: capacidad de los materiales de deformarse plásticamente frente a esfuerzos de compresión.

Plasticidad: capacidad de algunos materiales sólidos de adquirir deformaciones permanentes sin llegar a romperse.

Resiliencia: capacidad de un material de absorber energía en la zona elástica al someterlo a un esfuerzo de rotura.

Clasificación de los ensayos

Con los ensayos se intenta simular las condiciones de trabajo para determinar la idoneidad del material o pieza en cuestión. Debido a la diversidad de propiedades y a las diferentes formas de determinarlas, los ensayos se pueden clasificar en:

Según la rigurosidad del ensayo

Ensayos científicos: son ensayos que se hacen en laboratorios especializados y permiten obtener valores precisos y reproducibles de las propiedades ensayadas, ya que las condiciones a las que se somete el material están convenientemente normalizadas.

Ensayos tecnológicos: se hacen en fábrica e indican calidades de material.

Según la naturaleza del ensayo

Ensayos químicos: permiten conocer la composición cualitativa y cuantitativa del material, así como la naturaleza del enlace químico o la estabilidad del material en presencia de compuestos corrosivos.

Ensayos metalográficos: con el uso de microscopios, permiten conocer la estructura interna del material.

Ensayos físicos: tienen por objeto cuantificar ciertas propiedades físicas tales como: densidad, punto de ebullición, punto de fusión, conductividad eléctrica, conductividad térmica, etc.

Ensayos mecánicos: con ellos se determina la resistencia del material a ciertos esfuerzos. Los ensayos de este tipo más importantes son: dureza, fatiga, choque, tracción, etc.

Según la utilidad de la pieza después de ser sometida al ensayo

Ensayos destructivos: son aquellos que producen un daño o rotura de la pieza sometida al ensayo.

Ensayos no destructivos: se analizan los defectos externos e internos de una pieza mediante procedimientos de observación directa empleando microscopios, rayos X, ultrasonidos, campos magnéticos, etc.

Según la velocidad de aplicación de los esfuerzos

Ensayos estáticos: son aquellos en los que la velocidad de aplicación de la fuerza no influye en el resultado. Un ejemplo de este tipo, es el ensayo de tracción.

Ensayos dinámicos: en ellos, la velocidad de aplicación de las fuerzas forma un papel importante en el ensayo. Un ejemplo de este tipo, es el ensayo de flexión.

Ensayos mecánicos

Ensayos de dureza al rayado (dinámicos)

Para los metales se emplea el *método Martens* que consiste en medir el surco que deja una punta de diamante con forma piramidal con dimensiones normalizadas a la que aplicamos una carga constante y que se desplaza sobre la superficie del metal.

Ensayos de dureza por penetración (estáticos)

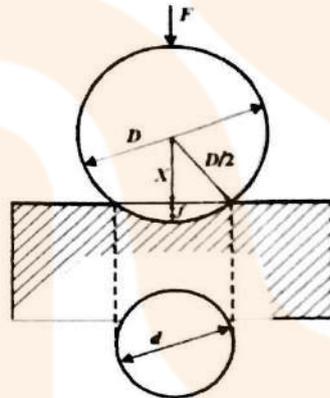
Se trata de averiguar la dureza de un material por la huella que deja un penetrador al que aplicamos un peso constante. Los más empleados para los metales son:

Método Brinell (HB) (UNE 7-422-85)

Emplea como penetrador una bola de acero muy duro de diámetro conocido. Al someter la bola a una carga determinada, se produce en el material una huella en forma de casquete esférico. La dureza Brinell queda determinada por:

$$HB = \frac{F}{A}$$

La determinación de superficie de la huella se realiza por $A = \pi \cdot D \cdot f$



$$f = \frac{D}{2} - X = \frac{1}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

$$X = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$A = \frac{\pi \cdot D}{2} \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)$$

$$HB = \frac{2F}{\pi D \left(D - \sqrt{D^2 - d^2} \right)}$$

HB = Dureza Brinell en kg/mm^2

F = Carga en **kg**

A = Superficie de la huella en mm^2

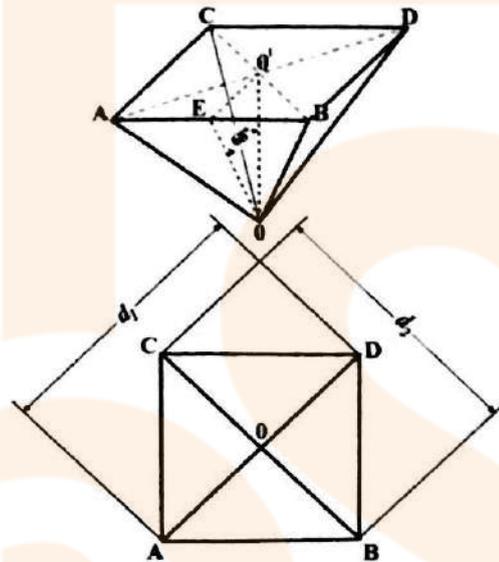
D = Diámetro de la bola en **mm**

f = Flecha (profundidad de la huella) en **mm**

d = Diámetro de la huella en **mm**

Método Vickers (HV) (UNE 7-423-84)

Este método se emplea para durezas superiores a 400 HB. El método es igual al caso anterior, con la salvedad del penetrador que es una pirámide regular de base cuadrada cuyas caras forman un ángulo de 136°. El tiempo que dura este ensayo es de unos 20 s.



$$HV = \frac{F}{A} \quad A = 4 \cdot \text{area}(OAB)$$

donde A es el área de la huella que el penetrador produce en el material.

$$A = 4 \cdot \frac{1}{2} \cdot \overline{AB} \cdot \overline{OE} = 2 \cdot \overline{AB} \cdot \overline{OE}$$

$$\text{sen } 68^\circ = \frac{\overline{O'E}}{\overline{OE}} \Rightarrow \overline{OE} = \frac{\overline{O'E}}{\text{sen } 68^\circ}$$

$$\overline{O'E} = \frac{\overline{AB}}{2}$$

$$A = 2 \cdot \overline{AB} \cdot \frac{\overline{AB}}{\text{sen } 68^\circ} = \frac{\overline{AB}^2}{\text{sen } 68^\circ}$$

$$d = \frac{d_1 + d_2}{2} \quad \text{como } \overline{AB} = \overline{AC}$$

$$d^2 = 2 \cdot \overline{AB}^2 \Rightarrow A = \frac{d^2}{2 \cdot \text{sen } 68^\circ} = \frac{d^2}{1,854}$$

$$HV = 1,854 \frac{F}{d^2}$$

HV = Dureza Vickers en kg/mm^2

d = Diagonal de la huella en mm

F = Carga en kilogramos kg

Método Rockwell (UNE 7-424-89)

Este método, a diferencia de los anteriores, permite determinar la dureza de un material, no a partir de la superficie de la huella sino de su profundidad. El penetrador empleado depende del material a ensayar; para los materiales blandos empleamos una bola de acero y para los duros un cono de diamante con 120° de ángulo, denominándose el ensayo según el penetrador HRB o HRC.

Forma de realizar el ensayo:

- 1º Se aplica al penetrador una carga de 10 kg durante un tiempo determinado. Esta carga provoca una huella de profundidad h_p .

- 2º Después, dependiendo de la dureza del material, se añade la carga adicional que puede ser de 60, 100 ó 150 kg. La profundidad de la huella alcanza entonces el valor h_1 .
- 3º Al retirar la carga adicional, el penetrador retrocede por la recuperación elástica del material. La huella adquiere entonces una profundidad

$$e = h_1 - h_0$$

La dureza Rockwell queda determinada por:

$$\text{HRC} = 100 - e \quad \text{HRB} = 130 - e$$

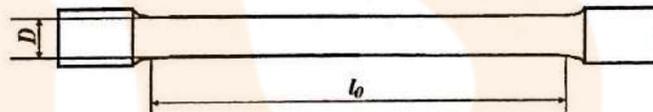
Se observa que cuando mayor es la profundidad e menor es la dureza del material.

El durómetro para Rockwell, a diferencia de los anteriores, está provisto de una escala graduada que permite realizar una medida instantánea de la profundidad de la huella. En los anteriores casos hay que utilizar una lupa graduada o un microscopio para medir el diámetro de la huella o diagonales de la pirámide.

Ensayos de tracción (UNE 7-474)

Una probeta con forma y dimensiones normalizadas según el material que sea, es sometida a un esfuerzo de tracción en la dirección de su eje por una máquina que registra el esfuerzo aplicado y el alargamiento producido en la probeta hasta que esta se rompe.

La probeta indicada en la figura es la más usada.



Tensión unitaria (σ)

Representa el esfuerzo que soporta el material por unidad de sección.

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

$$A_0 = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2$$

σ = Tensión en Newton metro cuadrado (N/m^2) = 1 Pascal

F = Fuerza axial aplicada a la probeta en Newton (N)

A_0 = Sección inicial de la probeta en metros cuadrados (m^2)

D = Diámetro de la probeta en metros (m)

Alargamiento unitario (ε)

Representa el cociente entre el incremento de longitud de la probeta, como consecuencia del esfuerzo a la que la sometemos, y la longitud inicial.

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}$$

ε = Alargamiento unitario, sin dimensiones

l = Longitud final en (m)

l_0 = Longitud inicial en (m)

Módulo de elasticidad o Módulo de Young (E)

Representa el cociente entre la tensión unitaria y el alargamiento unitario. El módulo de Young es característico de cada material.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{F/A_0}{(l-l_0)/l_0} = \frac{F \cdot l_0}{A_0(l-l_0)}$$

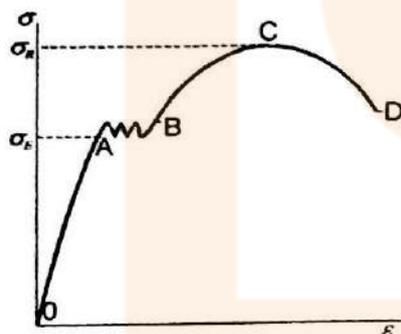
E = Módulo de Young en N/m^2 , aunque en algunas ocasiones en Kg/mm^2 .

Diagrama de esfuerzos y deformaciones

Del diagrama obtenido en este ensayo se puede determinar el límite elástico, resistencia a la rotura, capacidad de alargamiento y procesos de estricción.

En la gráfica adjunta se distingue las siguientes zonas:

- * **Zona elástica (OA).** En esta zona el alargamiento es proporcional al esfuerzo aplicado y al cesar éste, el material recupera su longitud inicial. El límite elástico se designa por σ_E .



- * **Zona elástica - plástica (AB).** En ella, las deformaciones no son proporcionales a los esfuerzos.

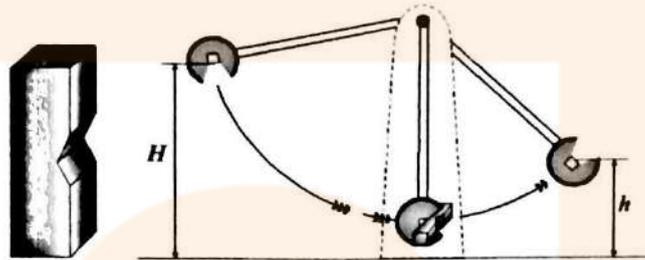
- * **Zona plástica (BC).** Es esta zona se dan las deformaciones permanentes, es decir, al cesar el esfuerzo, permanece la deformación producida.

- * **Zona de estricción (CD).** En esta zona se da la tensión máxima aplicada a la probeta σ_R que se denomina tensión de ruptura de la probeta, ya que a partir de este punto es posible romper la probeta con una tensión menor.

En los ensayos de tracción es preciso tener en cuenta la temperatura ya que, como es conocido, los metales modifican sus dimensiones con ella.

Ensayos de resiliencia

El más característico es el ensayo Charpy. En este ensayo se utiliza una probeta de sección cuadrada provista de una entalladura que es sometida a la acción de una carga de ruptura por medio de un martillo que se desplaza en una trayectoria circular.



La energía absorbida por la ruptura se llama resiliencia ρ y su unidad en el sistema internacional es el J/m^2

$$E_p = m \cdot g(H - h)$$

$$\rho = \frac{E_p}{A_0}$$

E_p = Energía potencia absorbida en la ruptura en Julios (J)

m = Masa del martillo en kg

g = Gravedad terrestre $9,8 \text{ m/s}^2$

H = Altura desde la que cae el martillo en metros (m)

h = Altura que alcanza el martillo después de romper la probeta en metros (m)

ρ = Resiliencia en Julios por metro cuadrado (J/m^2)

A_0 = Sección de la probeta por la parte de entalladura en metros cuadrados (m^2)

Tratamientos de los aceros para mejorar sus propiedades

Tienen por finalidad modificar las características mecánicas de los aceros o los metales en general; en algunos casos se pretende aumentar su plasticidad para facilitar el conformado en frío, su dureza, etc.

Se distinguen los siguientes tratamientos: térmicos, termoquímicos, mecánicos y superficiales. Todos ellos no deben alterar la composición química de manera notable ya que de lo contrario dejarían de ser tratamientos para convertirse en otros procesos.

Tratamientos térmicos

Consisten en operaciones de calentamiento y enfriamiento más o menos rápido a los que se somete a los materiales con objeto de conseguir cambios en la estructura cristalina (fundamentalmente el tamaño de grano) sin que la composición

química resulte modificada. Por lo tanto las variables que controlamos son la temperatura y el tiempo.

Existen fundamentalmente cuatro tratamientos térmicos.

Temple: es un tratamiento típico de los aceros que consiste en calentarlos hasta una temperatura superior a la de austenización, seguido de un enfriamiento lo suficientemente rápido para obtener una estructura martensítica. De esta manera se obtiene un material muy duro y resistente mecánicamente.

Por regla general, la forma de realizar el enfriamiento consiste en sumergir la pieza en agua, aceite o aire frío controlando en todo momento la temperatura del fluido. Para conseguir un mejor temple se agita el fluido refrigerante.

Revenido: es un tratamiento complementario al temple, con el que se pretende eliminar tensiones internas producidas durante el temple; mejora la tenacidad, aunque se reduce la dureza. Consiste en un calentamiento de las piezas previamente templadas a una temperatura inferior a la de austenización, para lograr que la martensita se transforme en una estructura más estable. El proceso termina con un enfriamiento relativamente rápido.

Normalizado: se denomina normalizado por que se entiende que con este tratamiento los aceros obtienen sus propiedades normales. Se someten a este tratamiento piezas que han sufrido deformaciones en caliente, en frío o bien que han tenido enfriamientos irregulares o sobrecalentamientos. También nos sirve para eliminar un tratamiento térmico previo. Con el normalizado se reducen tensiones internas provocadas por las causas anteriores, así como una unificación del tamaño de grano.

Consiste en un calentamiento del acero, 50 grados por encima de la temperatura de austenización, seguido de un enfriamiento al aire. La velocidad de enfriamiento no puede ser elevada evitando la formación de martensita y confiriendo al acero una estructura perlítica y ferrita o cementita de grano fino.

Recocido: consiste en calentar el material hasta una temperatura determinada y mantenerlo a dicha temperatura durante un tiempo previsto y posteriormente enfriarlo lentamente. Los objetivos que se persiguen son: eliminar tensiones del temple, aumentar la plasticidad, ductilidad y tenacidad, y conseguir una microestructura específica.

En estos tratamientos, el tiempo constituye la variable fundamental a controlar. En los aceros la temperatura a alcanzar ha de estar entre la temperatura crítica inferior de austenización (A_1) y la superior (A_3 o A_{cm}). Con este tratamiento no se supera la temperatura crítica superior de austenización como ocurre con el normalizado.

Tratamientos termoquímicos

Con estos tratamientos obtenemos piezas muy duras superficialmente, capaces de resistir desgastes, y más blandas en el centro, lo que les permite ser más tenaces.

Mediante estos tratamientos se modifica la composición química superficial del material, por lo tanto, las variables que controlamos son la temperatura, el tiempo y la composición química. En general el procedimiento consiste en meter la pieza en un horno en el que controlamos la atmósfera que rodea a la pieza, calentamos

hasta una temperatura determinada, mantenemos esa temperatura el tiempo necesario para que se produzca una difusión atómica en la superficie de la pieza con una profundidad determinada y enfriamos. Entre los procedimientos más habituales tenemos:

Cementación

Consiste en añadir carbono a la superficie del metal, con objeto de aumentar su dureza superficial. Para facilitar la difusión del carbono en el metal, se somete la pieza durante cierto tiempo a una determinada temperatura (900 °C en el caso de los aceros). La atmósfera carburante necesaria se puede lograr por medio de agentes sólidos, gaseosos o líquidos que desprendan carbono.

La cantidad de carbono absorbido por la pieza depende de varios factores:

- * Composición química inicial del acero.
- * Naturaleza de la atmósfera carburante.
- * Temperatura.
- * Tiempo de exposición.

Una vez sometida una pieza a un proceso de este tipo, puede considerarse constituida por dos zonas:

- * *Zona exterior*, que es la capa cementada y que posee mayor concentración de carbono que el resto de la pieza. Su espesor es función del tiempo de exposición y la temperatura alcanzada.
- * *Alma*, que es la zona central donde no se ha producido variación química.

Nitruración

Con este tratamiento se consiguen endurecimientos superficiales extraordinarios de los aceros. La pieza que se pretende nitrurar se somete en un horno a una corriente de amoníaco a una temperatura elevada (en el caso de los aceros próxima a los 500 °C). Con este procedimiento, manteniendo la pieza dentro del horno a la temperatura indicada entre 20 y 80 horas, se pueden alcanzar durezas comprendidas entre 650 HV y 1100 HV.

Cianuración

Es un tratamiento intermedio de los dos anteriores en el que se produce el endurecimiento de la superficie de la pieza sometiéndola a una atmósfera mezcla de carbono y nitrógeno.

Sulfinización

Consiste en producir una pequeña capa superficial de azufre, nitrógeno y carbono; de esta manera se consigue favorecer la resistencia al desgaste, favorecer la lubricación y evitar el agrietamiento. Las piezas sometidas a este tratamiento pueden aumentar su dureza cinco veces.

Tratamientos mecánicos

Mejoran las características de los metales por deformación mecánica, con o sin calor. Cuando el proceso se realiza en caliente recibe el nombre de *forja*.

Tratamientos superficiales

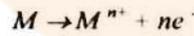
Mediante estos tratamientos se modifica la superficie de los metales sin variar su composición química másica. En estos tratamientos no es necesario la aplicación de calor. Los tratamientos superficiales más conocidos son el *cromado* y la *metalización*.

La metalización consiste en pulverizar metal fundido sobre otro, con lo cual, la pieza tratada adquiere las propiedades del primero en su superficie.

Protección contra la corrosión

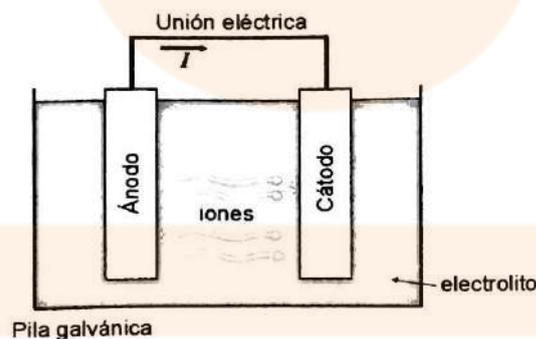
La interacción entre un material y el ambiente provoca en muchos casos la pérdida o deterioro de las propiedades físicas del material. Estos procesos de deterioro son diferentes según se trate de materiales metálicos, polímeros o cerámicos. El proceso de deterioro que se produce en los metales recibe el nombre de oxidación y corrosión.

En los procesos de oxidación, los metales pasan de un estado electrostáticamente neutro a formar cationes (iones positivos) por pérdida de electrones.



En el proceso de degradación de los metales, la **oxidación directa** resulta de la combinación de los átomos metálicos con los de la sustancia agresiva, por ejemplo $2Fe + O_2 \rightarrow 2FeO$, y la **corrosión electroquímica** se caracteriza por la formación de pilas galvánicas en las que el metal actúa como ánodo y por lo tanto se disuelve. Este tipo de corrosión exige la presencia de medios electrolíticos, uniones eléctricas y la presencia de un cátodo.

Pilas galvánicas



Tenemos dos metales diferentes inmersos en un electrolito y unidos eléctricamente, haciendo que uno de ellos funcione como ánodo y el otro como cátodo.

El ánodo cede electrones al cátodo, por lo tanto algunos átomos del ánodo se ionizan con carga positiva disminuyendo de tamaño. Si este ion se encuentra en la superficie del ánodo podrá abandonarlo y dirigirse, a través del electrolito, hacia el cátodo que se encuentra cargado negativamente gracias a los electrones que le cedió el ánodo. De esta manera el ánodo reduce su tamaño mientras que el cátodo puede aumentar o quedarse igual, ya que el ion al juntarse con el electrón puede depositarse sobre el cátodo, unirse a otros átomos procedentes del ánodo y precipitar al fondo de la pila o combinarse con elementos del electrolito formando un gas que saldría de la pila.

Medidas de protección contra la corrosión

Los principales medios de protección son:

- * Impedir la formación de pilas galvánicas, utilizando aislantes eléctricos.
- * Tratar siempre que el área del ánodo sea mayor que la del cátodo.
- * Diseñar recipientes para contener líquidos cerrados y procurar que no se acumule líquido estancado.
- * Evitar hendiduras o grietas entre los materiales armados o unidos.

Medios de protección

Todos los medios de protección van destinados a evitar alguna de las causas que provocan la oxidación y corrosión. Entre las más utilizadas destacamos:

Recubrimientos

Se utilizan para aislar las regiones del cátodo y del ánodo. Estos aislantes pueden ser de diferente tipo con una acción más o menos prolongada en el tiempo. Los aislantes a corto plazo son las grasas o aceites que se eliminan con facilidad. Los de medio plazo son las pinturas o recubrimientos cerámicos. Los de largo plazo consisten en recubrir metales con un alto grado de corrosión con otros que tengan un grado de corrosión menor, por ejemplo el acero galvanizado que consiste en depositar Zn o Sn sobre la superficie del acero.

Protección catódica

Consiste en forzar al metal a comportarse como un cátodo suministrándole electrones. Para ello utilizamos un ánodo de sacrificio, el cual se corroe, ya que aporta electrones al metal a proteger. Los materiales del ánodo de sacrificio son el cinc o el magnesio.

Inhibidores

Consiste en interrumpir o reducir el paso de iones desde el ánodo al cátodo; para ello, añadimos al electrolito productos químicos que se depositan en la superficie del ánodo o cátodo impidiendo o reduciendo la salida o llegada de los iones, produciendo una polarización por concentración o resistencia.

Por ejemplo, las sales de cromo realizan esta función en los radiadores de los coches.

Protección por selección de materiales

Es conocido que no todos los metales tienen el mismo comportamiento frente a la corrosión y que hay ciertos metales como el cromo, níquel, platino, oro, plata, wolfranio, etc. que son muy resistentes a la corrosión atmosférica y a la acción de muchos ácidos. No obstante, el empleo de estos metales en estado puro está limitado por sus propias cualidades mecánicas y precio. Se pueden conseguir aleaciones inoxidables si introducimos pequeñas cantidades de estos metales.

Pasivadores (protección anódica)

Se dice que un metal tiene pasividad natural cuando al oxidarse se forma una fina capa de óxido que impide la corrosión del mismo, como ocurre con el aluminio, el cobre, etc. Este mismo efecto puede conseguirse de forma artificial en ciertos metales sumergiéndolos en algunos ácidos, por ejemplo si bañamos un acero en ácido nítrico concentrado, este quedará protegido frente al ataque de ácido nítrico de baja concentración. No obstante la aplicación más común de los pasivadores se hace en forma de impregnación como ocurre con el minio (Pb_3O_4) o el cromato de cinc ($ZnCrO_4$).