

Tema 4: Tratamientos térmicos y superficiales. El fenómeno de la corrosión

En esta unidad se analizan varios asuntos relacionados con los metales principalmente.

Los tratamientos térmicos y termoquímicos son procesos a los que son sometidos los metales para mejorar sus propiedades una vez que se les ha dado forma. Esto se hace debido a que al obtener las piezas metálicas en la industria no tienen las propiedades idóneas para cumplir sus funciones. Por ello se les aplica calor para modificar su estructura interna y se les añaden otras sustancias para mejorar sus propiedades.

Por otra parte en este tema se estudian de forma elemental los efectos que modifican la composición de los metales y hacen que se vayan deteriorando progresivamente, así como los medios usados para impedirlo. Sobre todo el efecto de la corrosión y oxidación de los metales que tienden a combinarse con otros elementos de forma natural, pero que nos perjudican, puesto que los metales en forma natural están combinados con otros elementos en diferentes minerales.

Tratamientos térmicos: en la metalurgia, y especialmente en la siderurgia la temperatura se usa como una magnitud variable para modificar la microestructura de los metales y aleaciones, sin variar su composición química para obtener diferentes propiedades con una misma composición. Por ejemplo podemos obtener acero duro en el acero consiguiendo la estructura de austenita a través del calentamiento del metal a la temperatura adecuada y su mantenimiento el tiempo necesario con el posterior enfriamiento rápido.

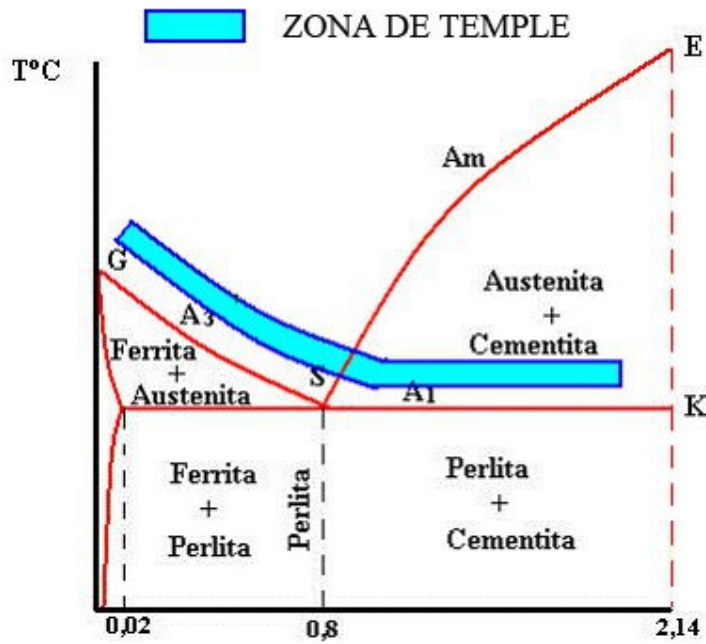
Tratamientos termoquímicos superficiales: es idéntico que el anterior pero se modifica la estructura superficial del metal añadiéndole uno o varios elementos. Por ejemplo se puede endurecer mucho la superficie de un acero al ser sometido a altas temperaturas en un recinto donde exista una atmósfera rica en amoníaco.

Temple.

El temple es un tratamiento térmico usado para obtener aceros martensíticos. Consiste en enfriamientos rápidos en agua, aceite o al aire. Su resultado es un metal con alto contenido en martensita. El acero templado se caracteriza por su gran dureza, que depende de la velocidad de enfriamiento. Mientras más rápido sea el enfriamiento más duro será el metal, aunque más frágil. Se aumenta a la vez la resistencia a diferentes esfuerzos.

Se define la **templabilidad** como la aptitud de una aleación para endurecerse por la formación de martensita como consecuencia de un tratamiento térmico.

Para obtener el acero templado hay que conseguir una temperatura hasta unos 50 °C por encima de A₃ para los aceros hipoeutectoides y hasta unos 50 °C por encima de A₁ para los aceros hipereutectoides.



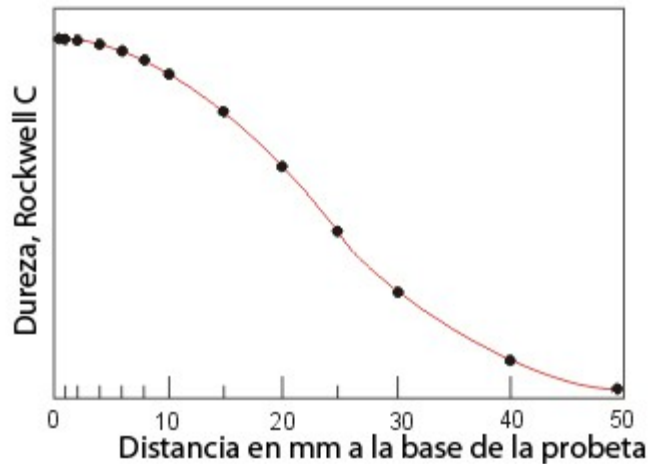
http://e-ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio//4750/4911/html/4_temple.html

Ensayo de templabilidad

Se aplican a los aceros para comprobar la capacidad de temple de los aceros. Se emplea el ensayo Jominy. En este ensayo se mantienen constantes todos los parámetros excepto la composición del acero, que es lo que se pretende valorar.

Procedimiento de este ensayo:

- Se usa una probeta de 25 mm de diámetro y 100 mm de longitud y se lleva dicha probeta a la temperatura de austenización y se mantiene en este estado el tiempo necesario para que la estructura de toda la probeta tenga de estructura de austenita.
- Se saca del horno y se temple por chorro de agua de caudal y temperatura constantes en un extremo de la probeta. Por esto el enfriamiento es más rápido en el extremo donde se aplica el chorro de agua.
- Una vez enfriado se desbasta en una tira de unos 0,4 mm. Se determina su dureza a lo largo de 50mm.



Se puede deducir de la gráfica que en el extremo izquierdo la dureza es máxima, puesto que ha estado sometida directamente al chorro de agua y se convertido completamente en martensita.

Mientras más alejada esté del chorro de agua la dureza va decreciendo, porque el enfriamiento ha sido más lento.

Factores que intervienen en el temple.

- Composición del acero.
- Temperatura a la que se realiza el temple.
- Tiempo de calentamiento.
- Velocidad de enfriamiento.
- Características del medio donde se realiza el temple.
- Tamaño y forma de la muestra.

Medios de temple.

Los medios de temple usados son el agua, aceites y el aire.

Para realizar el enfriamiento de un metal debe agitarse dicho metal en el líquido para que el aumento de la temperatura del fluido no influya tanto y de este modo el temple es más efectivo.

Con el temple al **aire** se consiguen estructuras perlíticas, por lo que es el elemento que consigue las estructuras menos duras.

El **agua** es el elemento más eficiente, pero para los aceros con altas proporciones en carbono se pueden producir grietas y deformaciones, por lo que debería usarse aceites.

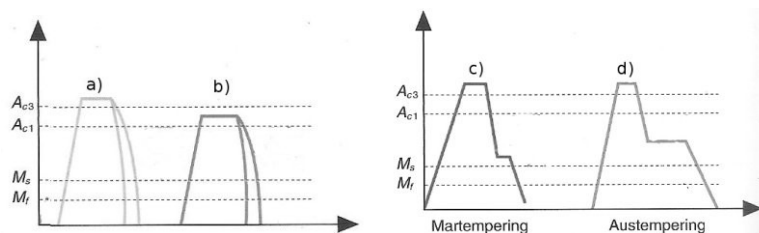
Con los **aceites** el enfriamiento es más lento y son más usados para aceros con mayor proporción de carbono. Todo depende de la estructura y propiedades que queramos conseguir en el material.

Tipos de temple.

- a) **Temple continuo de austenización completa:** se realiza para acero hipoeutectoides. Se calienta la pieza unos 50 °C por encima de A₃ se mantiene dicha temperatura para que toda la pieza tenga estructura de austenita. Se enfría rápidamente.

- b) **Temple continuo de austenización incompleta:** se realiza con aceros hipereutectoides. Se calienta la pieza unos 50 °C por encima de A_1 y se mantiene dicha temperatura hasta obtener la estructura de austenita en toda la pieza. Se enfría rápidamente. A diferencia del proceso anterior se obtiene además de martensita, cementita.
- c) **Temple martensítico o martempering:** se calienta la pieza a la temperatura de austenización y se deja a esa temperatura hasta obtener dicha estructura en toda la pieza. Luego se enfría en baño de sales por encima de M_s . La austenita no sufre transformación.
- d) **Temple austempering:** el procedimiento es igual al anterior aunque el tiempo de permanencia en las sales es mayor, hasta que la estructura se transforma en bainita.
- e) **Temple superficial:** la diferencia que existe con los dos primeros tipos es que el tiempo de permanencia a la temperatura de austenización es breve, por lo que la estructura de austenita sólo se produce en la superficie. Sigue un enfriamiento rápido. En este caso sólo se desea que se endurezca la superficie.

M_s y M_f son las temperaturas de inicio y finalización de la transformación martensítica.



Recocido

Es un tratamiento térmico que consiste en calentar un material hasta una temperatura durante un tiempo determinado y enfriarlo lentamente para eliminar los defectos producidos en el temple u otros tratamientos o procesos mecánicos que modifican su estructura interna. Si no se realizara el recocido el material sería frágil y menos resistente de lo que se esperaría de él para muchas aplicaciones.

Al igual que el temple depende de la temperatura y el tiempo de calentamiento.

Con este tratamiento térmico se consigue:

- Eliminar tensiones del temple (acritud).
- Aumentar su tenacidad, plasticidad, ductilidad, etc.
- Conseguir una estructura adecuada.
- Facilita el mecanizado de la pieza.
- Homogenización de las estructuras.
- Se consigue que el material sea más blando.

El procedimiento usado para realizar el temple es:

- Calentamiento
- Mantenimiento un tiempo determinado, que depende de la pieza y el efecto que queremos conseguir.

- Enfriamiento más o menos lento.

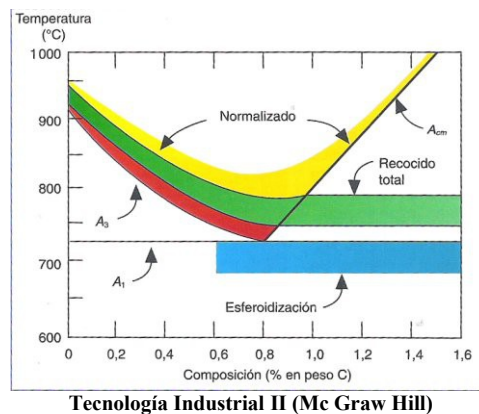
Tipos de recocido (algunos)

Recocido total: se realiza después de deformar aceros bajos o medios en carbono en frío. Se deja enfriar en el horno. Su microestructura es perlita gruesa. Se realiza entre 15 a 40 °C por encima de A₃ y A₁.

Normalizado: los aceros han sido deformados plásticamente por laminación. Se consigue un afinado del grano y su uniformidad, eliminando tensiones internas. Realiza entre temperaturas de 55 y 85 °C a la temperatura crítica superior. Se calienta hasta obtener austenita. Enfriamiento relativamente rápido al aire.

Revenido: elimina las tensiones y la fragilidad posteriores al temple. Se destruye el temple. Temperaturas inferiores a A₁. Enfriamiento más bien rápido. Se consiguen materiales más blando y menos frágiles.

Globulización: para los aceros medios y altos en carbono. Se obtiene por debajo de A₁ entre 15 a 20 horas. Sus microestructuras son esféricas.



Tratamientos termoquímicos

Con los tratamientos termoquímicos en general se consiguen propiedades en sus superficies que no se consiguen con los tratamientos térmicos, concretamente se consigue una mayor dureza y resistencia a la corrosión, por lo menos en los que aquí se explican. Sus aplicaciones más comunes son los mecanismos.

Al contrario se puede conseguir ablandar los metales, en concreto las fundiciones blancas (de gran dureza) a través de tratamientos termoquímicos superficiales se consiguen las fundiciones maleables.

Cementación: consiste en aumentar la concentración de carbono en la superficie del acero, calentándolo hasta la temperatura de austenización en un medio cementante. Para piezas sometidas al desgaste y a golpes.

Pueden existir cementantes sólidos líquidos y gaseosos. Uno de los más usados es el monóxido de carbono (CO).

Nitruración: se aplica a aceros y fundiciones. Se alcanzan durezas que rondan los 1200 HB. Son muy duros y resistentes a la corrosión. Se consigue con corrientes de amoníaco a temperaturas que rondan los 500 °C. Como aplicaciones destacan los engranajes, levas, cigüeñales, etc.

Cianuración: es una mezcla de las dos anteriores. Se introduce las piezas en un baño de sales de cloruro de cianuro y carbonato sódico. Se obtiene un espesor de 0.5 mm en una hora.

Carbonitruración: igual al anterior, pero se consigue en una atmósfera rica en hidrocarburos, amoníaco y CO. A temperaturas que oscilan entre los 650 y 850 °C.

Sulfinización: se añade a los metales carbono, nitrógeno y en especial azufre. Se suele realizar en un baño de sales alrededor de los 500 °C. Tiene una gran resistencia al desgaste un bajo coeficiente de rozamiento que favorece la lubricación.

La corrosión y sus efectos

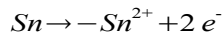
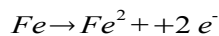
La mayoría de los metales en su estado natural tienden a combinarse con otras sustancias y en la naturaleza están formando minerales. Por ello los metales que fabricamos en la industria tienden a combinarse con diferentes sustancias.

Los metales por definición forman una nube electrónica, o lo que es lo mismo tienden a ceder electrones. Los metales tienden a oxidarse por esta propiedad.

La oxidación es un proceso electroquímico en los que los átomos de los metales pierden electrones. Un metal **M** con una valencia **v** se puede oxidar según la reacción:



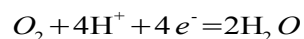
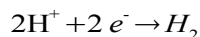
Para el hierro, litio y estaño la reacción de oxidación es:



La sustancia que pierde electrones, en este caso un metal, se le denomina ánodo.

Asociado al elemento oxidado hay un elemento llamado reductor, que es el elemento o sustancia que capta esos electrones y se le denomina cátodo. Solemos hablar de oxidación cuando hay una combinación con oxígeno, aunque esto no es cierto, puesto que se puede combinar con múltiples sustancias.

Ejemplos de reacciones de reducción:



También hay que tener en cuenta que la oxidación no afecta de igual manera a todos los metales. Depende del metal, sus propiedades y del elemento reductor.

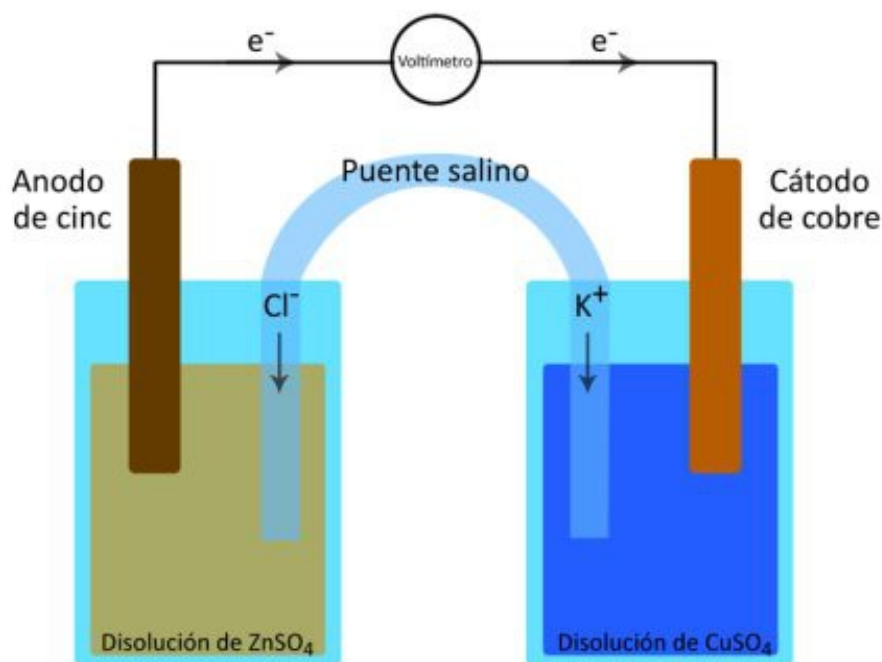
Es sabido que el acero es muy vulnerable a la oxidación y el aluminio, aunque también se oxida no le afecta de la misma forma.

Las celdas electroquímicas

Las celdas electroquímicas son casos de corrosión en los metales, que normalmente son usadas para generar energía eléctrica.

La **Celda Electroquímica** es el dispositivo utilizado para la descomposición mediante corriente eléctrica de sustancias ionizadas denominadas electrolitos. También se conoce como **celda galvánica o voltaica**, en honor de los científicos [Luigi Galvani](#) y [Alessandro Volta](#), quienes fabricaron las primeras de este tipo a fines del S. XVIII.

Las celdas electroquímicas tienen dos electrodos: El Ánodo y el Cátodo. El ánodo se define como el electrodo en el que se lleva a cabo la oxidación y el cátodo donde se efectúa la reducción. Los electrodos pueden ser de cualquier material que sea un conductor eléctrico, como metales, semiconductores. También se usa mucho el grafito debido a su conductividad y a su bajo coste. Para completar el circuito eléctrico, las disoluciones se conectan mediante un conductor por el que pasan los cationes y aniones, conocido como puente de sal (o como puente salino). Los cationes disueltos se mueven hacia el Cátodo y los aniones hacia el Ánodo. La corriente eléctrica fluye del ánodo al cátodo por que existe una diferencia de potencial eléctrico entre ambos electrolitos. Esa diferencia se mide con la ayuda de un voltímetro y es conocida como el voltaje de la celda. En una celda galvánica donde el ánodo sea una barra de Zinc y el cátodo sea una barra de Cobre, ambas sumergidas en soluciones de sus respectivos sulfatos, y unidas por un puente salino se la conocen como Pila de Daniell. Sus semi-reacciones son estas:



<http://www.youtube.com/watch?v=hUl3hlsICpQ>

Si realizamos una célula electroquímica de **hierro y cobre**, es que se corroe, debido a que su potencial respecto del hidrógeno es de $-0,44$ Voltios y el del cobre es de $+0,34$ Voltios. Esto quiere decir que su diferencia de potencial será:

$$V = 0,34 - (-0,44) = 0,78 \text{ voltios}$$

En el caso del hierro y el zinc cuyo potencial es -0,76 voltios el ánodo será el zinc.

$$V = -0,44 - (-0,76) = 0,32 \text{ voltios}$$

Tipos de corrosión

Corrosión uniforme: es debida a que en un metal a nivel microscópico algunos granos se comportan como ánodo y otros como cátodo, produciendo una corriente eléctrica entre ellos y como electrolito el aire.

Corrosión galvánica: se produce en instalaciones donde se combinan dos o más metales, los cuales forman una pila y se produce la circulación de corrientes eléctricas. Como en casi todos los tipos de corrosión el aire actúa como electrolito.

Corrosión por aireación diferencial: se produce en lugares metálicos donde el paso del aire es más limitado, debido a ser sitios muy estrechos donde la suciedad y el polvo se acumulan. Se suelen dar en sitios metálicos donde hay uniones roscadas. Estos lugares se oxidan más fácilmente. La solución es la soldadura.

Picaduras: este tipo de oxidación se da en determinados metales y consiste en que en los lugares donde ha comenzado la oxidación, por debajo de ellos no pasa el aire y tienden a oxidarse más rápidamente. Básicamente es la oxidación por debajo de los sitios oxidados.

Corrosión intergranular: se da en metales que tienen varias fases, uno de ellos actúa como ánodo y otro como cátodo. Es el caso de la perlita donde la ferrita actúa como ánodo y la cementita como cátodo.

Corrosión por erosión: se suele dar en las tuberías donde se puede oxidar la parte interior de esta, posteriormente el fluido que hay en el interior arranca dicho óxido y se va deteriorando poco a poco con sucesivas oxidaciones y arranque de dichos óxidos.

Corrosión por tensiones: es un caso de oxidación por aireación diferencial. En los codos de las tuberías que han sido deformadas para darles su forma quedan grietas en su interior, que al estar poco aireadas se produce la oxidación.

Protección contra la corrosión

La industria mundial se gasta mucho dinero en reparar los daños producidos por la corrosión de los metales. Es por ello que es necesario haber desarrollado diferentes técnicas para evitar dicha corrosión.

Para proteger los metales las técnicas más importantes son:

Diseño adecuado: unos de los criterios de diseño puede ser no mezclar metales diferentes que pueden formar pilas galvánicas. En el caso de mezclarlos se elegirán aquellos que tengan potenciales parecidos. Otra técnica consiste en poner metales donde la superficie del ánodo sea mucho mayor a la del cátodo, de esta forma la demanda de electrones por parte del cátodo será menor y la zona anódica se oxidará menos. También se utilizan aislantes que impiden que se puedan formar pilas, por ejemplos aislantes de caucho entre los metales.

Selección de material: destaca el uso de materiales alternativos que no se corroen, por ejemplo plásticos. Otro método es usar aleaciones que no se corroen tan fácilmente, por ejemplo el hierro se alea con el cromo o el níquel.

Uso de inhibidores: esta técnica consiste en usar sustancias inhibidoras en el interior de recintos donde hay sustancias oxidantes. Por ejemplo se usan sales de cromo en los radiadores de los coches para que no se oxiden.

Recubrimientos protectores: son sustancias que cubren los metales que impiden que se puedan formar pilas. En el caso de deteriorarse dichos recubrimiento se produce la corrosión. Los más importantes son:

Metálicos: recubrimientos de zinc magnesio, aluminio, etc. El acero se recubre de estos elementos que se corroen dejando el acero libre de corrosión. Si se recubren de oro, cobre o níquel si hay algún tipo de defecto o rayado en esta capa aumenta la corrosión del acero.

Orgánicos: son las clásicas pinturas que deben llevar sustancias antioxidantes o protectoras para aislar el metal. Las pinturas suelen llevar un elemento que es el vehículo donde están los pigmentos o sustancias protectoras. Este vehículo al tener contacto con el aire se evapora y queda sobre la superficie las sustancias protectoras que solidifican.

Con reacción superficial: se provoca una reacción química en la superficie del metal, cambiando su composición que protege al metal. El pavonado es una técnica de reacción superficial donde al acero se le echa un ácido que modifica la composición de su superficie que la protege. El anodizado es otra técnica que se aplica al aluminio forzando la oxidación de su superficie y formando alúmina.

Protección catódica: se pretende con esta técnica forzar al ánodo a ser cátodo, y de esta forma no ser corroe. Existen dos técnicas de protección catódica:

Ánodo de sacrificio: se conecta al ánodo otro metal de potencial menor y se corroe este metal.

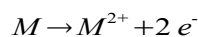
Se fuerza eléctricamente: se conecta el ánodo al polo negativo de la pila, forzando a los electrones a cambiar de sentido.

Oxidación

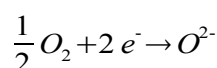
La oxidación es un tipo de corrosión, denominada corrosión seca, producida por el oxígeno que hay en el aire.

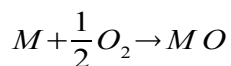
Las reacciones que tienen lugar son las siguientes:

Oxidación:



Reducción:





Existen tres formas de oxidarse los metales:

- Que la capa de óxido ocupe un volumen menor que el metal del que se formó. Forma una capa de óxido porosa que permite que la oxidación prosiga. Es el caso del magnesio.
- Que la capa de óxido ocupe un volumen igual que el metal del que se formó. El óxido ocupa la superficie y no puede proseguir la oxidación. Es el caso del aluminio.
- Que la capa de óxido ocupe un volumen mayor que el metal del que se formó. Al ser mayor que la superficie produce tensiones entre las partículas que propician que se resquebrajen y siga la oxidación. Es el caso del hierro.

Degradación de los plásticos

Los plásticos no se corroen, sino que se degradan. Esta degradación es debido principalmente a agentes químicos, que normalmente son inducidos para conseguir su reciclaje y por la acción del medio ambiente, principalmente las radiaciones solares.

Podemos distinguir tres tipos de degradación de los plásticos:

- **Hinchamiento y disolución.** Se produce al echar determinadas sustancias a los plásticos que produce una descomposición química o destrucción de las cadenas. Como cada tipo de polímero es diferente a cada plástico le afectan sustancias distintas. El hinchamiento se produce cuando se intenta degradar un polímero y no hay suficiente cantidad de disolvente para que se degrade por completo y el plástico se hincha. Cuando hay mucha cantidad de la sustancia degradante, esta disuelve al plástico.
- **Degradación térmica.** Se produce al aplicarle calor al plástico que se rompen las cadenas poliméricas.
- **Degradación debido a los efectos del medio ambiente.** Sobre todo debido a las radiaciones ultravioletas y al calor. Los fluorocarburos tienen una alta resistencia a este tipo de degradación.

Desgaste y erosión

El desgaste y erosión acortan el tiempo de vida útil de los materiales, que se da en todo tipo de materiales, especialmente en las piezas de mecanismos que están sometidos a considerables esfuerzos o a esfuerzos muy repetitivos.

El **desgaste** se produce principalmente por el rozamiento y fricción entre materiales. Esto produce la rotura progresiva de las piezas. Por ejemplo entre dos engranajes unidos que van girando y se producen rozamientos que desgastan las dos piezas.

Los métodos más usados para que el desgaste afecte lo mínimo a las piezas es que ambas tengan durezas similares y sean lisas. También la lubricación es una técnica muy usada, en la que se añaden sustancias que hacen que la fricción se mínima (aceites).

La **erosión** se produce cuando un fluido tiene cambios de estado y presión debido al movimiento de este o de los mecanismos. En las turbinas y en los álabes de los barcos se producen burbujas que producen grandes cambios de presión que van deteriorando progresivamente estos elementos mecánicos al moverse. También se pueden producir en las tuberías debido a las presiones y cambios de estado.