

los materiales la constituye el tamaño individual de las partículas, fibras, granos o cristales que los forman; para un mismo material la masa formada por partículas pequeñas es generalmente más resistente que la de partículas gruesas, por la mutua interferencia de los planos de deslizamiento entre granos adyacentes, no permitiendo que la falla se extienda. Además de la resistencia, la ductilidad de los metales vaciados aumenta con el tamaño del grano. La notable capacidad del hule, el nylon, el chapapote, para deformarse, se atribuye a sus largas cadenas moleculares. El método empleado para determinar el tamaño de las partículas depende de la naturaleza del material. En los metales se expresa el promedio de granos por unidad de área en término de una escala arbitraria y se determina en las microfotografías. En los materiales granulares sueltos como la arena, el cemento, el yeso, etc., el tamaño de las partículas se expresa en función del por ciento que pasa a través de una criba dada, es decir, de un cedazo cuyo número (100, 200, etc), indica el número de aberturas por pulgada de tela que posee, así; entre mayor sea éste, menor deberá ser el tamaño de las partículas. En materiales con partículas de diferentes tamaños, se toman varios cedazos de malla 6 á 300, estableciéndose una relación promedio en gráficas o valores específicos.

PROPIEDADES FISICAS.- Son aquellas que comprenden el comportamiento de los materiales desde el punto de vista físico, sobre todo bajo la acción del calor y la electricidad, pueden considerarse las siguientes:

Cohesión.- Fuerza de atracción entre las partículas de un material, la cual las mantiene unidas, predomina en los sólidos, sobre los líquidos y gases, varía según la obtención, el estado de cristalización y la pureza, disminuye con el aumento en temperatura y las acciones deformantes. La Cohesión de un sólido cristalizado no es la misma en todas las direcciones, presentando cierta debilidad a lo largo de los planos de cristalización, por ej: la mica y cierta variedad de yeso, se parten fácilmente en hojas delgadas paralelas a dichos planos.

Peso Específico.- Es el peso de un volumen determinado del material, comparado con el de un volumen igual de agua. Se expresa en grs/cm^3 , Kgs/dm^3 ó Tons/M^3 , en el sistema métrico y en lbs/plg^3 ó lbs/pie^3 , en el sistema inglés; se le llama también densidad relativa o simplemente densidad. La densidad varía con la porosidad del material y con la estructura, siendo menor, cuanto mayor sea la porosidad, presentado los cuerpos porosos una "densidad aparente", es decir, que no es la densidad propia que el material tendría si fuera compacto; sin embargo, es la más usada en la práctica. Los cuerpos sometidos a presión, por ej; los metales laminados, tienen una densidad mayor por su compactación, que los vaciados, que tienen mayor cantidad de poros. Los cambios de estructura también la afectan, por ej; las diferentes formas alotrópicas presentan distinta densidad. La densidad de un metal es menor al estado líquido que al estado sólido, en el caso de los líquidos, la densidad puede expresarse en grados de un hidrómetro o aerómetro, que es un cilindro vertical lastrado en el fondo, con

una escala marcada con las gravedades específicas o con una escala arbitraria: generalmente se usan los grados Baumé, que se expresan $^{\circ}\text{Bé}$ por ej: 30°Bé , representa una gravedad específica de 1.26087 grs/cm^3 para líquidos más pesados que el agua y de 0.87500 grs/cm^3 , para los más ligeros, estos valores se determinan con aerómetros diferentes y vienen tabulados para transformación en uno u otro. Algunos aerómetros traen las dos escalas.

Calor Específico.- Es la relación entre el calor necesario para aumentar un grado centígrado la temperatura de la unidad de peso de la sustancia y el necesario para elevar también 1°C la temperatura de 1 gr de agua (caloría); también se expresa como el calor en calorías o B. T. U. necesario para elevar 1°C la temperatura de 1 gr, de sustancia. Un B. T. U. (British thermal unity) equivale a 252 calorías pequeñas.

Punto de Fusión.- Es la temperatura a la cual un cuerpo se funde, es decir, se licúa, representa el equilibrio entre el estado sólido y el líquido. La operación a que corresponde se llama **Fusión**. Ciertos cuerpos como el vidrio, el hierro, etc, antes de fundirse se reblandecen, pasando por estados intermedios entre el sólido y el líquido, o sea el estado pastoso (fusión pastosa o vidriosa). La mayor parte de los cuerpos al pasar del estado sólido al líquido aumentan de volumen, esto es de gran importancia porque durante la fusión los trozos del cuerpo todavía sólidos quedan en el fondo del líquido, por lo que pueden seguir recibiendo calor.

Sobrefusión.- En ciertos casos se puede enfriar un líquido a una temperatura inferior a su punto de fusión sin que se solidifique, diciéndose que está en sobrefusión. Este es un estado inestable, cesa cuando se agita la masa o se toca con alguna partícula del cuerpo solidificado.

Solidificación.- Es la operación contraria de la fusión, representa el paso del estado sólido al líquido. La temperatura de solidificación corresponde con la de fusión. La velocidad de solidificación de los materiales tiene una gran influencia en la estructura; generalmente el enfriamiento lento produce formas geométricas definidas que se llaman "cristales" es decir, que el material cristaliza; por el contrario, si el enfriamiento es rápido, ciertos materiales no tienen tiempo de cristalizar y quedan en una forma amorfa; los materiales cristalinos, como los metales, adquieren una estructura fina con el enfriamiento rápido y gruesa o de cristales grandes, con el lento. Los materiales cristalinos como ya se dijo, muestran propiedades variables según la dirección en que se consideren, por ej: la dilatación térmica, por lo cual se les llama "Anisotropos". En cambio los cuerpos amorfos (sin forma) como el vidrio, los plásticos, etc, se forman por la solidificación de un líquido que se va haciendo viscoso por el enfriamiento y que toma un estado sólido llamado "Isótropo", en el cual las propiedades son independientes de la dirección.

Conductibilidad térmica.- Propiedad que poseen los materiales de transmitir el calor de partícula en partícula (átomos o

moléculas) a través de su masa. La unidad puede tomarse como el No. de calorías que pasan por la unidad de tiempo a través de 1 - cúbico de 1 cm de arista, de una sustancia cuyas caras opuestas difieren en 1°C de temperatura. Se expresa generalmente por el símbolo "K" y puede expresarse en Cal/seg/cm²/cm de grueso, éste valor se llama "conductancia específica" o simplemente conductancia. Los buenos conductores son aquellos que transmiten fácilmente el calor, por ej: los metales y malos conductores o aislantes del calor, los que lo transmiten lentamente (madera, vidrio, plásticos, etc). La conductibilidad térmica de la mayor parte de los materiales varía con la temperatura en general es mayor en los que tienen mayor conductibilidad eléctrica. La plata es el material que tiene mayor conductibilidad calorífica (100), le siguen el cobre (75), el oro (53), el zinc (28), el estaño (15) y el hierro (12).-- La conductibilidad térmica de los materiales aislantes depende de la porosidad y del contenido de humedad, aumentando con el aumento de éstas, también, debido a que el aire seco tiene poca conductibilidad; muchos materiales aislantes deben su aplicación al aire contenido en los poros, es decir; que el calor puede transmitirse a través del material, no solo directamente por conducción de sus partículas, sino también indirectamente por el paso del aire a través de los poros y de las grietas del material. La cantidad de calor transmitido en una hora del aire en un lado del material, al otro lado, para una diferencia de 1°C en la temperatura, se conoce como coeficiente de transmisión del calor.

Durabilidad.-- Resistencia de un material a perder sus cualidades, es decir, a deteriorarse durante su uso. Para ser durable un material debe resistir todas las formas de destrucción física y química, a tal grado que el efecto combinado de éstas no haga insegura la estructura en que se usa durante el período de vida prescrito. Para aumentar la durabilidad de los materiales, éstos deben protegerse de acuerdo con su afectabilidad contra ciertos factores de destrucción, por ej: con pinturas y cubiertas protectoras (metales, madera, etc), con sustancias químicas, por ej: la madera se impregna o cubre para protegerla contra la putrefacción y el ataque de insectos. Con depósitos metálicos, por ej: el fierro se somete a galvanizado o estañado. Con materiales refractarios o aislantes contra el calor, etc.

Absorción de Radiaciones.-- Con el gran desarrollo de la energía atómica, se ha presentado la necesidad de valorizar la capacidad de los materiales para resistir la radiación. De los varios tipos de radiación los de más importancia son sin duda los rayos gama y los neutrones, por su mayor poder de penetración. La efectividad de un material para atenuar los rayos gama es a veces tomado por un grosor de $\frac{1}{2}$ o sea el grueso del material necesario para reducir a la mitad, la intensidad de la radiación. Los neutrones pueden ser absorbidos por el núcleo de los materiales que penetran o pueden ser desviados y reducirse su energía, la probabilidad de reacción se mide por la sección transversal del material expresada en unidades de 10⁻²⁴cm², llamadas Barnios, cuya área es equivalente al área proyectada del núcleo del átomo, por ej: el cadmio, que es un material de absorción, tiene una sección transversal de 3,000 Barnios.

PROPIEDADES MECANICAS.-- Además de estas propiedades que son puramente físicas, hay que considerar otro grupo de propiedades que también son físicas pero que representan el comportamiento de los materiales bajo ciertos esfuerzos o cargas, las cuales se llaman propiedades mecánicas y se expresan en función de las resistencias ofrecidas a dichos esfuerzos y que pueden ser:

A la Tracción.-- Resistencia a separarse las partículas del material por la aplicación de dos fuerzas en sentido opuesto (es tiramiento, tensión).

A la Compresión.-- Resistencia a que los espacios entre las partículas de un material disminuyan por la acción de fuerzas aplicadas hacia el cuerpo en sentido opuesto, es decir, tendiendo a comprimirlo.

A la Flexión.-- Resistencia de un material en forma de barra a doblarse sobre sí mismo.

A la Torsión.-- Resistencia a fuerzas que tienden a hacer girar en sentidos opuestos las fibras de un material.

Los valores numéricos de éstas resistencias se miden con máquinas apropiadas (véase Ensayo de Materiales) y se expresan como la resistencia ofrecida por el material a romperse (última fuerza) bajo la acción de dichos esfuerzos en kgs/cm² o lbs/plg². Estas resistencias proceden de las propiedades siguientes de los materiales.

Elasticidad.-- Propiedad que tienen los materiales de recuperar el volumen y forma primitivos cuando cesa la fuerza que producía la deformación. La deformación experimentada es diferente según se trate de materiales amorfos o cristalinos; en los primeros es rigurosamente proporcional a la carga aplicada, hasta un cierto límite que se llama "límite de proporcionalidad", dando una relación constante entre la carga y la deformación que se llama Módulo de elasticidad; mientras que en los segundos, la deformación proporcional es muy pequeña, hasta que la carga alcanza un valor crítico, después del cual se produce un aumento muy rápido en la deformación, para un pequeño aumento de la fuerza, llamándose a éste valor "límite elástico", y a la carga o fuerza correspondiente "Carga límite de elasticidad", sobrepasada ésta, sobreviene la ruptura del material, llamándose a la carga "carga de ruptura", que como ya se dijo puede corresponder a distintos esfuerzos (tensión, compresión, etc), y expresarse en fuerza por unidad de sección (Kgs/cm², etc).

Plasticidad.-- Propiedad que tienen los materiales de conservar la forma que se les dé, sin volver a la original cuando cesen las fuerzas aplicadas, o sea lo contrario de la elasticidad. En general, los materiales no son ni totalmente elásticos, ni totalmente plásticos, habiendo algunos que pueden ser elásticos y plásticos, recobrando gran parte de la deformación producida, pero no su totalidad. Algunos metales se hacen parcialmente plásticos a temperaturas elevadas. La plasticidad se deduce de las pruebas de resistencia a la tensión. En los metales, puede atribuirse al arreglo atómico dentro de los cristales. La mayoría de los materiales no cristalinos (ladrillos, piedras, etc), no presentan plasticidad, siendo en cambio frágiles.

Fragilidad.- Propiedad que tienen ciertos materiales de romperse debido a golpes o choques y a veces a cambios de temperatura. No se conoce exactamente su causa, sin embargo, la presencia de ciertos esfuerzos internos de tensión, pueden volver frágil un material resistente, éstos esfuerzos pueden ser causados por imperfecciones estructurales o químicas, sobre todo en los materiales metálicos, aumentando muchas veces la tendencia a romperse por encima de los valores teóricos, por ej: en el caso de materiales amorfos como el vidrio, la discrepancia observada entre los valores teóricos y los prácticos puede deberse a la presencia de pequeñas grietas superficiales.

Dureza.- La resistencia que un material opone a la penetración de un cuerpo extraño en su superficie. En los materiales no metálicos se expresa en función de la escala de Moh, o sea una escala de los materiales, de dureza creciente, que se toma como tipo, (veáanse Piedras de Construcción). En los metales se expresa como un No. de una escala arbitraria, Brinell, Rockwell, etc, determinándose en aparatos apropiados, por la resistencia ofrecida a la penetración de una punta cónica o en forma de esfera, bajo la acción de una carga determinada. El No. de dureza se lee en una escala graduada circular o en una tabla apropiada y solo tiene valor cuando se tienen las tablas comparativas, es decir; cuando se conocen previamente los límites de dureza del material estudiado. La dureza tiene gran importancia en las operaciones de acabado de piezas (pulido, cepillado, maquinado, etc), ya que muchas veces un material de buenas características, no es apropiado para un uso determinado por no podersele dar la forma necesaria a causa de ser demasiado duro. La dureza de los metales puede modificarse por el Recocido, que es una operación térmica.

Tenacidad.- Resistencia que oponen los cuerpos a la ruptura por tensión o compresión. En los metales depende de la estructura interna, según la fineza de los cristales, y si se ha sometido o no a esfuerzos mecánicos. Disminuye generalmente con el aumento de temperatura. En los materiales amorfos, la carga necesaria para producir un determinado % de deformación aumenta rápidamente al disminuir la temperatura, pudiendo aumentar casi al doble con un descenso de 100°C. La tenacidad de los materiales metálicos está dada por la carga límite de elasticidad.

Maleabilidad.- Propiedad que permite a los cuerpos ser extendidos permanentemente en láminas en todos sentidos, sin ruptura, por la acción de presiones constantes. De los metales, el oro y la plata son los mas maleables (1 y 2), siguen por orden: cobre, aluminio, estaño, plomo, zinc, hierro y níquel. Es una consecuencia de la plasticidad.

Ductilidad.- La propiedad de los cuerpos de dejarse estirar en hilos sin romperse. Aunque ésta propiedad parece relacionarse con la maleabilidad, el orden según su ductilidad es diferente, por ej el cobre está en el No. 3 de maleabilidad y en el 6 de ductilidad. Es como la maleabilidad una consecuencia de la plasticidad. En las pruebas de tensión los materiales dúctiles sufren un alargamiento en longitud antes de romperse. El aumento en longitud expresado como un porcentaje de la longitud original se designa como 'alargamiento'.

C A P I T U L O II

METALURGIA EXTRACTIVA.

GENERALIDADES.- Enormes cantidades de metales son extraídas anualmente en todo el mundo a partir de sus minerales, empleándose muchos de ellos en forma pura, pero principalmente aleados con otros metales para modificar sus propiedades y llenar las especificaciones requeridas en la práctica. Es por esto de gran importancia dar los pormenores del estudio de los metales en general, o sea de la metalurgia. Para comprender mejor los hechos que comprende, es muy conveniente definir los términos que en ella se emplean.

METALURGIA.- Es la ciencia que trata sobre la constitución, estructura y propiedades de los metales y aleaciones y de los procesos por los cuales son obtenidos de los minerales y adaptados para su uso en la práctica. Comprende dos ramas a saber: Metalurgia descriptiva o física y metalurgia extractiva.

Metalurgia descriptiva o física.- Trata de las relaciones entre las estructuras de metales y aleaciones, tal como son reveladas por el microscopio, y sus propiedades, así como también de la influencia en éstas, de los métodos de manufactura, los tratamientos térmicos, la composición química y el trabajo en frío o en caliente a que se sometan (Cap. IV).

Metalurgia extractiva.- Trata de la extracción y concentración de minerales y de la separación de los metales de los elementos con los cuales se encuentran asociados, ya sea físicamente (mezclados) o químicamente (combinados), es decir, de los compuestos o minerales en que se hallan y de los minerales que no los contienen y con los que están mezclados aquellos (ganga).

ELEMENTOS.- Cuerpos simples formados por átomos, que ya no pueden descomponerse en otros más sencillos por los métodos comunes, por ej: los metales.

COMPUESTOS.- Combinaciones químicas de cuerpos simples, tales como: óxidos, sulfuros, etc.

MEZCLAS.- Reunión de dos o más materiales, separables por medios físicos y que conservan sus propiedades características.

METALES.- Elementos de carácter electropositivo, con el oxígeno forman óxidos, generalmente de carácter básico.

Los Metales Comunes de uso en la industria son aquellos que poseen lustre brillante, son sólidos de gran densidad (excepto el aluminio, el magnesio, y el berilio), buenos conductores del calor y la electricidad, generalmente dúctiles y maleables y de pun