

# Tema 1: Introducción a la ciencia e ingeniería de materiales

## 1.3 Características, propiedades y comportamiento de los materiales

La **caracterización** de un material es averiguar los parámetros específicos de los aspectos físicos y químicos de su composición y estructura. La composición es la proporción de los diferentes constituyentes del material (diferentes química y físicamente). La estructura se refiere a la distribución espacial, la orientación y asociación de los constituyentes. Caracterizar un material es determinar los parámetros necesarios para identificarlo y describirlo.

Un material es **homogéneo** cuando consta de una única fase, es decir, que no puede ser subdividido físicamente en componentes más simples con características diferentes. En caso contrario, el material es no homogéneo o heterogéneo.

Las **propiedades** de un material son la respuesta del material a cambios químicos o físicos del ambiente en el que se encuentra. Esos cambios es lo que denominamos estímulos externos. Ejemplos de propiedades: módulo elástico, resistencia mecánica, conductividad eléctrica, constante dieléctrica, capacidad calorífica, conductividad térmica, índice de refracción, reflectividad, inductancia magnética, , reactividad química, adsorción y dilución debido a cambios químicos, propiedades reológicas (deformación, flujos) etc. Los sistemas materiales dispersos (materiales en polvo) también tienen propiedades específicas como la velocidad de sedimentación, movilidad electroforética, dispersión de luz. Si una propiedad varía según la dirección en la que se aplique el estímulo, se dice que el material es **anisótropo con respecto a esa propiedad**. Si tiene las mismas propiedades independientemente de la dirección en la que se aplique, el material es isótropo.

Caracterizar un material es averiguar qué es (composición y estructura, tanto estructura cristalina como microestructura), es averiguar los parámetros necesarios para su identificación o descripción.

Determinar sus propiedades es determinar su respuesta en diferentes situaciones, lo que es importantísimo para desarrollar aplicaciones. Las propiedades del material van a estar relacionadas con su composición y su estructura.

El **comportamiento** del material es la respuesta del material en ciertas condiciones de trabajo. En realidad el comportamiento sería igual que la respuesta del material, pero cuando se mezclan distintos estímulos que pueden o no estar interrelacionados.

## 1.4 Sistemas materiales dispersos: la superficie y el volumen

### 1.4.1. Sistemas materiales dispersos

Hoy día, además de los tres estados de agregación de la materia (sólido, líquido y gaseoso), se utilizan una serie de sistemas materiales con propiedades muy singulares que a veces son difíciles de clasificar dentro de uno de estos tres estados. Por ejemplo, en el procesado de materiales se utilizan muchos materiales en polvo, que son un tipo particular de sistema material disperso.

Los **sistemas materiales dispersos** son aquellos sistemas materiales formados por un conjunto de partículas sólidas de pequeño tamaño (sólidos finamente divididos).

Estos sistemas tienen características y propiedades particulares que van a influir en la calidad de objeto final. Cuando las partículas son muy pequeñas la única forma de manejarlas es dispersándolas en un medio fluido (aire o agua).

El comportamiento del sistema material disperso depende básicamente de la relación que exista entre la **fuerza gravitacional** y las **fuerzas superficiales**. Las primeras empujan las partículas hacia el fondo del recipiente (sedimentación), las segundas tienden a mantener a la partícula en suspensión en el fluido. Si el peso de la partícula le gana a las fuerzas superficiales el material se denomina **granular**. Si ambas fuerzas son del mismo orden, el material se denomina **polvo**, y si la fuerza gravitacional es despreciable con respecto a las superficiales se denomina **coloide**. Cuando las fuerzas gravitacionales no son dominantes, es muy difícil recuperar el material disperso, y hay que recurrir a la adsorción de ciertas moléculas en la superficie de las partículas para que disminuyan las fuerzas superficiales repulsivas y se formen aglomerados o agregados de mayor tamaño que pesen más y sedimenten en el fondo del recipiente.

Las fuerzas superficiales dependen enormemente del medio fluido en el que se encuentren las partículas, y la gravitacional depende del tamaño y de la densidad. Como también influye la densidad y el medio fluido, no se puede clasificar un sistema disperso como granular, polvo o coloide atendiendo únicamente a su tamaño. Sin embargo, por cuestiones prácticas, se considera que un medio es granular si las partículas tienen un tamaño igual o superior a  $44\ \mu\text{m}$ , y coloide si son inferiores a  $1\ \mu\text{m}$ . El sistema es en polvo si tiene tamaños de partícula comprendidos entre 44 y 1 micras. Las partículas, por muy pequeñas que sean, pueden tener una única fase o diferentes fases, y también pueden tener porosidad, lo que influye en la densidad total (el peso) de la partícula.

**Caracterizar completamente un sistema material disperso** es una tarea imposible. Habría que definir la composición y estructura, y el tamaño y la forma de cada una de las partículas, y eso es prácticamente imposible. Lo que hacemos es definir unos mínimos:

Por una parte hay que **caracterizar las partículas**: Composición química principal, composición de las diferentes fases, existencia de dominios, estructura de la cada una de las fases, composición y estructura de los bordes o interfases, tamaño de partícula, forma de partícula, densidad de la partícula (porosidad y tamaño de poro, superficie específica).

Por otra parte hay que **caracterizar el sistema de partículas** con magnitudes promedio y abundancias relativas de cada uno de los tipos de partículas: distribución de composición química, distribución de las fases, distribución de estructuras de las partículas, distribución de tamaños, distribución de formas, distribución de densidades de las partículas. Y con magnitudes referidas al propio sistema de partículas: densidad de partículas en el sistema total, estructura de las partículas en el sistema disperso, distribución de porosidad del sistema disperso (espacios vacíos entre las partículas), y superficie específica del sistema disperso.

Para determinar todos estos parámetros correctamente es muy importante seleccionar un conjunto de partículas que sea representativo de todo el sistema. Hacer un buen muestreo es fundamental para caracterizar un sistema material disperso.

### 1.4.2. La superficie y el volumen

La superficie de un material sólido es la última capa de átomos del material, y es diferente del interior del material (el bulk en inglés).

La última capa de átomos está sólo parcialmente rodeada de átomos del material, lo que convierte a esta capa en una singularidad del material (es un defecto estructural mucho más extenso que cualquier otro, como por ejemplo las dislocaciones).

La naturaleza y propiedades de esta capa van a determinar el comportamiento de los sistemas en polvo y coloides, donde las fuerzas superficiales son muy importantes. Una capa de átomos tiene espesores del orden de los angstroms (Å) ( $10^{-10}$  m).

Hemos dicho que los coloides tienen tamaños de partícula inferiores a 1 micra, y deben tener tamaños superiores a 1 nm ( $10^{-9}$  m) para que realmente se pueda hablar de sólido.

La superficie es lo que un material ve de otro material, por lo que a la hora de compactar (sinterizar) polvos es fundamental que la superficie de las partículas sean compatibles. Entre dos granos se va a formar una interfase cuyas características dependerán de como era la superficie de dos granos originales. Las interfases por lo general van a tener un mayor contenido de impurezas como consecuencia de la oxidación o adsorción de átomos y moléculas en la superficie de los granos. Por tanto, la superficie muy importante en todo el procesado de materiales a partir de polvos, ya sean metales, cerámicos o polímeros.

Para que átomos ajenos al material difundan en su interior, lo primero que ven las especies difusoras del material es su superficie, por lo que las propiedades de la superficie también son decisivas en procesos de oxidación o de dopaje (fabricación de semiconductores).

Las técnicas de análisis de materiales que tenemos disponibles por lo general estudian todo el volumen del material (por ejemplo, cuando se hace un análisis químico disolviendo toda la muestra o atravesando con cierta radiación todo el espesor de la muestra), sólo algunas de ellas estudian únicamente profundidades de unas cuantas micras (técnicas basadas en principios físicos que tampoco distinguen la superficie), y únicamente algunas técnicas muy específicas son capaces de ver espesores del orden de los angstroms o de los nanómetros (esto es del orden de 10 capas de átomos) donde la superficie tiene una gran influencia.

Mientras menor sea el tamaño de partícula, mayor es su relación superficie/volumen, lo que significa que hay un porcentaje mayor de átomos en la superficie respecto a los que hay en el interior. Como ejercicio práctico, calcula la superficie y el volumen de un sistema de partículas disperso contenido en un recipiente cúbico de lado 1 m (volumen total  $1 \text{ m}^3$ ), suponiendo que las partículas son cúbicas y están perfectamente ordenadas llenando todo el volumen del recipiente, para el caso de partículas de 1 mm de tamaño y de 1 micra de tamaño. Calcula el cociente superficie / volumen del sistema total. ¿En cual de los dos sistemas cobra más importancia la superficie?