

Dispersiones en el Medio Ambiente

CI4102 Ingeniería Ambiental

Profesor Marcelo Olivares A.

Dispersiones: Introducción

Dispersiones: sistemas en que partículas se encuentran dispersas en un medio continuo (fluido)

- **Suspensiones**: medio fluido heterogéneo que contiene partículas que sedimentan (> 0.5 micrón)
- **Suspensiones coloidales**: contienen coloides (no sedimentan)
- **Soluciones**: no se puede distinguir “partículas” → Mezcla homogénea. Interacciones a nivel molecular.

Dispersiones: Partículas

Partícula \implies Porción de materia sólida, líquida o gaseosa más grande que una pequeña molécula individual (diámetro mayor que 1 nanometro).

¿Cómo caracterizamos las partículas?

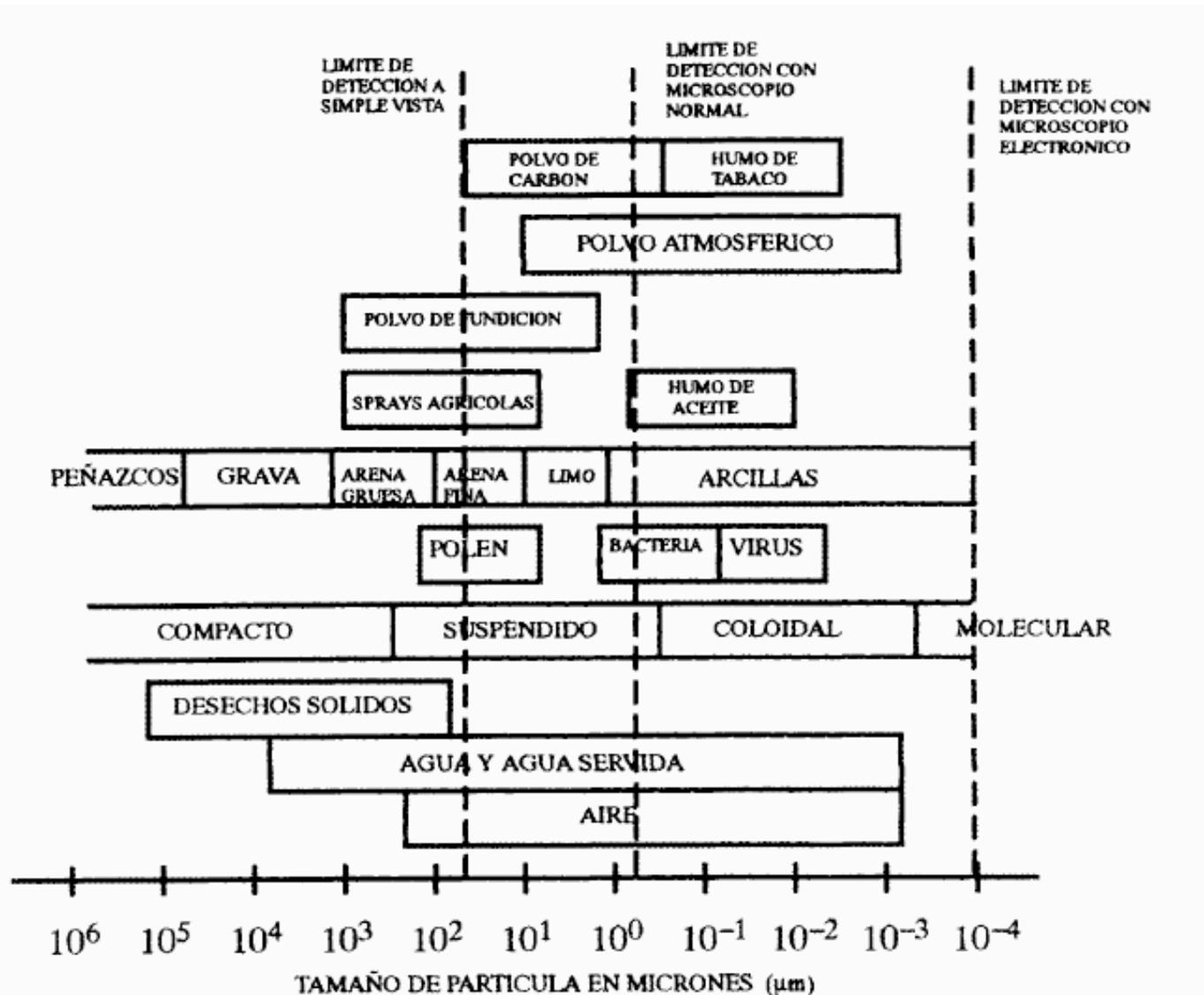
- Por su **tamaño** (individual) o **distribución de tamaño** (global)
- Por su **forma** (factor de **esfericidad**)

Ejemplos en ingeniería ambiental:

- Contaminación atmosférica \implies Material Particulado
- Desarenador y Decantador (Tratamiento de Agua Potable y Servida)

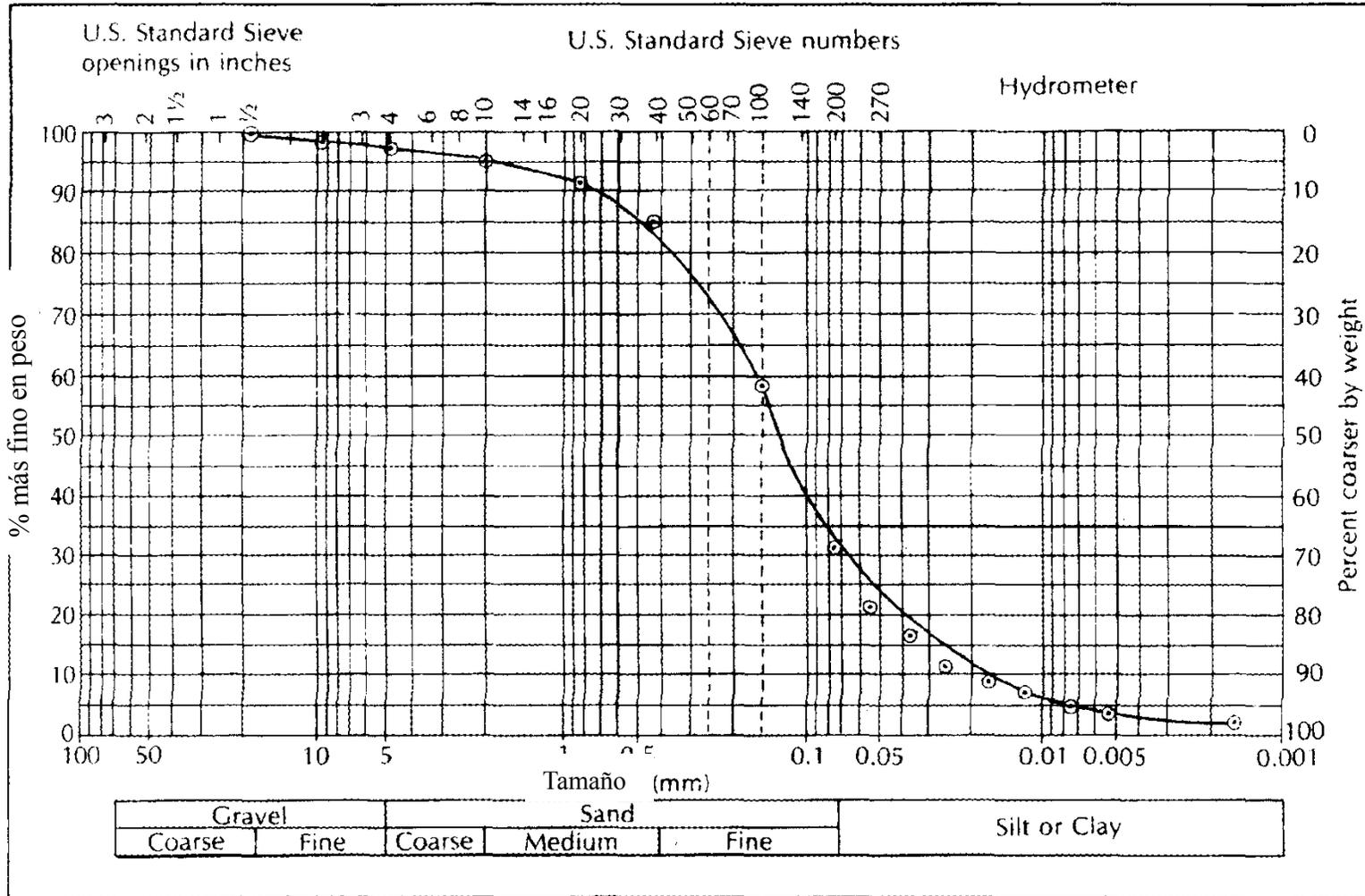
Dispersiones: Tamaño de Partículas

Distribución de Partículas en Sistemas Ambientales



Dispersiones: Tamaño de Partículas

Curva Granulométrica: Distribución por tamaño de una muestra de partículas



Dispersiones: Sedimentación de Partículas

$$\sum \text{Fuerzas} = F_E - F_B - F_D$$

Fuerza de Arrastre

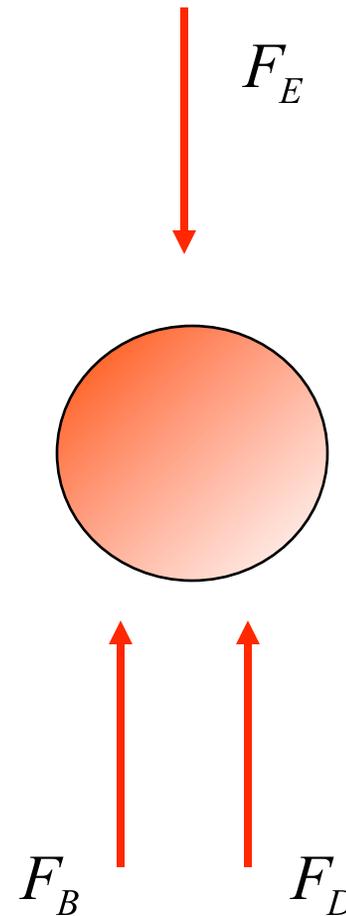
$$F_E = M \cdot g \longrightarrow \text{Peso}$$

$$F_B = \frac{\rho}{\rho_p} \cdot M \cdot g \longrightarrow \text{Fuerza de Empuje}$$

$$F_E - F_B - F_D = M \cdot \frac{du}{dt}$$



$$\frac{du}{dt} = \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} g - \frac{F_D}{M}$$



Dispersiones: Sedimentación de Partículas

Sustituyendo los valores de F_R , F_E y F_B en la ecuación de balance:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} g - \frac{F_D}{M}$$

Experimentalmente se ha determinado que la fuerza de arrastre puede ser escrita como:

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot A_p \cdot \rho \cdot u^2$$

donde:

C_D : coeficiente de arrastre (sin dimensiones)

A_p : área proyectada de la partícula.

Substituyendo esta expresión en la ecuación de balance se obtiene:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \cdot g - \frac{C_D \cdot A_p \cdot \rho \cdot u^2}{2 \cdot M}$$

Dispersiones: Sedimentación de Partículas

Si suponemos que la partícula es **esférica** podemos escribir:

$$\frac{A_p}{M} = \frac{\pi d_p^2 / 4}{(\pi d_p^3 / 6) \rho_p} = \frac{3}{2 \cdot \rho_p \cdot d_p}$$

donde d_p es el diámetro de la partícula. Al substituir el valor de A_p/M en la ecuación anterior obtenemos:

$$\frac{du}{dt} = \frac{\rho_p - \rho}{\rho_p} \cdot g - \frac{3 \cdot C_D \cdot \rho \cdot u^2}{4 \cdot \rho_p \cdot d_p}$$

La **velocidad terminal de sedimentación** u_t se alcanza cuando:

$$\frac{du}{dt} = 0$$

con lo cual:

$$u_t = \left(\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot C_D \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dispersiones: Sedimentación de Partículas

Por medio de experimentos se ha determinado que C_D es una función del número de Reynolds de la partícula, Re :

$$C_D = \frac{b}{Re^n} \quad \text{con} \quad Re = \frac{u \cdot d_p \cdot \rho}{\mu}$$

donde μ es la viscosidad dinámica del fluido, y los valores de b y n están dados en la siguiente tabla.

Características del Flujo

Tipo de Flujo	Re	b	n
Laminar	<2	24.0	1.0
Intermedio	2-500	18.5	0.6
Turbulento	>500	0.44	0.0

Dispersiones: Sedimentación de Partículas

En la naturaleza las partículas son rara vez esféricas por lo cual debemos recurrir al concepto de **esfericidad**, Ψ , para modificar la relación área/masa de la siguiente forma:

$$\frac{A_p}{M} = \frac{3}{2 \cdot \psi \cdot \rho_p \cdot d_p}$$

El coeficiente de esfericidad toma un valor de 1.0 para esferas, mientras que para partículas no esféricas es siempre menor que 1.0. Por ejemplo, para **lentes de mica es igual a 0.28** mientras que para **carbón pulverizado alcanza a 0.73**.

Dispersiones: Sedimentación de Partículas

Régimen Laminar- Partícula Esférica

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} = \frac{24 \cdot \mu}{u \cdot d_p \cdot \rho} \quad u_t = \frac{(\rho_p - \rho) \cdot g \cdot d_p^2}{18\mu}$$

Régimen Transición Laminar-Turbulento Partícula Esférica

$$C_D = \frac{18.5}{\text{Re}^{0.6}} \quad u_t = \left(\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot C_D \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Régimen Turbulento- Partícula Esférica

$$C_D = 0.44 \quad u_t = \left(\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_p - \rho) \cdot d_p}{3 \cdot C_D \cdot \rho} \right)^{\frac{1}{2}}$$

Dispersiones: Dispersiones Coloidales

Ejemplo:

Velocidad de sedimentación.

Calcular la velocidad de sedimentación de dos partículas esféricas de diámetro (a) 0.1 mm y (b) 0.001 mm en agua detenida y con una temperatura de 20°C. La gravedad específica del material sólido es 2.65. Asuma condiciones laminares. Un tiempo de detención común para tanques de sedimentación es alrededor de 2 hr. De acuerdo a sus cálculos será posible que estas partículas puedan alcanzar el fondo de un tanque sedimentación de 3.5 m de profundidad en el tiempo de detención señalado?

Dispersiones: Dispersiones Coloidales

Temperature - t - (°C)	<u>Dynamic Viscosity</u> - μ - (N s/m ²) x 10 ⁻³	<u>Kinematic Viscosity</u> - ν - (m ² /s) x 10 ⁻⁶
0	1.787	1.787
5	1.519	1.519
10	1.307	1.307
20	1.002	1.004
30	0.798	0.801
40	0.653	0.658
50	0.547	0.553
60	0.467	0.475
70	0.404	0.413
80	0.355	0.365
90	0.315	0.326
100	0.282	0.294

Dispersiones: Suspensiones Coloidales

Suspensiones coloidales  Coloides (sólidos, líquidos o gaseosos) separados por un medio de dispersión.

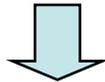
Nombres comunes para dispersiones coloidales son:

FASE DISPERSA	MEDIO DE DISPERSION	NOMBRE COMUN
Sólido	Líquido	Suspensión Coloidal
Líquido	Líquido	Emulsión
Gas	Líquido	Espuma
Sólido	Gas	Humo
Líquido	Gas	Bruma

Las **propiedades** de las dispersiones coloidales están relacionadas con el **pequeño tamaño de los coloides**.



Gran área superficial por unidad de volumen (Superficie específica).



- **Adsorción** (acumulación de sustancias en su superficie)
- **Carga eléctrica** (positiva o negativa, depende de la sustancia que lo forma)