



Universidad  
Politécnica  
de Cartagena

# **ABASTECIMIENTO DE AGUAS**

TEMA 6  
Coagulación  
y floculación

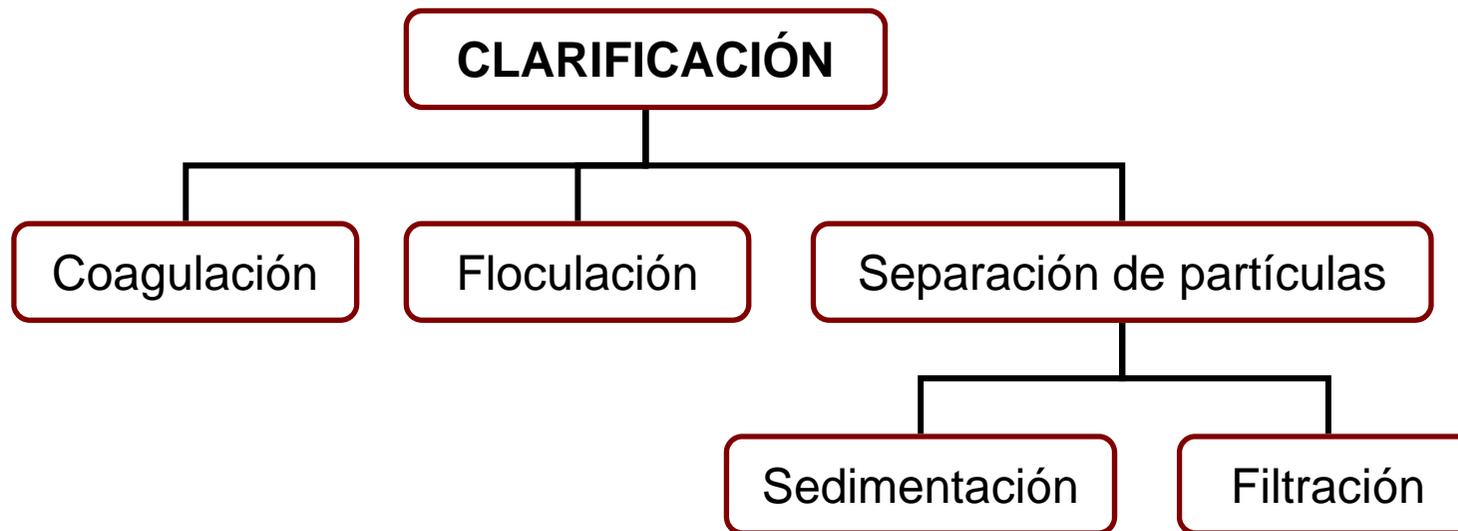
Francisco Javier  
Pérez de la Cruz

Mario Andrés  
Urrea Mallebrera

### CLARIFICACIÓN

**Objetivo** → El proceso de clarificación tiene como objetivo la eliminación de sustancias en suspensión, sustancias disueltas y la supresión de la flora microbiana, además de la posible corrección de algunas características físico-químicas.

El proceso de clarificación incluye las siguientes etapas: coagulación, floculación, decantación y filtración.



### SUSPENSIONES COLOIDALES

Se denominan suspensiones coloidales (o coloides) a los sistemas físico-químicos estables formados por dos fases: una continua, normalmente fluida, y otra dispersa (en menor proporción) en forma de partículas, por lo general sólidas.

La teoría de la estabilidad de los coloides se conoce como la teoría de la doble capa eléctrica (*double electrical layer*), debido a como se modela la superficie intermedia entre la partícula coloidal y el seno del líquido.

La primera teoría sobre la doble capa eléctrica la propuso Hemholtz en 1879, y fue modificada posteriormente por varios investigadores como Couy, Chapman y Stern.

Parte de la base de que las cargas superficiales de la partícula coloidal atraen iones de carga opuesta, estableciéndose un estado de carga neutra entre la partícula y su alrededor inmediato

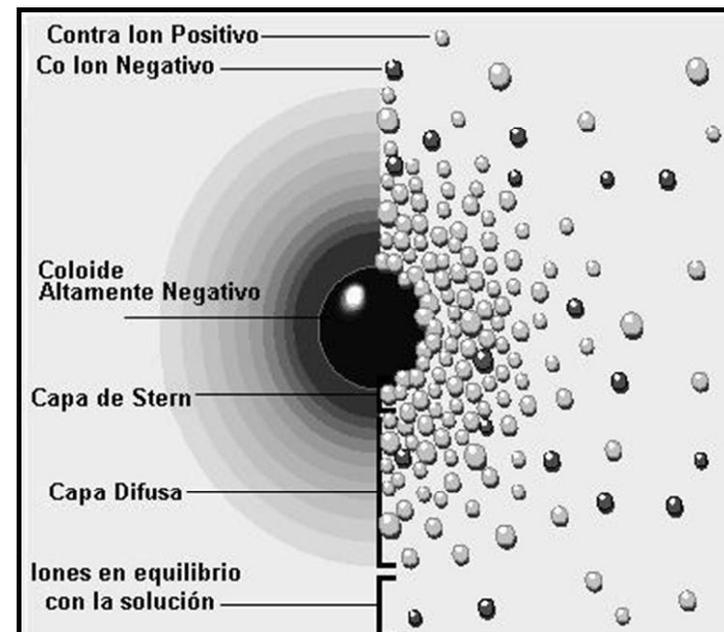


*Hermann von Helmholtz*  
(1821 – 1894)

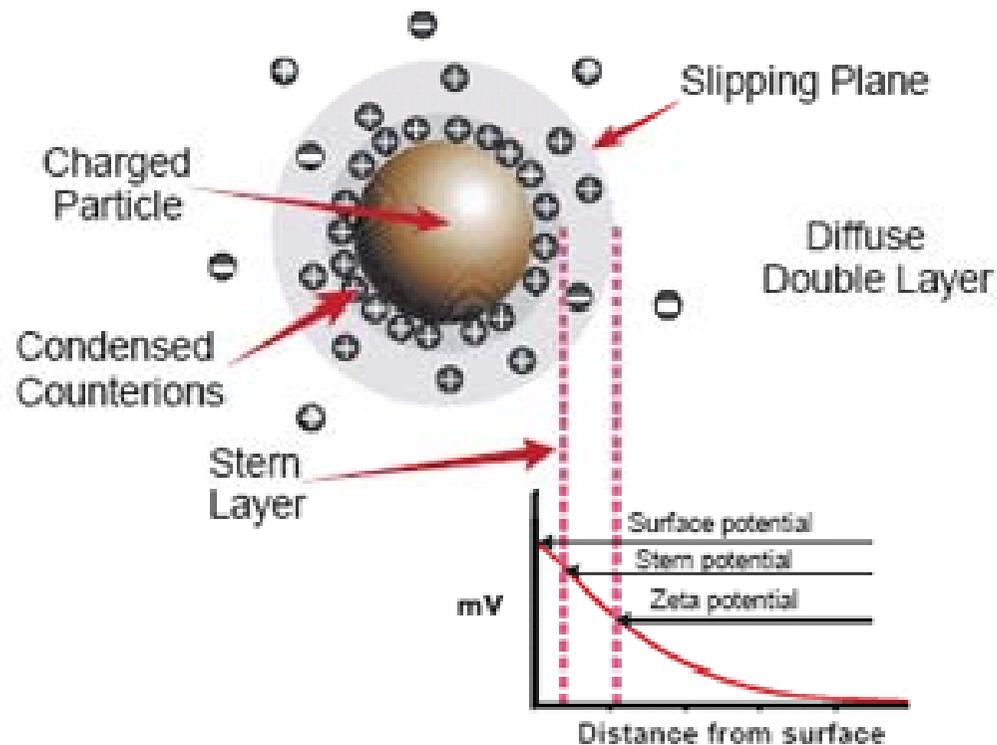
En esta zona de *carga neutra*, el continuo movimiento de las moléculas de agua impone la existencia de una capa difusa de cargas eléctricas que se extienden hacia el seno del agua.

Aparecen así varias zonas que denominaremos:

- a) *Capa superficial del coloide* (carga negativa), donde existe un potencial eléctrico denominado Potencial de Nernst
- b) *Capa de Stern*, constituida por cargas de signo positivo, atraídas fuertemente por la superficie coloidal, donde el potencial eléctrico se denomina potencial de Stern.
- c) *Capa difusa de Gouy-Chapman*, constituida por el resto de iones móviles, hasta la superficie neutra del líquido



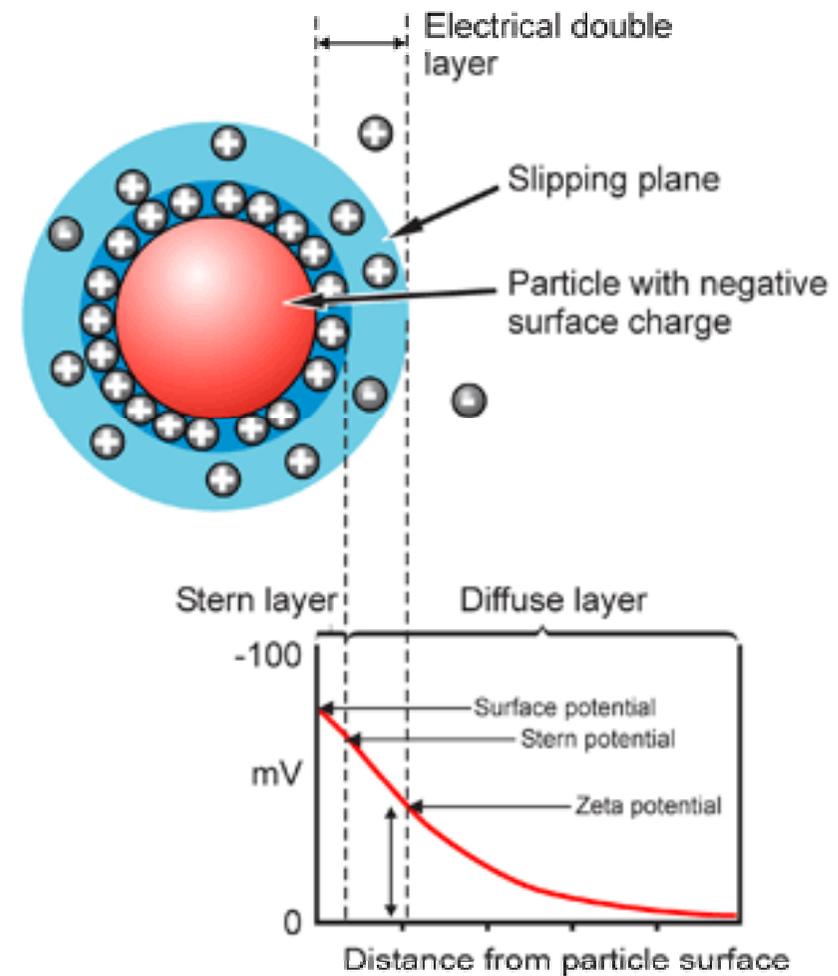
**Potencial Zeta** → Evidentemente, la partícula coloidal cargada tiene un cierto potencial eléctrico con respecto a la solución neutra en la que se halla, potencial que decrece hasta una distancia suficiente para que los efectos de la carga sean inapreciables. El valor de la diferencia de potencial entre el límite de solución rígidamente unida a la partícula y la masa del líquido se denomina *potencial Zeta*.



La existencia del potencial Zeta y esta doble capa es lo que impide la aproximación de las partículas a una distancia suficiente como para que las fuerzas atractivas de Van der Waals entren en acción y agrupen los coloides.

Unido a ello aparece el fenómeno de la repulsión electrostática entre cargas de igual signo, de modo que todo ello fortalece la estabilidad del sistema.

El conseguir la formación de agregados de partículas o flóculos dependerá de la capacidad de ruptura de la estabilidad de los coloides, o dicho de otro modo, será función de la posibilidad de reducir el potencial Zeta existente entre partícula y la capa límite que define la zona de movilidad iónica.





## Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

### Tema 6. Coagulación y floculación



Las partículas coloidales están en constante movimiento y se producen colisiones de las que se desprende energía. Cuantas más colisiones se produzcan, mayor será la posibilidad de agregación; a pesar de ello, no se generará un número suficiente de uniones fruto de la colisión, si no existe una previa desestabilización del equilibrio coloidal

Pueden aumentarse las colisiones entre partículas, estableciendo flujos hidráulicos, recurriendo a la creación de zonas de mezcla rápida o zonas de gran turbulencia, variando las condiciones de agitación

Entre las distintas moléculas, existe una fuerza cohesiva atómica, resultante de la atracción entre todos los átomos, pues en un conjunto cada uno atrae al resto. Esta es la fuerza de Van der Waals, y el efecto agregador sólo tiene lugar cuando las fuerzas atractivas superen a las electrostáticas de repulsión, facilitando la aproximación y adherencia de unas partículas con otras progresivamente.

Por último, y en menor escala, existe la fuerza gravitacional, la cual decantará las partículas presentes en el agua, aunque algunas, por tamaño, superficie específica y peso, necesitarían para ello un tiempo casi infinito

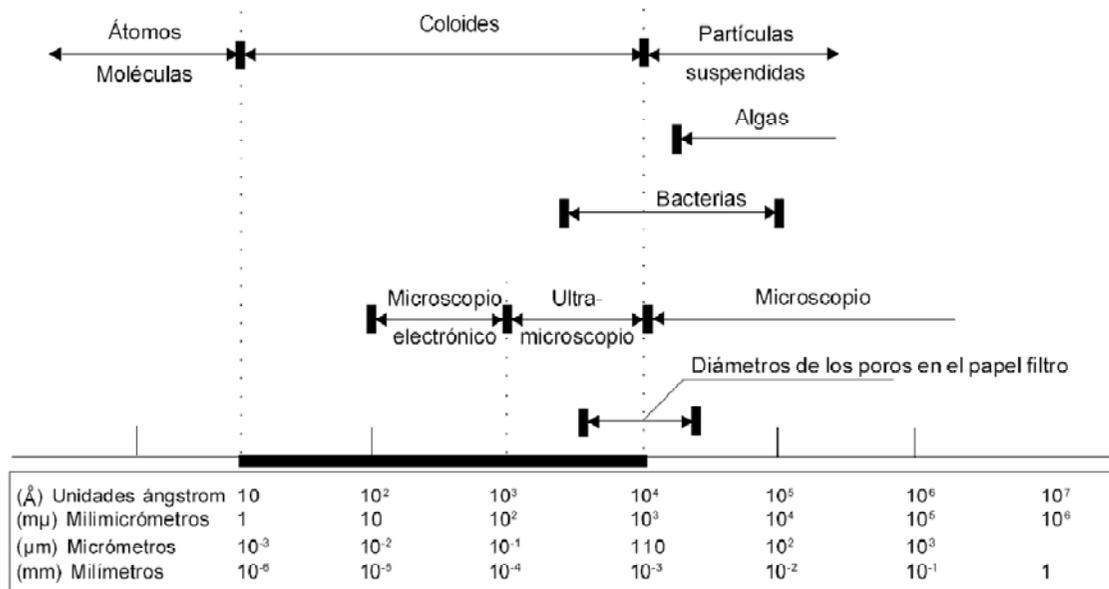
### COAGULACIÓN

Se denomina *coagulación* al proceso de desestabilización y posterior agregación de partículas en suspensión coloidal presentes en el agua, para potenciar la etapa de decantación o espesado en la que esas partículas deben separarse del agua.

La desestabilización se consigue neutralizando sus cargas eléctricas, con lo que dejan de actuar las fuerzas de repulsión, su potencial Zeta se anula y los coloides tienden a agregarse por acción de masas

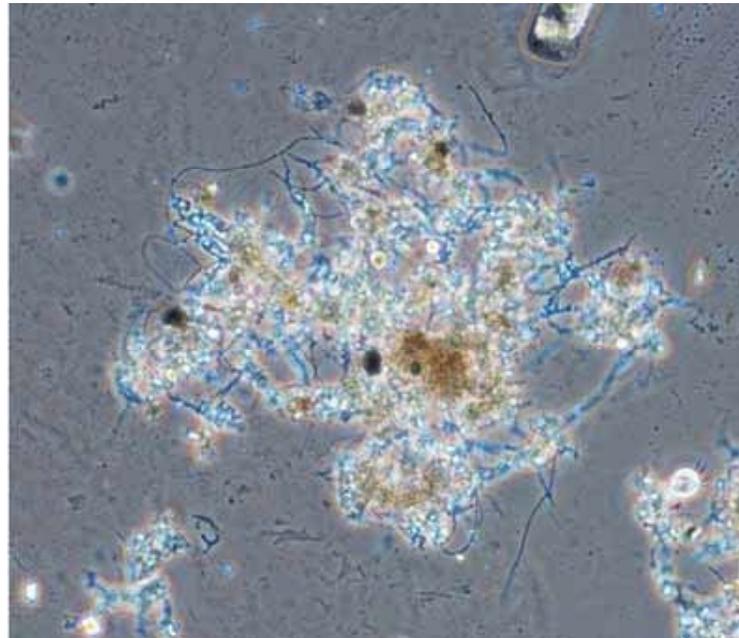
Normalmente, las partículas a coagular proceden :

- 1) Del suelo, por arrastre de minerales en disolución
- 2) De descomposición de materia orgánica natural en los cursos de agua
- 3) De vertidos domésticos e industriales



El objetivo de la coagulación como proceso previo a la decantación es cambiar las propiedades de los elementos insolubles, de modo que sean más fácilmente separables.

Como es mucho más sencillo separar partículas grandes y pesadas que partículas ligeras y de poca superficie específica, el proceso de coagulación tenderá a agrupar partículas pequeñas en otras mayores, y por tanto más sólidas, que denominaremos *flóculos*, para así separarlas más fácilmente.



*Aspecto de un flóculo (muestra obtenida por contraste de fases)*

Los tamaños de partícula que podemos encontrar son los siguientes:

- Partículas que están en forma de suspensión, de tamaño  $>10^{-7}$  m,
- Las que forman solución coloidal, de tamaño entre  $10^{-7}$  y  $10^{-9}$  m.
- Aquellas que forman una verdadera solución, de tamaño  $<10^{-9}$  m

De esta manera, la coagulación consigue que el sistema sea inestable con el resultado final de la agregación de partículas.

Este proceso se centra en aquellas partículas cuyos tamaños oscilen entre  $10^{-4}$  y  $10^{-9}$  m (partículas en suspensión y soluciones coloidales), no separables por decantación (gravedad) o por filtración.



### FACTORES QUE INFLUYEN EN EL PROCESO

- 1) Tipo y cantidad de coagulante → Aunque hay una cierta relación entre la turbidez del agua bruta y la dosis de coagulante, la cantidad exacta se debe determinar mediante ensayos (Jar-Test) para evitar sobredosificaciones que rompan la adsorción superficial.
- 2) pH del agua → Para cada coagulante, existe una zona de *pH* donde se produce una buena floculación en plazo corto y con una dosis dada de coagulante, debiéndose efectuar, siempre que sea posible, en esa zona para optimizar productos y rendimientos.
- 3) Tiempo de mezcla y floculación (periodo de coagulación) → Es el tiempo transcurrido entre la adición de coagulante y el final de la agitación a una velocidad que impida la decantación de las materias floculadas.
- 4) Temperatura del agua → La temperatura influye en el tiempo requerido para una buena formación de coágulos, (más fría, más tiempo)
- 5) Agitación y presencia de núcleos (sólidos en suspensión)

**Mecanismos de funcionamiento** → La reacción de los compuestos coagulantes con el agua implica:

- 1) Desestabilización de las partículas coloidales por compresión de la capa doble, debido al aumento de concentración de especies iónicas
- 2) Desestabilización coloidal por reducción del potencial Zeta, debida a la adsorción en la superficie coloidal de las especies iónicas polinucleares positivas (hidroxocomplejos).
- 3) Coagulación o aglomeración por arrastre de partículas

En la práctica, los procesos de coagulación combinan los tres mecanismos descritos y, según las condiciones externas (pH, temperatura, tipo de coagulante, etc.) predominará un mecanismo sobre los otros

Por ejemplo, a bajo *pH* y bajas dosificaciones de coagulante, predomina el mecanismo de adsorción (caso 2) y de desestabilización (caso 1), mientras que a *pH* altos y altas dosificaciones de coagulante predomina el mecanismo de arrastre (caso 3).

### COAGULANTES

La coagulación se produce añadiendo a la dispersión iones de signo contrario al del coloide (coagulantes)

**Características** → Las más importantes son:

- 1) Cargas opuestas al coloide, con el fin de neutralizar las fuerzas electrostáticas (punto isoeléctrico o potencial Zeta nulo).

A veces, el reactivo coagulante no consigue reducir el potencial Zeta hasta valores próximos a cero, siendo necesarios otros compuestos de apoyo denominados *coadyuvantes*

- 2) Han de tener la mayor valencia posible, para que la rotura de la estabilidad coloidal sea lo más rápida posible
- 3) Han de ser muy pesados, para que los flóculos formados puedan separarse lo más rápidamente posible por precipitación

Cuando se añaden los coagulantes se produce una hidrolización, con la formación de hidróxidos coloidales insolubles que adsorben las partículas coloidales, propiciando la precipitación.

**Productos coagulantes** → Podemos distinguir dos grandes grupos:

1) Coagulantes inorgánicos

- Sulfato de alúmina (sólido, SAS o líquido, SAL)
- Polímeros de aluminio (sales de aluminio que se condensan dando lugar a polímeros que son capaces de coagular)

2) Coagulantes orgánicos (polielectrolitos) que, a su vez, pueden ser:

- *De origen natural* → Derivados del almidón, celulosa...  
En ocasiones son considerados auxiliares de la coagulación o coadyuvantes.
- *Sintéticos* → Macromoléculas de cadena larga (óxido de polietileno, poliacrilamida...)

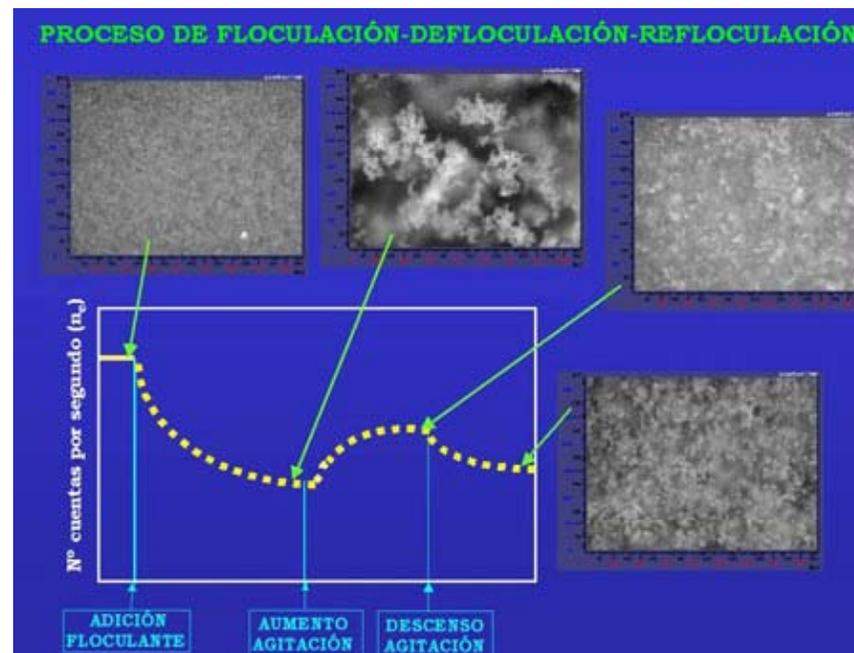
**Productos coadyuvantes** → También distinguiremos entre:

1) Coadyuvantes inorgánicos → Cal, arcilla, sulfato de magnesio...

2) Coadyuvantes orgánicos → Alginatos (extracto de algas), almidones (extracto de granos vegetales)...

El coagulante ideal será, por tanto, el que en primer lugar facilite una carga para la desestabilización de los coloides y después forme el coágulo o flóculo primario sobre el cual pudieran adsorberse fácilmente las partículas.

- Aguas muy claras → Se precisa un floculo voluminoso y de rápida velocidad de formación (prevalece el mecanismo de adsorción).
- Aguas residuales → Se precisa de una elevada densidad de carga para la desestabilización.





## DOSIFICACIÓN

La dosificación de coagulante es muy variable en los diferentes ámbitos, siendo necesario establecer un valor óptimo mediante pruebas de laboratorio y ajustes de fábrica.

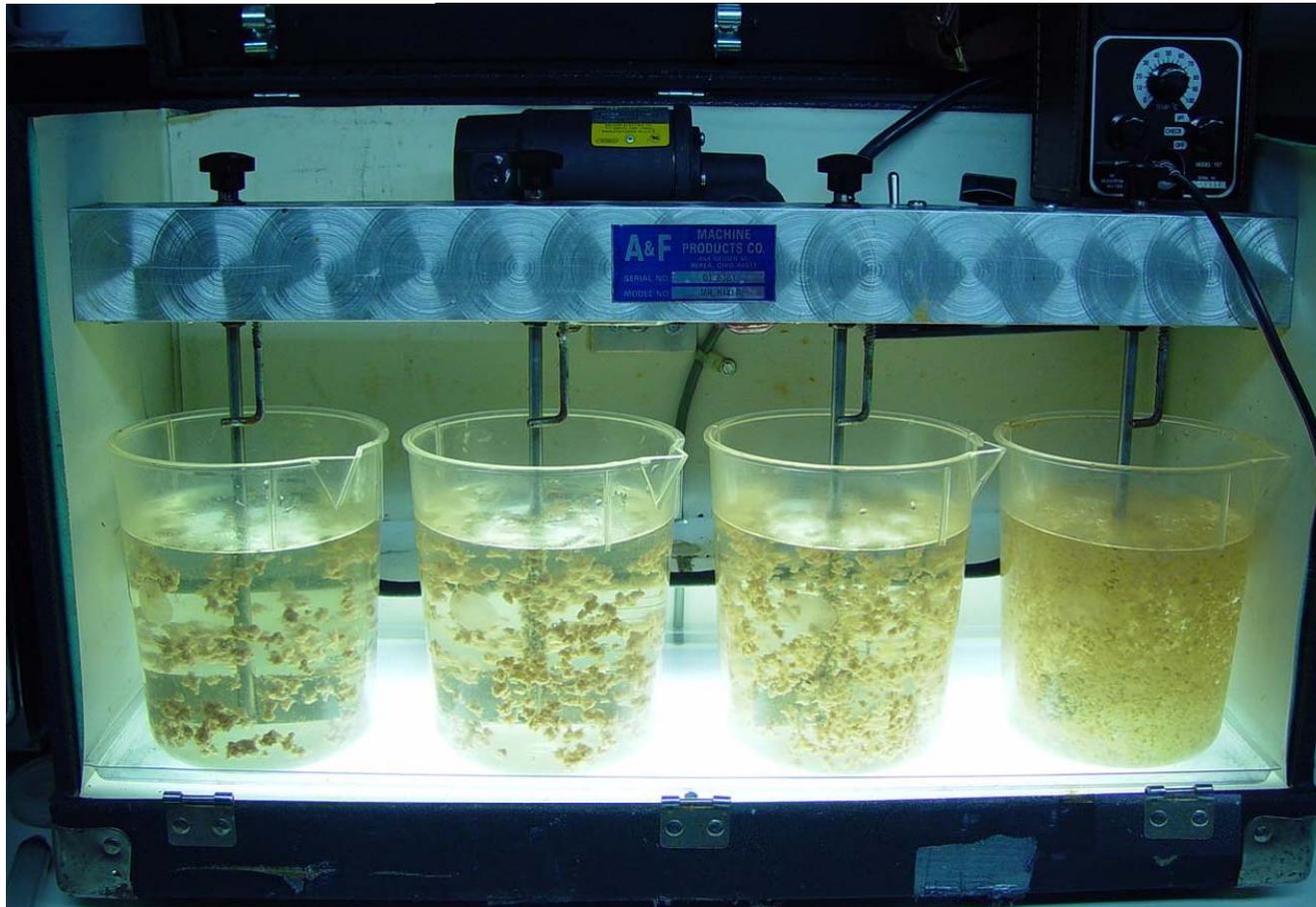
Dentro de las pruebas de laboratorio, destaca el ensayo *Jar-Test*.

La importancia del ensayo deriva de su facilidad de realización, interpretación y versatilidad al estudiar diferentes parámetros que influyen en el proceso de coagulación – floculación, determinando:

- Selección de coagulantes y/o floculantes
- Dosificación óptima
- Determinación de los puntos de dosificación
- Fijación de un *pH* óptimo de coagulación
- Ajuste de velocidades y tiempos de agitación
- Incidencia de otros reactivos

# EJEMPLO

*Ensayo Jar - Test*



La metodología a seguir es la siguiente:

- 1) Colocación de las muestras en los vasos
- 2) Agitación rápida de la muestra mientras se adicionan las diferentes dosis de reactivo
- 3) Agitación lenta durante 15 minutos
- 4) Se levantan las palas y se deja decantar 15 – 20 minutos
- 5) Se toma medida de la turbidez de agua superficial aproximadamente 1 cm por debajo de la lámina de agua en cada uno de los vasos de precipitación.

Posteriormente se pueden modificar diferentes parámetros (por ejemplo, el *pH* del agua) para así comprobar su influencia en el proceso.

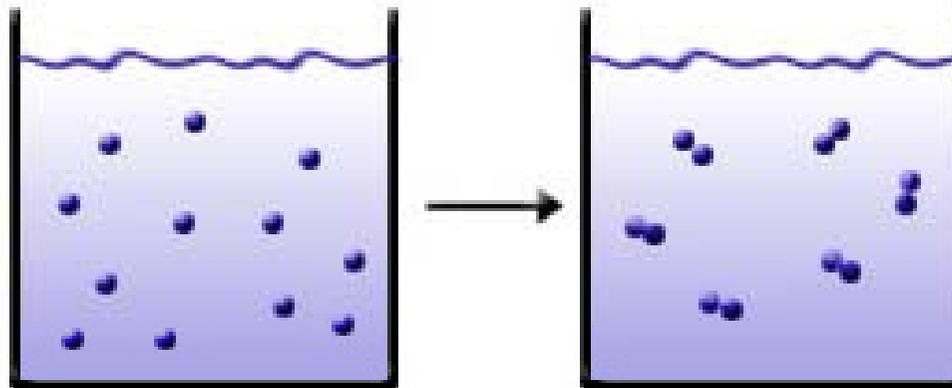
Finalmente, una vez determinado el *pH* y el coagulante a emplear, se hacen diferentes ensayos modificando la dosis a emplear, de tal manera que podamos definir mediante un criterio económico, la dosificación necesaria para aplicar a nuestra planta de tratamiento

## FLOCULACIÓN

La floculación es la aglomeración de partículas desestabilizadas en microflóculos y después en los flóculos más grandes que tienden a depositarse en el fondo de los recipientes contruidos para este fin, denominados decantadores.

El proceso de floculación es precedido por el de coagulación, por eso suele hablarse de procesos de coagulación - floculación.

La coagulación es la desestabilización de las partículas coloidales causadas por la adición de un reactivo químico (coagulante) que, neutralizando las cargas electrostáticas, hace que las partículas tiendan a unirse entre sí.



En el proceso de floculación es importante conseguir la formación del flóculo de mayor peso y cohesión posible, ya que estas características facilitan su eliminación.

En general, algunos de los siguientes medios favorecen el engrosamiento y, consecuentemente, la sedimentabilidad del flóculo:

- 1) Una coagulación previa tan perfecta como sea posible
- 2) Un aumento de la cantidad de flóculos en el agua.

Así, conviene poner el agua en contacto con los precipitados ya formados por el tratamiento anterior (recirculación de fangos, lecho de fangos, etc.), tratando de conseguir la mayor concentración posible.

- 3) Una agitación lenta y homogénea del conjunto, con el fin de aumentar las posibilidades de que las partículas coloidales descargadas eléctricamente se encuentren con un flóculo.
- 4) El empleo de ciertos productos llamados floculantes.

## FLOCULANTES

Los floculantes (o coadyuvantes de coagulación) son productos que favorecen el proceso de formación del flóculo, actuando de puente o unión para captar mecánicamente las partículas en suspensión.

La diferencia básica entre coagulante y floculante reside en que el coagulante anula las fuerzas repulsivas entre las partículas coloidales, iniciando la formación de microflóculos, en cambio el floculante engloba estos microflóculos aumentando su tamaño y densidad de modo que sedimenten más fácil y rápidamente.

El empleo de los floculantes permite tratar mayores caudales de agua en una ETAP o EDAR, además de mejorar la floculación cuando ésta es difícil por cambios de calidad, bajas temperaturas, etc.



Los floculantes más empleados son los siguientes:

- 1) Agentes adsorbentes → Su misión consiste en dar mayor peso a los flóculos ligeros, caso de la adición de arcillas bentoníticas que, al añadirse a los flóculos formados, mejoran su densidad (función ponderante). Para ello también se emplea el carbonato cálcico pulverizado (caliza)

Otra función de estos agentes consiste en adsorber partículas coloidales, generando un preflóculo, que rápidamente aumenta de volumen, caso del carbón activo o de la tierra de diatomeas (función adsorbente).

- 2) Sílice activa → Se obtiene a partir del silicato sódico ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) en disolución, a la cual se le neutraliza con ácido una parte importante de la alcalinidad, en cuyo momento se dice que se ha activado

Presenta alta efectividad como auxiliar del tratamiento con sulfato de alúmina (alumbre)

Hasta el descubrimiento de los polielectrolitos, la sílice activada era un floculante muy utilizado, pero hoy se utiliza con poca frecuencia.

Las ventajas en el uso de la sílice activa son las siguientes:

- Aumento de la velocidad de coagulación
- Empleo de dosis más reducidas de coagulante
- Márgenes amplios de  $pH$  para una coagulación óptima
- Formación de flóculos densos (incluso con bajas temperaturas)
- En aguas turbias mejor floculación y eliminación del color

En cuanto a las desventajas señalaremos:

- La preparación de la sílice activada requiere un minucioso control para evitar que gelifique
- La sobredosis puede inhibir la floculación
- Puede ser ineficaz para ciertos tipos de aguas
- Gran volumen de fangos generados

3) Polielectrolitos → En la actualidad son los compuestos más utilizados en la floculación.

### POLIELECTROLITOS

Son polímeros de alto peso molecular, naturales o sintéticos. Contienen unidades de bajo peso molecular combinadas químicamente para formar una molécula de tamaño coloidal en las que cada una de ellas tiene una o más cargas o grupos ionizables.

Los polielectrolitos pueden actuar solos (coagulantes) o como coadyuvantes de la floculación, aumentando considerablemente el tamaño de los flóculos, pero de forma similar a lo que ocurre con la sílice, existe una dosis óptima, que si es superada, produce una floculación deficiente

Pueden ser:

- 1) Naturales → Almidones y sus derivados, polisacáridos de compuestos celulósicos, ciertos compuestos proteínicos, alginatos...

Dan precipitados voluminosos que sedimentan rápidamente. Su empleo es, en ciertos casos, ventajoso pues pese a ser necesarios en dosis más elevadas, generalmente tienen un costo inferior al uso de los polielectrolitos sintéticos.

2) Sintéticos → Pequeñas moléculas portadoras de carga eléctrica, polimerizadas formando largas cadenas, con la ventaja de su facilidad de fabricación en planta (adaptación a requerimientos).

Los polielectrolitos sintéticos se pueden clasificar en:

- a) No iónicos (poliacrilamidas) → De tipo no iónico en solución acuosa a *pH* neutro.
- b) Aniónicos → Polímeros de acrilamida-acrilato.

La dosis óptima aumenta linealmente con la dosificación de sulfato de alúmina, pero no se modifica el margen de *pH* óptimo para la coagulación y por esto su acción es independiente de la acidez o alcalinidad.

- c) Catiónicos → Amplio conjunto a base de poliacrilamidas catiónicas y poliaminas.

Cuando se utilizan con coagulantes metálicos reducen la dosificación de coagulante, atenúan la interferencia sobre la coagulación de ciertas sustancias y tienen la capacidad de flocular organismos vivos, tales como algas y bacterias.

# EJEMPLO

*Medición de la actividad floculante de la poliacrilamida PAM Cytec Superfloc-A836*

Evaluaremos la actividad floculante de dicha poliacrilamida en una suspensión de caolín.



Para ello, se preparan soluciones de la poliacrilamida de concentración variable desde 1 ppm hasta 10 ppm, colocando una gota de cada solución encima de una gota de la suspensión de caolín. Se agita suavemente y se observa la floculación producida, comparando el efecto de las diferentes concentraciones.

El límite de ppm en el cual empieza la floculación completa, se señala como Valor del Inicio de Actividad (VIA). En este caso el valor obtenido es de 6 ppm.

## FACTORES QUE AFECTAN A LA FLOCULACIÓN

La floculación está condicionada por una serie de factores que determinan su eficacia en el proceso de separación de la fase sólido/líquido.

Dichos factores son:

- 1) Dosis óptima de polímero → Para una cierta concentración de sólidos, todo polímero añadido es adsorbido sobre los mismos.

El punto a partir del cual el polímero no es totalmente adsorbido corresponde a la dosis óptima, que será la cantidad máxima de polímero que puede ser adsorbido sobre el sólido para producir un sistema floculado, a condición de que ningún enlace de superficie sea roto después de la formación de los flóculos

A medida que se desarrolla la floculación, la formación de flóculos disminuye la superficie disponible, y el número de colisiones entre las partículas se hace inferior, de modo que una cierta cantidad de finos se escapa al fenómeno de floculación para dar lugar a una ligera niebla en suspensión en el líquido sobrenadante.

- 2) Agitación → Una adecuada agitación es necesaria tanto en el momento de dosificación del polímero como en el proceso de formación y engorde del flóculo.

La dispersión del polímero en el seno del agua exige una rápida agitación para favorecer una floculación homogénea en todos los puntos y crear un tamaño de flóculo igualmente homogéneo. La agitación rápida favorece además, un mayor número de colisiones entre las partículas y las cadenas de polímeros asegurando la floculación total de los coágulos.

Una vez iniciada la floculación, conviene reducir la velocidad de agitación para evitar efectos de cizalladura que produzcan la rotura mecánica de los flóculos.

De cualquier modo, es necesario siempre un óptimo estado de agitación para lograr que las partículas se acerquen lo suficiente para formar puentes de enlace y formar los agregados.

- 3) Peso molecular del polímero → El peso molecular es una de las propiedades que caracterizan a un polímero y determinan la eficacia de la floculación.

Cuando se utiliza un polímero de bajo peso molecular existe una tendencia por parte de cada molécula a ser adsorbida por una única partícula. Con un polímero del mismo tipo pero de mayor peso molecular se produce un aumento en la relación óptima polímero/sólidos es decir, mayor número de moléculas pueden ser adsorbidas y utilizadas por las partículas.

Con un aumento del peso molecular se optimiza la dosis de polímero y se incrementa la velocidad de decantación.

- 3) Concentración de sólidos → La estabilidad de los flóculos crece con la densidad de los sólidos, debido al aumento de la probabilidad de unión de los fragmentos de los flóculos rotos.

No obstante, para suspensiones muy concentradas, la velocidad de sedimentación es muy pequeña por la corriente ascendente del fluido desalojado, generándose un equilibrio entre ambos fenómenos

- 4) Superficie de los sólidos → La dosis óptima de floculante es proporcional a la superficie específica del sólido; es decir, al aumentar de tamaño o superficie de la partícula se reduce la dosis de floculante.

- 5) Efecto de la temperatura → Existe la creencia general de que un aumento de temperatura mejora la floculación. Esto no siempre es así, ya que si bien la velocidad de difusión del floculante y de colisión de partículas es mayor, la adsorción es menor por ser exotérmica.
- 6) Efecto del pH → El pH puede afectar a la cantidad y tipo de cargas presentes en la superficie de los sólidos así como la cantidad de carga libre que configura el polímero en disolución.

A su vez, la variación en la ionización en el polímero determina el grado de creación de puntos de enlace entre partículas y moléculas lo cual puede anular la eficacia de un polímero en un rango de pH.

La efectividad de los polímeros varía en función del rango del pH:

- a) Los polímeros aniónicos, normalmente, son más efectivos a pH entre 7 y 14.
- b) Los no iónicos son capaces de adsorber las partículas positivas y negativas, siendo, en general, muy eficaces a pH 6, si bien algunos también operan entre 6 y 10.
- c) Finalmente los catiónicos suele actuar entre pH 4 y 8



## Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

### Tema 6. Coagulación y floculación



## BIBLIOGRAFÍA

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. *Depuración y desinfección de aguas residuales*. 5ª ed. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2001. 1151 p. Colección Señor nº 9. ISBN: 84-380-0190-4

HERNÁNDEZ MUÑOZ, A. et al. *Manual de depuración Uralita*. 2ª ed. Madrid: Paraninfo, 2000. 430 p. ISBN: 84-283-2162-0

RIGOLA LAPEÑA, M. *Tratamiento de aguas industriales: aguas de proceso y residuales*. Barcelona: Marcombo, 1989. 160 p. ISBN: 84-267-0740-8

## REFERENCIAS DE IMÁGENES

### DIPOSITIVA PORTADA

“Process of flocculation 2” [Imagen tomada de] *Pictures and schemas of various waste water treatment plants* [en línea]. Disponible en: <<http://www.fsid.cvut.cz/cz/u218/peoples/hoffman/PREDMETY/COVP/COV/Foto-COV/Flokulace-pocatek2.jpg>>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 3

[Imagen tomada de] “Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz”. *Ecured* [en línea]. Disponible en: <[http://www.ecured.cu/images/c/c7/Hermann\\_von\\_Helmholtz.jpg](http://www.ecured.cu/images/c/c7/Hermann_von_Helmholtz.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 3

[Imagen tomada de] “El Potencial Zeta. Un Parámetro Clave de Vitalidad”. *Trivium* [en línea]. Disponible en: <[http://www.homeopatia.ws/software%20homeopatia%20images/El\\_Pot8.jpg](http://www.homeopatia.ws/software%20homeopatia%20images/El_Pot8.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 5

“Schematic showing the distribution of ions around a charged particle” [Imagen tomada de] “Automated protein characterization with the MPT-2 autotitrator”. *Pharmaceuticalonline* [en línea]. 27 de julio de 2005. Disponible en: <<http://images.vertmarkets.com/crlive/files/images/143f9d5a-7b4c-4170-9170-c732205f3139/MI1.jpg>>. [Consulta: 2 de julio de 2011]



# Capítulo 3. POTABILIZACIÓN DE AGUAS

## Tema 6. Coagulación y floculación



### DIAPPOSITIVA página 6

“Schematic representation of zeta potential” [Imagen tomada de] “Zeta potential measurement using laser Doppler electrophoresis (LDE)”. *Malvern* [en línea]. Disponible en: <[http://www.malvern.com/labeng/technology/images/zeta\\_potential\\_schematic.png](http://www.malvern.com/labeng/technology/images/zeta_potential_schematic.png)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIAPPOSITIVA página 8

“Distribución de tamaños de las partículas en el agua (Arboleda, 1982)” [Imagen tomada de] *Potencial Zeta como una herramienta para determinar la aglomeración de las partículas en la reducción del volumen del lodo a disponer* [en línea]. Disponible en: <<http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/tratagua/mexicona/R-0150.pdf>>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIAPPOSITIVA página 9

“Aspecto de la unidad básica de depuración, el flóculo. Muestra In vivo. 200x. Contraste de fases” [Imagen tomada de] “La depuración de las aguas residuales”. *Interempresas* [en línea]. Disponible en: <<http://img.interempresas.net/fotos/313090.jpeg>>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIAPPOSITIVA página 10

“Floculación” [Imagen tomada de] “Glosario de purificación del agua”. *Plantas purificadoras de aguas* [en línea]. Disponible en: <[http://www.plantaspurificadorasdeagua.net/imagenes3/g\\_floculacion.jpg](http://www.plantaspurificadorasdeagua.net/imagenes3/g_floculacion.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 15

“Proceso de floculación-defloculación-refloculación” [Imagen tomada de] “Metodología para el control de la floculación”. *Complutecno: Tecnologías de la Producción* [en línea]. Disponible en: <[http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/imagenes/tec\\_cnegro1\\_1.jpg](http://www.ucm.es/info/otri/complutecno/imagenes/tec_cnegro1_1.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 17

[Imagen tomada de] “Jar Test”. *Fotolog* [en línea]. 17 de octubre de 2007. Disponible en: <[http://sp2.fotolog.com/photo/2/36/55/g\\_a\\_t\\_e\\_a\\_n\\_d\\_o/1192650099\\_f.jpg](http://sp2.fotolog.com/photo/2/36/55/g_a_t_e_a_n_d_o/1192650099_f.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 19

“Flocculation” [Imagen tomada de] “Coagulation and Flocculation”. *Lesson 1: Wastewater Treatment* [en línea]. Disponible en: <<http://water.me.vccs.edu/courses/env108/changes/flocculation.jpg>>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 21

“Formación de flóculos con Bentonit” [Imagen tomada de] “El Proceso BEKOSPLIT”. *BEKO* [en línea]. Disponible en: <[http://www.beko.de/fileadmin/pictures/bentonit\\_flocken.jpg](http://www.beko.de/fileadmin/pictures/bentonit_flocken.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]

### DIPOSITIVA página 26

[Imagen tomada de] “Método para la medición de la actividad floculante de la poliacrilamida (PAM) en un suelo”. *Dr. Calderón labs* [en línea]. Disponible en: <[http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis\\_Control\\_Calidad/PamTest2.jpg](http://www.drcalderonlabs.com/Metodos/Analisis_Control_Calidad/PamTest2.jpg)>. [Consulta: 2 de julio de 2011]