

TRATAMIENTO DE EFLUENTES EN LA INDUSTRIA DE LOS RECUBRIMIENTOS – Parte 3

CONCEPTOS GENERALES

El comportamiento de las partículas coloidales es de fundamental importancia en procesos naturales e industriales. Los aerosoles y las gotas de lluvia en la atmósfera, los contaminantes transportados por la atmósfera, emulsificaciones, y muchas formas de separaciones sólido líquido son algunos de los fenómenos y operaciones en las cuales las partículas o sustancias en fase dispersa juegan un rol principal. Graham (1861) encontró que las sustancias se podían diferenciar según las velocidades a las que las disoluciones pasan a través de una membrana de pergamino. A las que difunden muy lentamente (gelatina, cola, albúmina, etc.) les dio el nombre de coloides (del griego, *semejante a cola*). A las que difunden rápida y fácilmente (azúcares, sales, etc.) que se presentan en forma cristalina, las denominó cristaloides. Esto fue modificado años más tarde y se demostró que la distinción no es rígida. Muchas sustancias cristalinas, como el azufre y sus sales insolubles y grafito, se pueden obtener en soluciones coloidales. Ya no se habla de coloides sino de un **estado coloidal**. Una de tantas definiciones de estado coloidal dice que se toma, generalmente, como límite superior del tamaño de la partícula en estado coloidal, el mínimo de visibilidad microscópica: 0.2μ (2×10^{-4} mm o 2000 \AA) a un límite inferior de $5 \text{ m}\mu$ (5×10^{-6} mm o 50 \AA).

Su composición incluye partículas de diversos tamaños que pueden tener propiedades intermedias entre la disolución y la suspensión, que suelen sedimentar en estado de reposo.

Otra de tantas definiciones que se usa normalmente y la que está más acorde con nuestro tema, es que un coloide es una sustancia que se encuentra en un estado de división suficiente para formar una suspensión relativamente permanente. Son partículas sólidas rodeadas por un líquido teniendo, cada partícula, una superficie que constituye una barrera entre el sólido y el líquido. La existencia de esta barrera de superficie entre las partículas coloidales y el medio circundante, así como sus efectos presentes como consecuencia, son factores esenciales que marcan el comportamiento de los coloides.

CARGA Y POTENCIAL

Las partículas coloidales se encuentran cargadas eléctricamente, y éste es uno de los factores principales que contribuyen a su permanencia en estado de fina división. Por lo tanto, **la carga transportada por una partícula coloidal es de fundamental importancia**.

Las partículas suspendidas en el agua están cargadas eléctricamente (generalmente con carga negativa) y aquí nos detendremos a explicar diferentes conceptos sobre este tema. La presencia de doble capa eléctrica del mismo signo rodeando las partículas provoca una repulsión mutua impidiendo que se unan entre sí. Se observará que un aumento en el tamaño de la partícula conducirá a una disminución de la energía libre del sistema, sería de esperar que ocurriera la unión, pero no es así por la influencia de sus cargas eléctricas. Cuanto más pequeñas son las partículas más estable será la suspensión.

El principal factor estabilizante para los sistemas coloidales es la fuerza electrostática. El concepto de la existencia de capas de diferentes cargas en la superficie límite sólido/líquido o doble capa eléctrica se amplió a que se forma doble capa eléctrica en la separación de las dos fases: la doble capa difusa.

Según Stern la doble capa tiene dos partes:

- a) Una que es, aproximadamente, del espesor de un ion y permanece casi fija a la superficie sólida. En esta capa, por lo tanto, existe una caída de potencial definida.

b) La segunda se extiende, en alguna medida, en el interior de la fase líquida y es difusa. En esta región, la agitación térmica permite el movimiento libre de las partículas, pero, la distribución de los iones positivos y negativos no es uniforme, ya que el campo electrostático en la superficie provocará una atracción preferente de los de signo opuesto. El resultado es una caída gradual de potencial en la masa de líquido donde la distribución de la carga es uniforme.

La condición en la superficie límite sólido líquido se puede representar esquemáticamente en la figura donde la porción rayada representa al sólido y la línea de trazos verticales, la magnitud de la parte fija de la doble capa. El espesor está algo exagerado en el esquema. Si el potencial del sólido se indica por A y la de la masa líquida por B, la caída de potencial entre ellos puede verificarse de dos formas: I y II, que dependen de las características de los iones o moléculas presentes en disolución que forman la porción exterior de la capa. En cada caso, el segmento AC es la caída de potencial del segmento de la parte fija y CB es la variación gradual de la parte difusa de la doble capa. El potencial implicado es el que hay entre C y B, es decir, entre las porciones fijas y las libremente móviles, o sea, donde tenemos la letra griega τ en cada esquema.

Esto se definió, en primer lugar, como **potencial electrocinético** y luego, derivó en la **Teoría de Potencial Zeta**.

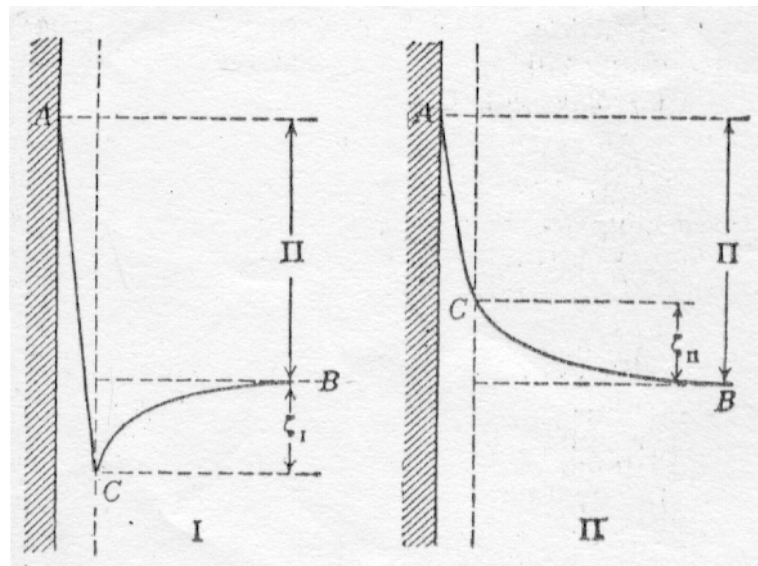


Figura: Potencial electrocinético

Cuando partículas coloidales en suspensión se aproximan unas a otras, varios tipos de interacciones existentes afectan a la estabilidad de la suspensión. El principal tipo de interacción son las fuerzas de atracción de Van der Waals, la repulsión eléctrica, la fuerza de solvatación y la interacción estérica. Aunque los efectos de estas dos últimas no está completamente entendido. El efecto combinado de la atracción de Van der Waals y la repulsión eléctrica forman la base de la llamada teoría DLVO (Derjaguin, Landau, Verwey, Overbeek)

Matemáticamente, se puede considerar un condensador eléctrico de placas paralelas separadas d cm llevando cada una de ellas, una carga e / cm^2 , la diferencia de potencial entre las placas se puede tomar como Potencial Zeta:

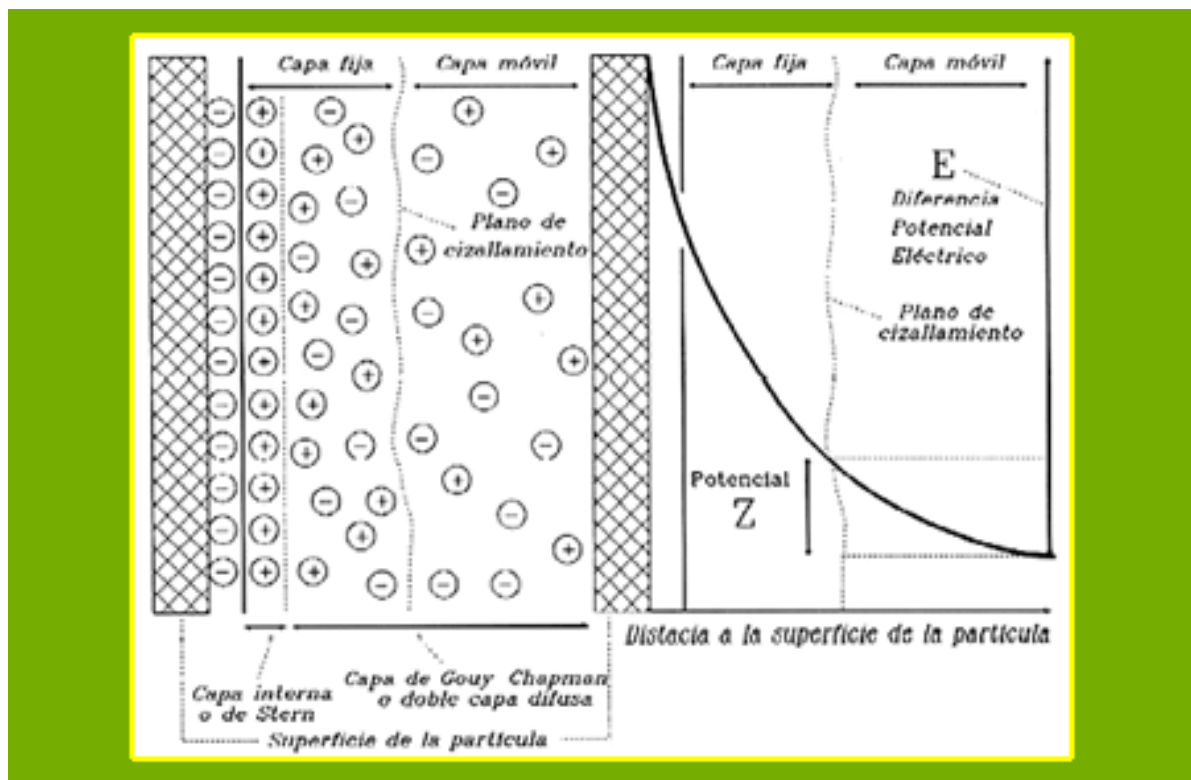
$$\text{Potencial Z } (\tau) = 4 \pi e d / D \text{ [mV]}$$

Donde D es la constante dieléctrica del medio que se encuentra entre las placas hipotéticas.

Otra forma de expresarlo sería: muchos sólidos desarrollan una carga superficial eléctrica cuando se le exponen al estado líquido del agua. Esta carga es inducida por ionización directa de las moléculas en la superficie del sólido, por adsorción de iones de la solución que rodean la partícula sólida o por fallas en la cristalografía de ella.

El estrato doble tiene dos partes:

- a) Estratos fijos de iones determinantes del potencial.
- b) Estado difuso de iones con carga opuesta en solución. Este tiene dos regiones, parte de ellos cerca de la superficie unidas por fuerzas electrostáticas y físicas y el resto, móvil tiende a permanecer cerca de la superficie.



Potencial Zeta

Otra forma de ver al potencial Z es como sigue: si una superficie tiene una carga negativa, iones positivos serán atraídos hacia ella, formando una capa de iones positivos. Desde esta capa, una capa difusa de contraiones se extiende hacia el exterior. Cuando una partícula se mueve en el líquido, tiene lugar un esfuerzo de corte en el plano de la capa de contraiones, está capa se mueve con la partícula. El potencial existente entre el plano de corte y la capa difusa es el potencial Z, como se muestra en la Figura anterior.

La magnitud del potencial Z puede estimarse de mediciones de la movilidad de la partícula en un campo eléctrico, que puede variar entre 0 y 60 mV. Para coloides de fuentes de aguas naturales con pH de 5 a 8, el potencial Z se encuentra entre -14 y -30 mV, cuanto más negativo sea el número, tanto mayor será la carga de la partícula.

La estabilidad de los sistemas coloidales decrece, así como el potencial Z de las partículas se acerca a cero. Es decir, a medida que nos acercamos al punto isoeléctrico, vamos desestabilizando el sistema.

El rol principal de la doble capa eléctrica es la de dar estabilidad cinética a la suspensión. Cuando dos partículas de cargas similares se aproximan unas a otras, la interacción repulsiva evita que se agrupen de modo que sus dobles capas no se solapen.

Aunque las fuerzas de Van der Waals, fuerzas atractivas entre las partículas, son insignificantes cuando están separadas, pueden ser dominantes si se induce al contacto físico.

El movimiento Browniano es el movimiento al azar impartido a las partículas coloidales como resultado del impacto con las moléculas del medio dispersante. La energía cinética de las moléculas aumenta con la temperatura creciente y esto motiva un aumento de la intensidad del movimiento Browniano.

OPERACIONES UNITARIAS EN EL TRATAMIENTO DE AGUA

1. Coagulación y floculación:

Las partículas coloidales son, normalmente, menores a 1μ y llevan un movimiento Browniano. La energía de este movimiento es suficiente para prevenir que las partículas sedimenten por gravedad y, por lo tanto, permanecen suspendidas por un largo período. Veamos los ejemplos de la Tabla:

Tipo de partícula	mm	Tiempo de sedimentación para caer 1 m
Grava	10.0	1 seg.
Arena gruesa	1.0	10 seg.
Arena fina	0.1	125 seg.
Limo	0.01	108 min.
Bacterias	0.001 (1μ)	180 h
Materia coloidal	0.0001	755 días

En la tabla del ANEXO I, se pueden comparar los tamaños de partículas característicos distintos productos

Las suspensiones pueden o no ser estables.

La **coagulación** es el proceso químico en el que las partículas se desestabilizan y comienzan a agruparse. La coagulación es un componente esencial en la operación del tratamiento de efluentes. La evaluación y optimización de la etapa de la coagulación y el paso de mezclado rápido en el proceso de tratamiento de agua, incluye una variedad de aspectos. La dosificación óptima de coagulantes es crítica para la apropiada formación del floc y el desarrollo de la filtración. Mantener un control apropiado de estos químicos puede significar la diferencia entre una planta optimizada y una con un muy pobre desempeño. Un mezclado inadecuado de los químicos o su adición en un punto inapropiado puede también limitar su eficiencia

Las suspensiones pueden ser o no estables y se desestabilizan por la adición de sales inorgánicas, las cuales reducen, neutralizan o invierten la repulsión eléctrica de las partículas. La adición de coagulantes químicos produce colisiones y agregación de las partículas; estos coagulantes modifican los efectos de los factores estabilizantes y potencial Z.

Se cree que la coagulación ha sido practicada, al menos desde hace 2000 años. A través de la edad media, fue usada en tratamientos en pequeña escala para purificación de agua, a través del uso de aluminio o polímeros naturales tales como el almidón.

Resumiendo, la coagulación consiste en la acción (adición o mezcla rápida) de un producto químico, el **coagulante**, provocando la neutralización de las cargas superficiales de los sólidos suspendidos. ***El poder coagulante de una sustancia es función de la carga de su ion activo.***

Efecto sobre la turbidez

La coagulación en sí misma, no reduce la turbidez. De hecho, la turbidez puede incrementarse durante el proceso de coagulación debido a la adición de compuestos insolubles que son generados por el agregado de químicos. Deben ser usados los procesos de floculación, sedimentación y filtración, para reducir los sólidos suspendidos y la turbidez

Coagulantes y Polímeros

La acción desestabilizante de los coagulantes químicos puede involucrar cualquiera de los siguientes mecanismos.

1. Reducción de la carga electrostática por adsorción de contraiones.
2. Puenteo entre partículas por adsorción de grupos químicos específicos en cadenas poliméricas.
3. Entrelazados físicos de sólidos finos en productos de hidrólisis gelatinosos de los coagulantes.

A finales de los años '50, los polímeros sintéticos solubles en agua se volvieron también disponibles para aumentar la separación de sólidos/líquidos. Desde entonces, el uso de polímeros en tratamientos de efluentes y otras aplicaciones industriales han aumentado debido a que los polímeros tienen varias ventajas sobre las sales metálicas convencionales. No obstante, estas últimas también fueron mejoradas.

El proceso de coagulación incluye el uso de coagulantes primarios y puede incluir la adición de coagulantes y/o auxiliares de filtrado. La diferencia entre estas dos categorías es la siguiente:

- ◆ Coagulantes primarios: son usados para causar que las partículas se desestabilicen y comiencen a formar agregados.
- ◆ Auxiliares de coagulación y mejoradores: agregan densidad a los flocs que sedimentan lentamente y ayudan a mantener la formación del floc. Los polímeros orgánicos son usados, típicamente, en combinación con un coagulante primario para mejorar la coagulación. La ventaja de estos polímeros orgánicos es que tienen alta carga positiva y son mucho más efectivos a dosis mucho menores, incluso aunque suelen ser mas caros, puede ser necesaria una cantidad muy pequeña de modo que se ahorrará dinero. Como beneficio adicional, los polímeros orgánicos producen menos lodos.

Los productos químicos usados como coagulantes primarios incluyen sales de aluminio y hierro, que poseen carga catiónica elevada y polímeros orgánicos. La tabla siguiente, muestra un número de sales metálicas usadas en tratamiento de aguas y efluentes:

Nombre	Formula	Forma
--------	---------	-------

Sílice activada	H_nSiO_m	Líquida
Sulfato de aluminio	$Al_2(SO_4)_3$	Sólido y líquido
Sulfato de amonio y aluminio	$Al_2(SO_4)_3(NH_4)_2 \cdot 24(H_2O)$	Sólido
Bentonita	$H_nSi_nAl_nO_m \cdot H_2O$	Polvo
Cloruro férrico	$FeCl_3 \cdot 6H_2O$	Líquido
Sulfato férrico	$Fe_2(SO_4)_3 \cdot 3H_2O$	Sólido granulado
Sulfato ferroso	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	Sólido granulado
Policloruro de aluminio	$Al_n(OH)_mCl_{3n-m}$	Líquido
Aluminato de sodio	$Na_2Al_2O_4$	Líquido

La sal de aluminio más común es el sulfato de aluminio, que reacciona de varias maneras para lograr la floculación.

Cuando es usado a dosis relativamente bajas (< 5 ppm), se cree que el mecanismo principal es la neutralización de cargas, es decir, la desestabilización, mientras que a dosis mayores, el mecanismo principal consiste en "atrapar"; en este caso, el hidróxido de aluminio, precipita formando "floc barredores" que tienden a capturar los sólidos suspendidos, precipitándolos.

Para explicar este último concepto tenemos que observar que los iones de aluminio (ocurre también con el hierro) son hidrolizados para producir precipitados en ciertas condiciones apropiadas para formar los correspondientes hidróxidos. El hidróxido de aluminio es un precipitado insoluble y gelatinoso que, inicialmente, está en el rango de tamaño de las partículas coloidales. Estas partículas chocan unas con otras produciendo un floc de hidróxido grande que atrapa las partículas coloidales. Este proceso, frecuentemente, es llamado "coagulación barrera" y juega un rol muy importante en muchos procesos de coagulación.

Debido a que los iones metálicos están sujetos al éxito de la reacción de hidrólisis, cada uno tiene un pH óptimo en el cual es efectivo como coagulante. Para el caso del Al^{+3} , el pH de trabajo está entre 5.5 y 7.5, es por esto que el pH del agua o efluente tratado juega un rol importante. Más allá de estos rangos, el desempeño de los iones metálicos es muy pobre ya que los mismos se vuelven solubles y no forman ningún precipitado. A pH óptimo, el sulfato de aluminio reacciona con el agua para dar hidróxido de aluminio precipitado:



El ácido sulfúrico producido por la reacción del hidróxido de los iones aluminio, reaccionan con la alcalinidad y reducen en pH de la suspensión, por lo tanto, es frecuente adicionar producto para mantener el nivel de alcalinidad apropiado (lechada de cal o carbonato de sodio).

Otro compuesto de aluminio de generación posterior, el policloruro de aluminio (PAC) reduce o elimina cualquier ayuda de álcalis debido a que el pH no es afectado incluso, si se sobre dosifica el producto. Mientras que el sulfato de aluminio y el cloruro férrico producen ácido sulfúrico y clorhídrico, respectivamente, como subproductos cuando ellos se hidrolizan, el PAC no produce ningún ácido por incorporar el ion cloruro Cl^- en la estructura del floc formado. Esencialmente, el PAC es un complejo de aluminio polimerizado, ampliamente usado en Europa y en Asia. Ha probado ser un coagulante efectivo en un amplio rango de pH y a temperaturas menores que el sulfato de aluminio.

El cloruro férrico es la sal de hierro mas usada como coagulante. Sus reacciones en el proceso de coagulación son similares a las del sulfato de aluminio, pero su solubilidad relativa y el pH difieren significativamente de las de aluminio, en este caso el pH debe estar entre 4.5 y 7.5,

Los polímeros orgánicos son compuestos de largas cadenas y con cargas características que pueden promover la desestabilización a través de formación de puentes, neutralización de cargas o ambos. Los polímeros son frecuentemente usados en conjunción con otros coagulantes como el sulfato de aluminio o el cloruro férrico para optimizar la remoción de sólidos

Ahora bien, definiremos el proceso de **floculación** para lo cual debemos entender el concepto de floculante.

Los **floculantes** consisten en polímeros, generalmente de muy alto peso molecular, aniónicos, catiónicos o no iónicos, utilizados para incrementar la eficiencia de la sedimentación, clarificación, filtración y centrifugación.

La Floculación es un proceso físico químico por el cual las partículas individuales de una suspensión forman agregados (flóculos – flocs).

Siempre debemos tener presente que en la industria de tratamientos de agua, los términos coagulación y floculación implican mecanismos diferentes.

La floculación es un término usado para describir la acción de materiales poliméricos los cuales forman "puentes" entre las partículas individuales; estos puentes ocurren cuando segmentos de una cadena de polímero se adsorben sobre diferentes partículas y ayudan a la misma a formar agregados. Los floculantes llevan grupos activos con carga que contrarresta la carga de las partículas suspendidas y causan la desestabilización por puentes o por mutua ligación de cargas. En el caso de los polímeros no iónicos, aportan un efecto tipo "parche" entre los flocs formados en la coagulación.

La coagulación y la floculación pueden ocurrir en forma prácticamente simultánea, ya sea por el efecto de un producto químico inorgánico o un floculante polimérico. Sutilmente, podemos decir que la coagulación y la floculación ocurren instantáneamente, siempre en este orden. La coagulación es el proceso que hace que los sólidos sean lo suficientemente grandes para aglomerarse en el proceso de floculación

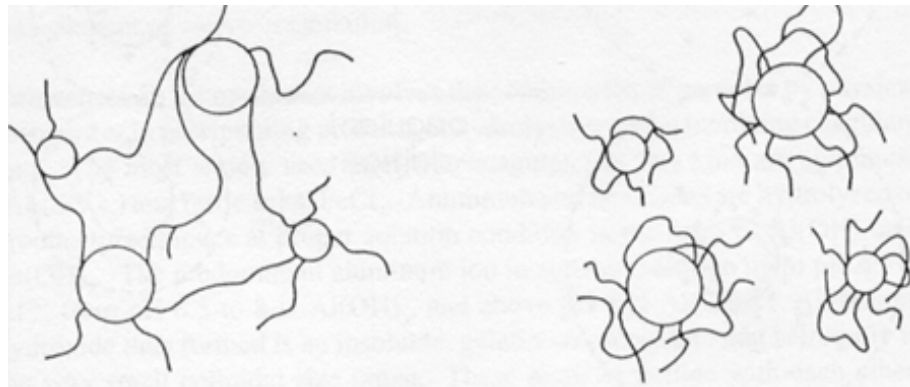
Existen varios mecanismos de la floculación, entre los cuales, los más importantes son los siguientes:

Colisión entre partículas: cuando las partículas en suspensión se acercan lo suficiente, estamos hablando de distancias menores a 0.01μ , las fuerzas de Van der Waals predominan sobre las fuerzas de repulsión. La agitación de las partículas hace que se acerquen unas a otras e incluso choquen permitiendo que ocurra una floculación natural la que, obviamente, se presenta en un grado limitado.

Reducción de la carga eléctrica: la reducción de cargas disminuye la repulsión eléctrica y permite que ocurra la coagulación en mayor medida. Como ya mencionamos, esta reducción de cargas se logra mediante la adición de productos de carga opuesta a la de las partículas en suspensión, por ejemplo, las sales inorgánicas ya vistas. El mayor grado de coagulación existe cuando la estabilidad es mínima y cuando las partículas no presentan cargas con relación al medio, lo cual ocurre cuando el potencial Z es cero.

Floculantes poliméricos formadores de "puentes": son polímeros orgánicos de muy alto peso molecular capaces de formar puentes de modo de acercar a las partículas. Cuando una molécula de polímero extendida choca con una partícula en suspensión, una parte de esta molécula se adsorbe a la superficie de la partícula. Si otra partícula con un sitio de adsorción vacante se contacta con

otro segmento de la molécula de polímero, se forma un complejo partícula-polímero-partícula en el cual el polímero sirve de puente. A concentraciones más altas a aquellas requeridas para una apropiada floculación, las partículas pueden ser reestabilizadas por la adsorción de un exceso de polímero. Bajo estas condiciones, la superficie de las partículas está casi completamente cubierta por polímero adsorbido y hay muy poca oportunidad de atacar a otras partículas. En la Figura siguiente se muestra esquemáticamente el efecto de la floculación por puente y la reestabilización por exceso de floculante.

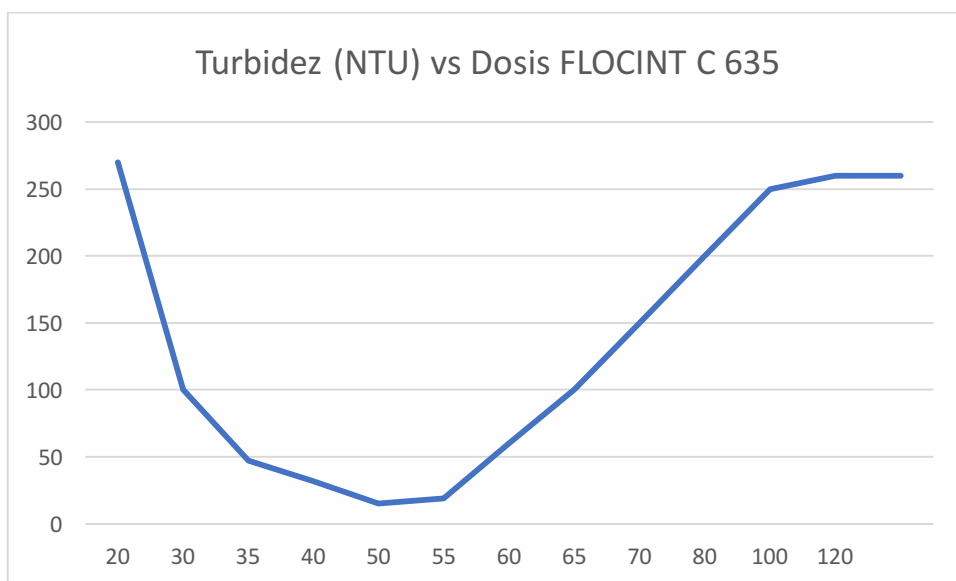


Efecto puente

Re-estabilización

Grandes flocs pueden ser formados por el efecto puente de los polímeros y las partículas pueden ser restablecidas por la adsorción de exceso del polímero.

Por esta razón es frecuente que exista una dosis óptima de floculante alrededor de la cual la performance de este es la mejor. Una pobre floculación puede resultar de una dosis excesiva o una dosis muy baja de floculante. La reestabilización por sobredosis se puede ver en la Figura:



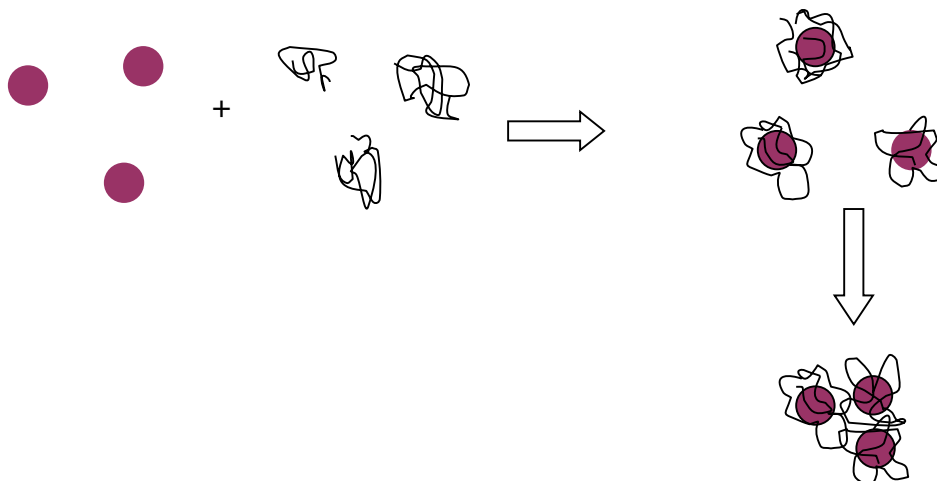
Turbidez residual en función de la dosis de polímero. Notar que la suspensión se reestabiliza con el exceso de polímero.

Con cualquiera de los dos primeros métodos, la floculación debe ser aumentada por la adición de un polímero formador de puentes.

La mayoría de los floculantes formadores de puentes son catiónicos o aniónicos. Sus cargas pueden tener dos propósitos: proveer el medio de adsorción sobre la superficie de las partículas en suspensión por atracción electrostática o causar que la molécula del polímero se extienda y desenrolle debido a la repulsión de cargas distribuidas a lo largo de la cadena de modo que la molécula quede lo más extendida posible y, así, lograr acomodar la mayor cantidad de partículas.

La mayoría de las suspensiones contienen partículas cargadas negativamente por lo que es de esperar que el mejor de los polímeros sea uno catiónico. Esto es cierto desde el punto de vista de la neutralización de cargas y la atracción de la molécula de polímero hacia la superficie de la partícula, pero puede no ser cierto desde el punto de vista de la formación de los puentes. Para que se produzcan los puentes, las moléculas de polímero deben ser fuertemente adsorbidas y esta adsorción puede ser generada por grupos químicos con buenas características para ello (siendo los característicos, los polímeros conteniendo grupos amidas), aniónicos o catiónicos.

Para estudiar los mecanismos de floculación, se pueden considerar dos etapas, la primera de las cuales consiste en la adsorción del polímero en la superficie de las partículas y la segunda en la formación de agregados (flocs). Vimos que la adsorción se presenta cuando el polímero tiene carga opuesta a la carga de la superficie de la partícula, presentándose una interacción electrostática. Por otro lado, acerca del mecanismo de formación de los agregados existen distintas hipótesis, la primera de ellas, que ya hemos comentado anteriormente, es la disminución del potencial Z debido a la adsorción de las moléculas de polímero en la superficie de las partículas suspendidas, permitiendo que las mismas se acerquen. Otra de las hipótesis, que parece ser la que más explica los efectos observados en la práctica, es que las moléculas del polímero se encuentran enrolladas de modo que una misma molécula del polímero podrá ser adsorbida en varios puntos por la misma partícula, quedando rulos de distinto tamaño, que pueden alejarse de la superficie. La colisión de estas partículas cubiertas de moléculas de polímeros puede producir puentes entre ellas. Esto puede verse en la Figura:



Representación de la teoría en la que la molécula de polímero se adsorbe sobre la superficie de las partículas y luego, por colisión forman los agregados.

Factores que afectan a la floculación.

- ◆ Efecto de la dosificación de polímeros: la floculación de un sistema no puede ser aumentada más allá de un cierto valor óptimo para un dado polímero y, en algunos casos, un aumento en la dosificación de este va en detrimento de su eficiencia. Esa dosificación óptima es la máxima cantidad de polímero que el sólido puede utilizar para la floculación bajo las condiciones del experimento y está directamente relacionado con la cantidad adsorbida por las partículas presentes. Esta dosificación no es fácilmente determinada debido a que varía con el peso molecular del polímero, el carácter iónico y el grado.
- ◆ Efecto del peso molecular de los polímeros: la diferencia fundamental entre un floculante orgánico y las sales metálicas discutidas anteriormente son los pesos moleculares. Los floculantes de bajo peso molecular (menor de 100.000) frecuentemente son llamados coagulantes primarios o, simplemente, coagulantes. Son, usualmente poliaminas o polidamacs, con fuertes cargas catiónicas y cuyas características veremos más adelante. Estos polímeros catiónicos de bajo peso molecular desestabilizan las suspensiones coloidales del mismo modo que lo hacen las sales de los metales polivalentes, de modo que las pueden reemplazar con el beneficio adicional de que con los polímeros se obtienen lodos de menor volumen.

Los polímeros de alto peso molecular (mayor a 1.000.000) funcionan como floculantes por el mecanismo de formación de puentes o por electrostática. En general, su eficiencia aumenta con el aumento del peso molecular para una serie homogénea de polímeros.

En la Figura (Caskey y Primus, 1986) se puede ver ejemplificada la relación entre peso molecular del polímero y la velocidad de sedimentación de los flocs producidos por el mismo. Se puede ver que los polímeros lineales son más efectivos que los ramificados cuando el peso molecular se incrementa, tratándose de polímero homólogos.

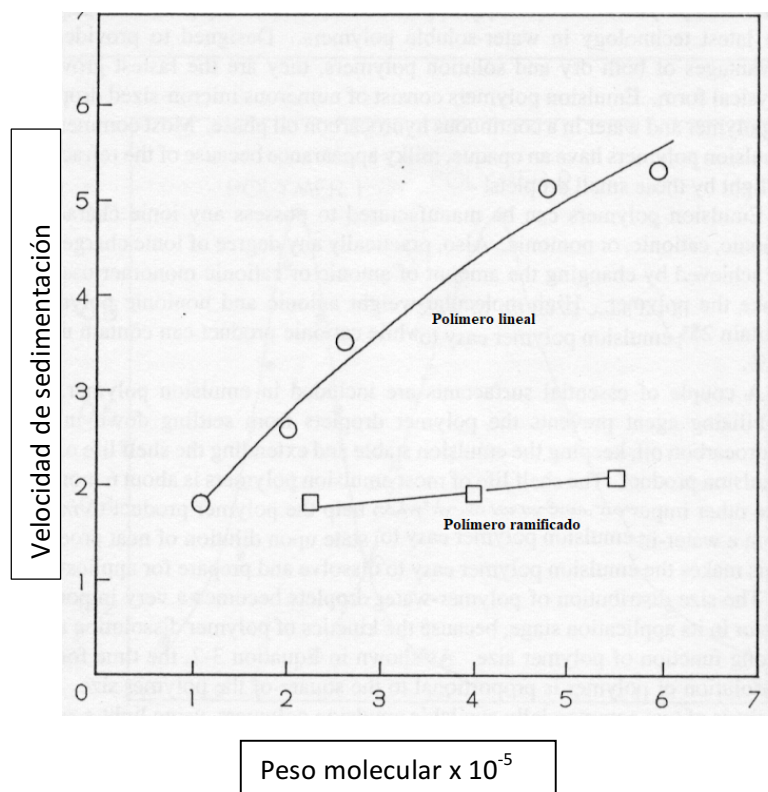


Figura muestra la eficiencia del floculante vs. peso molecular. La ordenada muestra la relación de velocidad de sedimentación de una suspensión tratada con un floculante polimérico

Además, debemos tener en cuenta que, cuando hablamos de peso molecular, estamos hablando de un promedio, y que podemos tener dos polímeros con igual promedio, pero muy distinta distribución: por ejemplo, uno de ellos puede tener una campana de distribución muy grande, es decir con cantidades considerables de alto y bajo peso molecular y, el otro, sumamente angosta con una distribución donde la mayoría de los pesos moleculares son muy cercanos al punto medio. La diferencia real en el rendimiento de uno y otro depende de la naturaleza del efluente tratado y de las propiedades del polímero.

- ◆ Efecto de la temperatura: normalmente, se cree que un incremento en la temperatura ayuda a la floculación, pero esto no siempre es así debido a que un cambio en la temperatura tiene efectos distintos en distintos sistemas. La velocidad de difusión de los floculantes y la cantidad de colisiones aumenta con el incremento de la temperatura, pero, el paso de adsorción es exotérmico por lo que se ve afectado desfavorablemente. Por otro lado, la extensión de las moléculas de polímero puede variar con la temperatura, pero la forma de esta variación depende de la interacción de ellas con el solvente. De este modo, es imposible predecir el efecto de la temperatura en un sistema dado.

En algunas plantas de tratamiento de efluentes se nota el efecto de la temperatura, principalmente en el sector del clarificador, en la variación de la altura del manto de los lodos. Allí compiten diferentes velocidades convectivas por la diferencia de temperatura, formándose corrientes que, en algunos casos, dan un saldo negativo en la fuga de flocs por el aumento de la altura del manto.

- ◆ Efecto de la agitación: Todos los flocs, cuando se han formado por coagulación natural o por floculación por formación de puentes están sujetos a rompimiento si se les aplica agitación excesiva y no vuelven a formarse cuando ésta para.

Si los flocs formados con exceso de polímeros son agitados, se degradan más rápido que aquellos formados con la dosificación óptima; el exceso de polímero es, luego, adsorbido de la solución ya que los flocs se han roto y presentan nuevos sitios activos para la adsorción. Los flocs no pueden formarse nuevamente con eficiencia pues el exceso de polímero adsorbido causa repulsión.

De este modo, vemos que la dosificación óptima para un polímero solo se mantiene para un grado de agitación particular.

2. Rompimiento de las emulsiones:

Todos sabemos que una emulsión es una mezcla íntima de dos fases líquidas, tales como aceite y agua, en la que una de ellas está dispersa en la otra. En el tema del agua, normalmente se encuentran dos tipos de emulsiones: directas (aceite emulsificado en agua) e inversas (agua emulsificada en aceite).

Emulsiones aceite en agua: una emulsión de este tipo puede contener diferentes tipos de aceite dentro de un intervalo grande de concentración. Estos aceites se los defina como sustancias extraíbles en hexano, cloroformo o éter. Además de éstos, otros productos pueden estar presentes en estas emulsiones, entre ellos, sólidos, partículas metálicas, emulsificantes, jabones, solventes y

otros residuos. Los tipos de aceite dependerán de la industria, pero entre ellos se pueden nombrar las grasas, lubricantes, fluidos de corte y también hidrocarburos. Su concentración en el efluente puede variar desde unas pocas ppm hasta un %. Esta emulsión estable es un sistema coloidal y, por lo tanto, intervienen todos los mecanismos de estabilización vistos antes.

Estas emulsiones pueden romperse empleando métodos químicos o físicos. Vimos que, generalmente, se emplean productos químicos que neutralicen los factores estabilizantes, se neutralizan las cargas eléctricas mediante el agregado de productos químicos. Una emulsión ya tratada, idealmente, presentará una capa de aceite y una capa de agua; sin embargo, casi nunca se logra una separación tan neta: normalmente, se encontrará una capa intermedia donde, además, se concentran los sólidos y los emulsificantes que pudiese haber presentes.

El tratamiento de un efluente que contiene aceite nuevamente consiste en dos pasos: coagulación y floculación. Los coagulantes de los que estuvimos hablando, las sales de aluminio y hierro producen, en general, lodos difíciles de secar. Los ácidos cumplen las mismas funciones que las sales incluso en forma más efectiva pero el agua de deshecho es ácida y debe ser neutralizada después de la separación de fases. Entre los desemulsionantes, los polímeros son muy efectivos por producir sustancias más firmes y una calidad mayor del efluente que con los programas inorgánicos, utilizando menor dosificación.

Emulsiones agua en aceite: son sustancias viscosas, concentradas, que se forman cuando el aceite entra en contacto con el agua y los sólidos. Cuando el sistema entra en agitación por alguna razón, el agua junto con los sólidos que pudiesen existir se dispersa en el aceite.

El tratamiento químico de una emulsión de aceite de deshecho tiene el objetivo de desestabilizar las gotas de agua y los sólidos dispersos. La acidificación puede ser efectiva en algunos materiales.

Luego existen métodos físicos que incluyen calentamiento, centrifugación y filtración. La centrifugación rompe las emulsiones de aceite separando la fase aceite de la del agua debido a la fuerza centrífuga. La filtración de las emulsiones de aceite de deshecho puede lograrse por filtros de arena o diatomeas.