



PRINCIPIOS DE LA CLARIFICACION.

El agua cruda contiene sólidos disueltos, sólidos suspendidos y oxígeno. Las partículas suspendidas varían considerablemente en origen, composición, carga, tamaño y densidad.

Los sólidos suspendidos los clasificamos en tres grandes grupos:

- a.- Sólidos sedimentables.
- c.- Sólidos coloidales.
- d.- Color.

a.- Sólidos sedimentables.- Partículas muy grandes que son atraídas fácilmente por la fuerza de gravedad y pueden medirse volumétricamente en los conos de Imhoff.

b.- Sólidos coloidales.- Partículas suspendidas en el agua que no tienden a acumularse en la superficie ni en el fondo debido a un equilibrio llamado estado coloidal. El diámetro de las partículas está en el rango de 0.0001 a 0.00001 milímetros. Las partículas coloidales se hallan cargadas eléctricamente y puede ser negativas o positivas según la sustancia de que se trate, pero siempre del mismo signo para todas las micelas, por consiguiente, estas se repelen y no pueden aglomerarse.

Las partículas coloidales producen la turbidez, la cuál se define como la expresión óptica que hace que la luz se disperse y sea absorbida en lugar de propagarse en línea recta a través de la muestra. Los métodos analíticos de interferencia luminosa reciben el nombre de nefelométricos y las unidades en que se expresa la turbidez son NTU, JTU, FTU y FAU, respetando la siglas de su nombre en inglés.



c.- Color.- Partículas orgánicas como taninos y ligninas suspendidas en el agua con un diámetro de 0.000001 milímetros. El color se puede considerar como una partícula coloidal y su contenido se expresa en unidades APHA (Unidades Pt/Co).

FUERZAS QUE ACTUAN SOBRE LOS SOLIDOS SUSPENDIDOS.

a.- Fuerza de Gravedad.- La gravedad es la fuerza que atrae a los sólidos suspendidos hacia el fondo del recipiente en que está contenida la suspensión. La fuerzas gravitacionales tienden a promover el asentamiento de acuerdo con la Ley de Stokes.

$$U = \frac{2GR^2 (\rho - \rho_0)}{9\mu}$$

Donde:

U = Velocidad de sedimentación.

R = Radio de la partícula.

μ = Viscosidad del medio líquido.

G = Constante gravitacional-

ρ = Densidad de la partícula.

ρ_0 = Densidad del medio líquido.

Para aumentar la velocidad de sedimentación de las partículas suspendidas, el parámetro que se puede variar con más facilidad es el tamaño de la partícula.

b.- Fuerzas de Van der Waals.- Son las fuerzas de atracción de corto alcance entre las partículas en suspensión. Estas fuerzas tienden a atraer las partículas una hacia otra.

c.- Movimientos Brownianos.- Se originan cuando las partículas coloidales chocan con las moléculas del medio en que están suspendidas.



d.- Fuerzas de Repulsión Electroestáticas.- Fuerza que tiende a mantener separadas las partículas con la misma carga superficial. La repulsión electrostática es la fuerza principal que mantiene a los sólidos en suspensión, por lo tanto, es la fuerza que hay que contrarrestar para lograr la sedimentación. **La mayor parte de los sólidos suspendidos en el agua cruda o residual poseen carga negativa.**

El potencial zeta se define como la diferencia de potencial entre la carga eléctrica de la capa densa de iones que rodean a las partículas y la masa del líquido en que están suspendidas. Regularmente se mide en milivoltios y es una medida de la fuerza de repulsión electrostática.

El potencial zeta indica la estabilidad de las suspensiones, como se puede apreciar en la siguiente tabla:

| ESTABILIDAD | POTENCIAL ZETA (mV) |
|------------------------------------|--------------------------|
| Fuerte (Coagulación-Floculación) | +05 a -05 |
| Incipiente inestabilidad | -10 a -30 |
| Moderada estabilidad | -31 a -40 |
| Buena estabilidad | -41 a -60 |
| Excelente estabilidad | -61 en adelante |



POLIMEROS.

La palabra polímero se deriva de los vocablos griegos:

poly = **muchos**
meros = **partes.**

Un polímero es una macromolécula orgánica formada por la unión de cientos o miles de unidades primarias denominadas monómeros. Existen polímeros naturales y polímeros sintetizados por el hombre:

| POLIMEROS NATURALES | POLIMEROS SINTETICOS |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Celulosa | Poliámidas |
| Seda | Acrilámidas |
| Lana | Poliacrilatos |
| Hule | Polietileno |
| Taninos | Poliestireno |
| Lignina | Melamina |

No todos los polímeros sirven para el tratamiento de aguas, los polímeros utilizados para este fin reciben el nombre de **polielectrolitos**. Los polielectrolitos son polímeros orgánicos solubles, que contienen una gran cantidad de grupos funcionales cargados o neutros.



PROPIEDADES DE LOS POLIMEROS.

Los polímeros tienen ciertas propiedades y su comprensión es requisito indispensable para entender su funcionamiento:

a.- Estructura de los polímeros.- Cuando un polímero está formado únicamente por un tipo de monómero se llama homopolímero, cuando contiene dos clases se llama copolímero y cuando contiene tres clases diferentes, terpolímero.

b.- Funcionalidad.- La funcionalidad está determinada por el grupo funcional o las especies iónicas ligadas a la cadena principal del polímero (carboxili, sulfonato, amino, cuaternario, amida, alcohol).

c.- Carga.- Los grupos funcionales imparten una carga al polímero, la que permite a éste funcionar como una especie iónica. El tipo de carga presente sirve de base para su clasificación:

| CLASIFICACION | CARGA |
|---------------|----------|
| No-Iónicos | Ninguna |
| Aniónicos | Negativa |
| Catiónicos | Positiva |

d.- Grado de carga.- Básicamente es el número relativo de sitios cargados a lo largo de la cadena del polímero. Regularmente se expresa en porciento.

e.- Peso Molecular.- El peso molecular es una medida del tamaño del polímero. El tamaño del polímero es importante porque mientras más larga sea la molécula, se enreda mejor en los sólidos en suspensión. En función del peso molecular se clasifican de la siguiente manera:



| CLASIFICACION | PESO MOLECULAR |
|---------------|------------------------------------|
| Bajo | Menos de 100,000 |
| Mediano | De 100,000 a 500,000 |
| Alto | De 500,000 a 6,000,000 |
| Muy alto | De 6,000,000 a 18,000,000 o más |

f.- Estiramiento.- La mayoría de los polímeros solubles en agua tienen configuración lineal y cuando se encuentran en soluciones concentradas se presentan como estructuras enroscadas. Para que los polímeros funcionen a su máxima eficiencia, se debe permitir que se desenrede al máximo. Conforme a la densidad de carga se incrementa su capacidad de estiramiento durante la dilución en virtud de la repulsión mutua interna de las cargas. Debido a su alta viscosidad en solución, se recomienda que se preparen del 0.5 al 1% en peso.

Las diferentes formas de los polímeros requieren de diferentes tiempos para completar su estiramiento:

| ESTADO FISICO | TIEMPO DE ESTIRAMIENTO |
|---------------|------------------------|
| Líquido | 0.5 a 5 minutos |
| Emulsión | 20 minutos |
| Polvo | 30 a 60 minutos |

Para evitar romper la cadena polimérica, se recomienda no agitar a mas de 350 rpm.



CLARIFICACION.

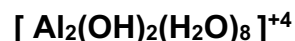
La clarificación del agua cruda, potable e industrial (Figura N°1) se utiliza para eliminar los contaminantes insolubles como son: óxidos metálicos, materia microbiológica, color y turbidez.

El proceso de clarificación consta de tres partes:

- 1.- **Coagulación.-** Se debe de neutralizar la carga superficial de las partículas, a fin de vencer la fuerza de repulsión entre ellas.
- 2.- **Floculación.-** Las partículas deben unirse entre sí para formar otros cuerpos de mayor tamaño que tenderán a asentarse con rapidez.
- 3.- **Sedimentación.-** Es el proceso de asentamiento por la acción de la gravedad de los sólidos suspendidos.

Existen coagulantes catiónicos (carga positiva) inorgánicos de muy bajo peso molecular como: sulfato de aluminio, cloruro férrico, sulfato férrico, sulfato ferroso, aluminato de sodio y policloruro de aluminio. Estos productos reaccionan con la alcalinidad del agua para formar hidróxidos insolubles cargados eléctricamente, regularmente cada coagulante tiene un rango de pH donde funcionan más eficientemente.

Hidrólisis del sulfato de aluminio:



Hidrólisis del cloruro férrico:



Debido a que los coagulantes tienen cargas de signo opuesto a la de los sólidos en suspensión, estos neutralizan la carga superficial de la partícula. Al neutralizar la carga superficial, las partículas podrán chocar una con otra fácilmente y las fuerzas de Van der



Waals facilitan que se aglomeren para formar sólidos ligeramente mas grandes llamados microfloculos.

Entre los coagulantes orgánicos se encuentran los polielectrolitos catiónicos de bajo a mediano peso molecular: poli(cloruro de dialildimetilamonio), poli-epiaminas y melamina-formaldehído. Debido a que el coagulante orgánico tiene muchos sitios cargados disponibles, es capaz de atraer y neutralizar muchas partículas coloidales o finos en suspensión para formar floculos muy pequeños.

Para obtener una buena coagulación, se requiere de una agitación intensa.

Una vez que se llevo a cabo la coagulación, se puede agregar un polímero aniónico de alto peso molecular (carga negativa) para aglomerar los floculos pequeños y convertirlos en macrofloculos, los cuales al aumentar de peso y tamaño podrán sedimentarse fácilmente. Los floculantes se agregan a la salida de la zona de mezcla rápida o en cualquier otro punto conveniente después de esta zona. La floculación debe llevarse a cabo en una zona de mezcla lenta, para evitar el rompimiento de los floculos que se van formando, reduciendo su tamaño y por tanto retardando el tiempo de sedimentación.

A continuación, el agua pasa a la zona de sedimentación, donde las partículas floculadas sedimentan por la acción de la gravedad, dependiendo del tipo de equipo, la zona de sedimentación puede tener un tiempo de retención de 1 hasta 4 horas. Finalmente el agua clarificada se podrá disponer para su uso y las partículas sedimentadas son removidas en forma de lodos.

Actualmente en el mercado se encuentra una gran variedad de equipos para la clarificación, que proporcionan en una misma unidad la dosificación apropiada de químicos, mezcla rápida y zonas de floculación y sedimentación.

Los equipos de sedimentación por gravedad los podemos clasificar en:



EQUIPOS DE SEDIMENTACION SIMPLE:

- a.- Clarificador de alimentación central.
- b.- Clarificador rectangular.
- c.- Clarificador de alimentación periférica.

EQUIPOS DE CONTACTO DE SOLIDOS:

- a.- Clarificador de recirculación de sólidos.
- b.- Clarificador de colchón de lodos.

EQUIPOS ASENTADORES DE PLANO INCLINADO:

- a.- Asentador de tubos.
- b.- Separador de laminas.

La selección apropiada del equipo de clarificación dependerá de la clase y de la cantidad de materia suspendida presente en el agua.

PRUEBAS DE LABORATORIO.

El objetivo de las pruebas de laboratorio es la de seleccionar y determinar las dosificaciones óptimas de coagulantes y floculantes en un proceso de sedimentación, simulando a nivel laboratorio las condiciones de operación de los equipos. La prueba de laboratorio para la clarificación recibe el nombre de “**prueba de jarras**”, la cual deberá usarse en aguas con un contenido menor al 2% en peso de sólidos suspendidos. En esta prueba se califica el tamaño del flóculo, la velocidad de sedimentación y la turbidez.



CLARIFICACION DE AGUA POTABLE E INDUSTRIAL

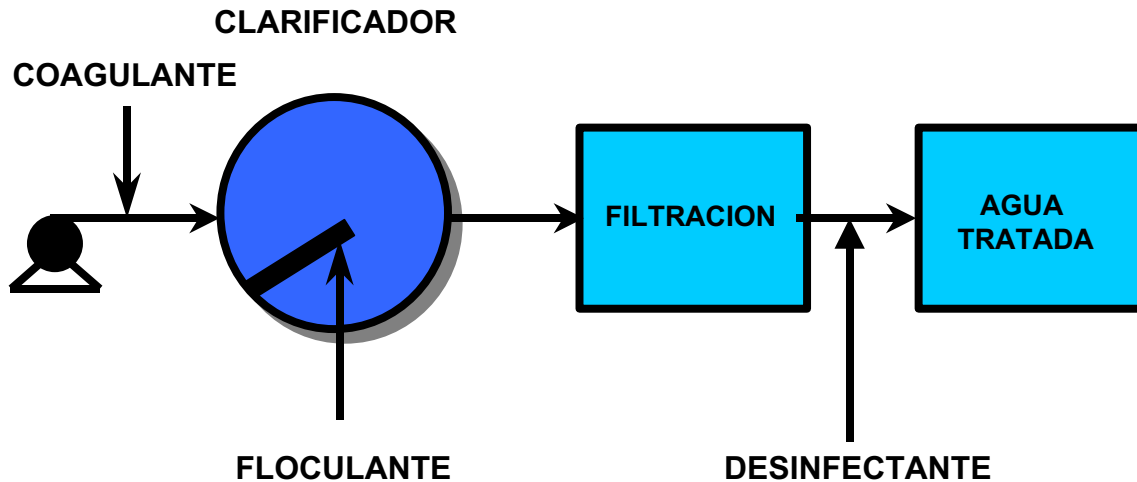


FIGURA N°1

REGLAS BASICAS PARA LA CORRECTA APLICACION DE LOS POLIMEROS.

- Selección apropiada del polímero.
- Preparación apropiada del polímero.
- Aplicación en soluciones diluidas.
- Punto de aplicación conveniente.
- Buena agitación.

PREPARACION Y DOSIFICACION DEL POLIMERO.

La correcta preparación de los polímeros y su dosificación en soluciones diluidas es fundamental para obtener resultados satisfactorios en su uso.

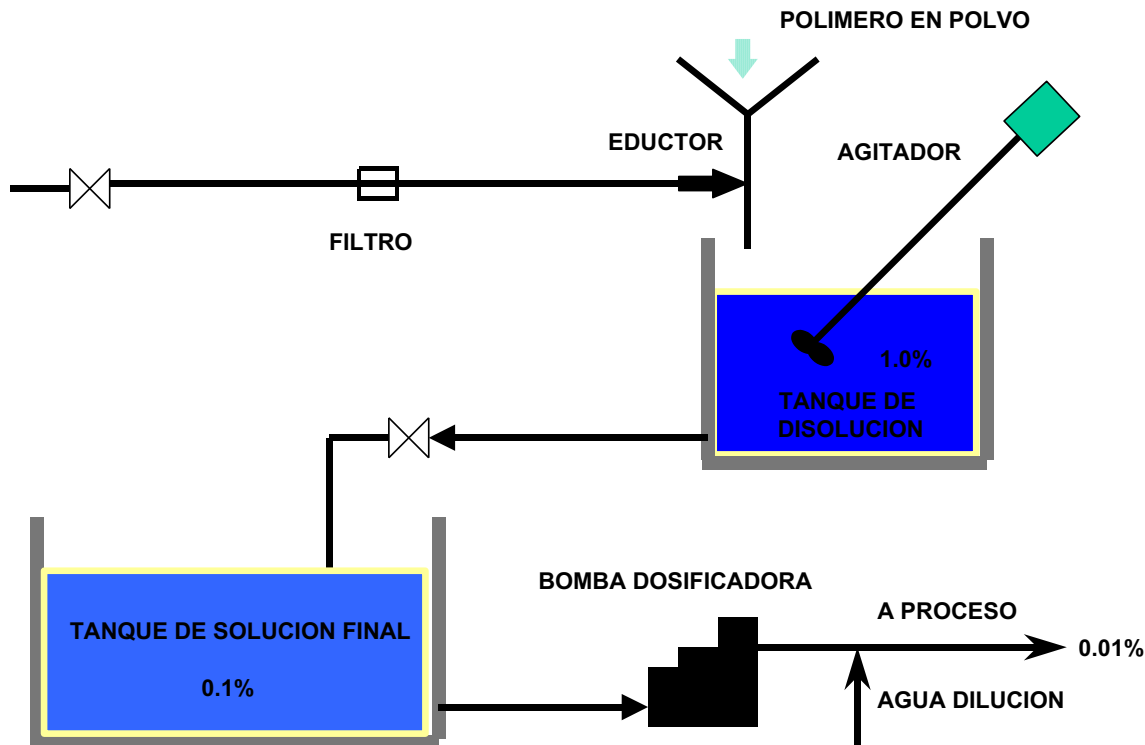


FIGURA N° 2

En la Figura N°2 se puede apreciar un equipo de dosificación típico para un polímero en polvo, sin embargo, también puede utilizarse para la dosificación de polímeros en emulsión y con algunas modificaciones para polímeros líquidos. La preparación de un polímero en polvo necesita del uso de un eductor para garantizar su solubilización, la preparación de un polímero en emulsión no requiere de este aditamento, el polímero debe de agregarse lentamente para evitar la formación de ojos de pescado. Por la viscosidad se recomienda prepara una solución madre al 1% máximo, respetando los tiempos de agitación recomendados anteriormente. Cuando se tiene un polímero líquido se puede prescindir de este tanque y el siguiente puede ser utilizado para preparar la solución



madre al 0.1%, adaptando la agitación Posteriormente en el caso de polímeros en polvo y emulsión, a partir de la solución madre se prepara otro tanque con solución al 0.1%. En los tres casos, el polímero en solución al 0.1% se alimenta al punto de dosificación junto con agua de dilución para bajar su concentración al 0.01%, permitiendo el estiramiento total del polímero para la utilización de todas las cargas disponibles y disminuyendo la viscosidad de la solución, que permite una mejor integración del polímero en el agua a tratar.