

SEPARACIÓN DE SÓLIDOS SUSPENDIDOS POR SEDIMENTACIÓN

3.0 SEDIMENTACIÓN

La sedimentación es una operación unitaria dentro de los procesos de tratamiento de aguas que tiene como finalidad el remover los sólidos suspendidos que el agua pueda contener.

Los sólidos en suspensión sedimentables son aquellos que por acción de la gravedad se separan del seno del líquido y son arrastrados hacia el fondo del tanque sedimentador, donde pueden ser separados del agua a la cual se desea darle tratamiento para remoción de dichas partículas.

Los sólidos sedimentables son aquellos que tienen una densidad mayor a la del líquido donde se encuentran, en este caso agua, y su remoción del agua o líquido a tratar es deseable por razones estéticas y de calidad bacteriológica del agua que se pretende consumir.

Aún y cuando teóricamente deben separarse todas las partículas más densas que el líquido que contiene dichos sólidos, la eficiencia del proceso de remoción es generalmente baja ya que en el proceso de separación están involucrados otros factores como corrientes de turbulencia y de desestabilización de la cama de lodos, etc.

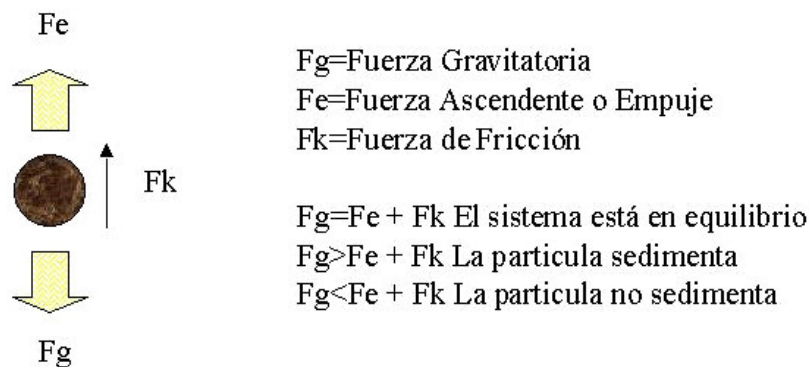
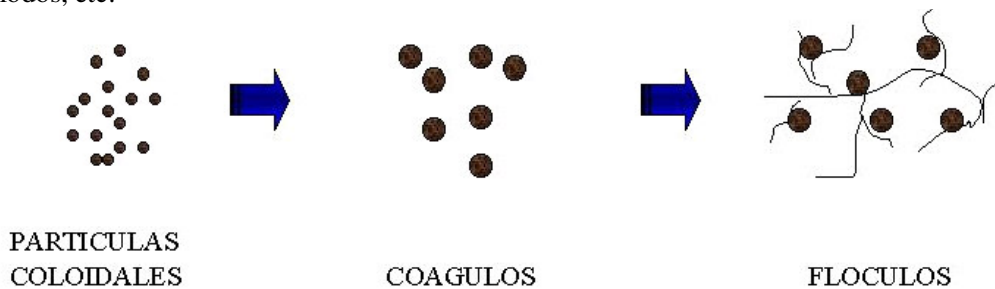


Figura 1: Mecanismo de formación de coágulos y floculos a partir de materia coloidal.. Fuerzas que intervienen en el mecanismo de sedimentación de una partícula.

Casi siempre, la operación de separación de sólidos por sedimentación es el primer paso o uno de los primeros pasos en el tratamiento y acondicionamiento de las aguas potables. Aunque aparentemente es una operación sencilla, la eficiencia de la separación de los lodos por sedimentación depende de detalles muy finos que se tienen que evaluar a nivel laboratorio, a través de lo que se llama prueba de jarras. Esta eficiencia en la operación, se refleja en un agua de mayor calidad para etapas posteriores y en la obtención de lodos más compactos.

Un diagrama simple de una operación de sedimentación consiste de lo siguiente: El agua a tratar o influente llega al sedimentador y después de un cierto tiempo de estancia o residencia en el sedimentador, los sólidos suspendidos y que son susceptibles de sedimentar se separan del seno del líquido por acción de

la gravedad. En este tipo de tratamiento se tienen dos productos: el agua tratada con un menor contenido de sólidos, y el lodo mismo o sólidos sedimentados. Es deseable que el contenido de sólidos en el lodo producido sea lo mas compacto posible; ya que este lodo se debe filtrar y/o secar, y lo mas conveniente es minimizar el volumen de lodos producidos.

SEDIMENTACIÓN:

PROCESO EMPLEADO PARA REMOVER SÓLIDOS SUSPENDIDOS POR ACCIÓN DE LA GRAVEDAD.

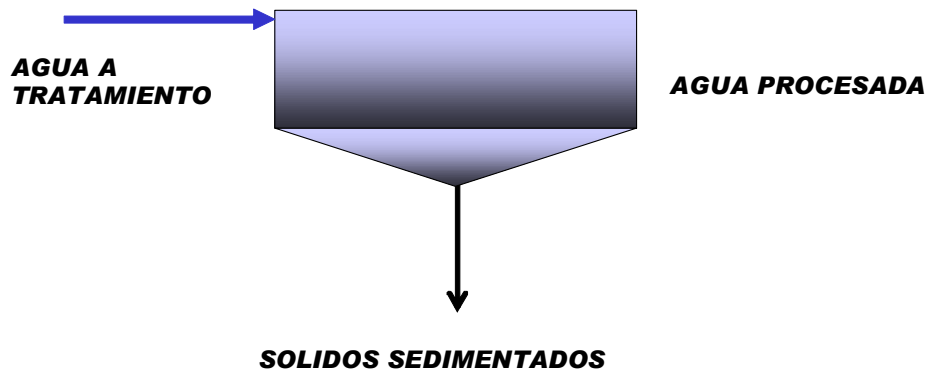


Figura 2: Proceso de sedimentación

Mecanismo de la separación sólido-líquido: La separación del material en suspensión del líquido que lo contiene involucra un proceso netamente físico. En este proceso se manifiestan una serie de fuerzas como son:

- ⇒ La fuerza que provoca que el sólido sedimente y que se debe a la acción de la gravedad.
- ⇒ La fuerza de oposición o el empuje que se manifiesta por el desplazamiento del líquido por la partícula suspendida que se desplaza verticalmente hacia abajo.
- ⇒ La fuerza de fricción que se debe al desplazamiento de la partícula por el fluido.

Si la fuerza gravitatoria es mayor que las fuerzas de oposición, la partícula se precipita al fondo del recipiente (sedimenta), de lo contrario, la partícula no se separa del líquido y será arrastrada por el líquido sobrenadante que sale en la parte superior del sedimentador.

El factor principal que conduce a la sedimentación es la densidad de la partícula. A mayor densidad, mayor fuerza gravitacional y mas eficiente separación del sólido. También influye en la separación la densidad del líquido. En nuestro caso, en que estamos hablando específicamente de tratamiento de aguas, el líquido a considerar es agua. El agua tiene una mayor densidad a menores temperaturas. Si la densidad del agua es baja el líquido se separa mas fácilmente, ya que la fuerza de oposición está directamente relacionada a la densidad del fluido en que se desplaza la partícula. Aunque la densidad del agua a 10°C y a 30°C no es muy diferente, esta mínima diferencia se manifiesta en una mejor separación del sólido a altas temperaturas, por lo tanto se puede generalizar: a mayor densidad del sólido mejor separación del mismo; a menor densidad del agua (a altas temperaturas) la separación de los sólidos o sedimentación es mas eficiente.

3.1 COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN:

La coagulación es un proceso fisicoquímico tendiente a formar partículas mas grandes y de mayor peso por unidad de volumen (mayor densidad o peso específico). La coagulación consiste en la dosificación de compuestos químicos que provocan la formación de polímeros que atrapan o encapsulan las partículas coloidales (partículas de muy pequeño tamaño), que por si mismas nunca lograrían separarse del líquido que las contiene.

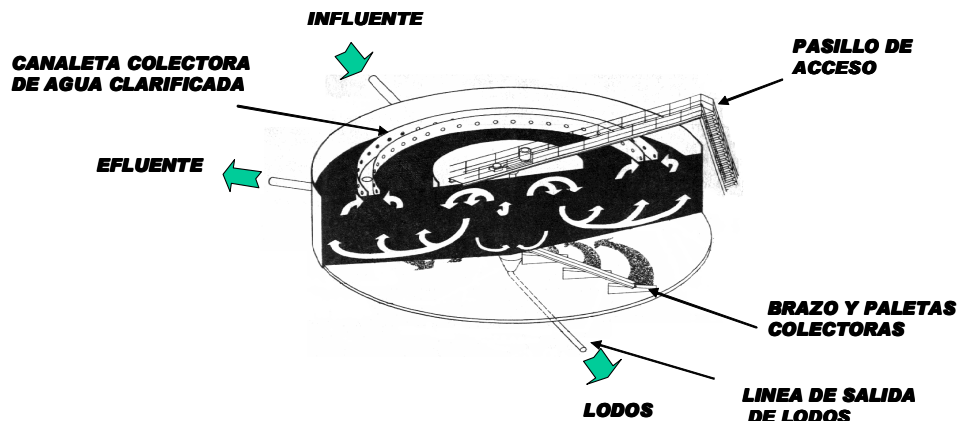


Figura 3: Sedimentador circular con rastrillo central para colección de lodos

En la práctica se emplean coagulantes muy diversos entre ellos tenemos:

⇒ Sulfato de Aluminio

⇒ Sulfato Ferroso

⇒ Sulfato Férrico

Otros agentes que también se emplean para coagular y que se les llama auxiliares de la coagulación son: la cal o hidróxido de calcio y el carbonato de sodio. Estos compuestos favorecen la coagulación al ajustar el valor del pH a un valor óptimo para la formación del polímero que atrapa las partículas o para incrementar la alcalinidad del agua y favorecer la aparición del coágulo.

La floculación es un fenómeno de carácter físico y químico, que provoca la formación de conglomerados de flóculos o partículas a partir de los coágulos formados en el proceso de coagulación. Los floculantes consisten de polímeros sintéticos de muy alto peso molecular, que tienen una estructura morfológica muy especial, que causa que los coágulos formados se adhieran a los ramales de estas moléculas gigantes, por mecanismos de fuerzas de adhesión físicas, así como por fuerzas de atracción electrostática y de otro tipo (fuerzas de London, de Van Der Waals, etc.).

El resultado final de un proceso coagulación/floculación es:

Coagulación: la formación de partículas de mayor tamaño y peso específico, a partir de material coloidal por un proceso de coagulación.

Floculación: La formación de partículas de mayor tamaño y densidad, a partir de los coágulos producidos anteriormente que floculan por la acción de un agente químico

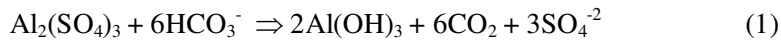
En la práctica, la coagulación se efectúa agregando los reactivos necesarios en un recipiente provisto de una turbina de agitación, que gira a alta velocidad, y que mezcla vigorosamente el o los reactivos y el agua a tratar. A continuación y después de la coagulación, la floculación se lleva a cabo en un tanque provisto de paletas que giran a baja velocidad, y promueven la interacción y choques entre partículas para que se forme un flóculo de mayor tamaño y densidad, que sea capaz de vencer la resistencia del fluido y provoque la separación del sólido del fluido.

MECANISMO Y REACCIONES QUÍMICAS DE LA COAGULACIÓN Y FLOCULACIÓN: En la formación de coágulos y flóculos necesarios para separar la mayoría de los sólidos suspendidos del líquido

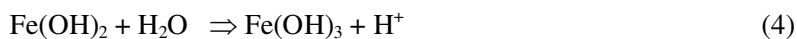
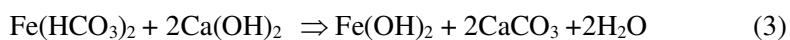
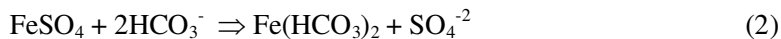
sobrenadante, ocurren una serie de reacciones químicas al agregar el coagulante que favorecen la formación de partículas de mayor tamaño que las partículas coloidales suspendidas. Cuando ocurre la reacción de polimerización de los agentes coagulantes, estos atrapan las partículas coloidales y las integran a su estructura del coagulo formado.

Algunas de las reacciones que ocurren con el coagulante son las siguientes.

Con el sulfato de aluminio:



Con el sulfato ferroso el agua reacciona en una secuencia de procesos como los descritos en las siguientes reacciones:



El hidróxido de aluminio y el hidróxido de hierro formados en las reacciones 1 y 4 anteriores, forman precipitados gelatinosos a los que se adhieren un gran número de partículas coloidales suspendidas que quedan atrapados en su red de polimerización.

En estas reacciones se hace evidente que la alcalinidad del agua en forma de carbonatos y bicarbonatos así como el pH, son decisivos para que se favorezcan las reacciones de hidrólisis del hierro y el aluminio. Las condiciones más adecuadas para que ocurran las reacciones de polimerización no son predecibles ya que la composición de las aguas que se mide con parámetros tales como; alcalinidad, pH, etc. es muy variable para diferentes tipos de agua, por lo que las mejores condiciones para una muestra de agua específica pueden ser muy diferentes para otra muestra de agua de diferente composición.

La floculación que atrapa los coágulos formados y forma partículas de mayor tamaño y peso, también depende de características del agua así como de la carga de las partículas. Si estas se encuentran cargadas positivamente o negativamente deberá agregarse un floculante que neutralice las cargas. Si los coágulos no tienen carga se deben emplear floculantes no iónicos.

Para saber la combinación y la dosis de coagulante y floculante que debe emplearse para tener mejores resultados en la separación de sólidos suspendidos deberán efectuarse una serie de pruebas empíricas cambiando dosis y reactivo y observando sus resultados. A estas pruebas se les llama “prueba de jarras” las cuales se realizan en laboratorio, tal y como se describe en el apéndice del texto.

Los resultados de los experimentos se extrapolan a la planta operativa y con ellos se establecen las condiciones de operación de la planta de tratamiento.

3.2 LA COAGULACIÓN Y LA FLOCULACIÓN EN LA PRÁCTICA:

Como ya se ha mencionado anteriormente, la coagulación se efectúa agregando los reactivos adecuados en la cantidad más conveniente y mezclando estos con el agua en un flujo turbulento con intensa agitación.

Después de efectuar la coagulación, se favorece la formación de flóculos y esta se realiza en tanques o depósitos adaptados con mecanismos de agitación de muy baja intensidad para favorecer la colisión y adherencia de partículas coaguladas, pero sin que la velocidad de agitación sea suficientemente intensa para romper el floculo.

El tiempo requerido para la coagulación es mínimo y es suficiente una agitación de 1-3 minutos. La floculación es más lenta y normalmente el tiempo de retención en la unidad de floculación es de 20 a 40 minutos. Después del proceso coagulación/floculación el agua pasa al tanque sedimentador.

Tipos de sedimentadores: El equipo que se emplea para sedimentación tiene ciertas variaciones, aunque todos tienen los mismos componentes básicos. Como primera clasificación los sedimentadores pueden ser de forma circular o de forma rectangular.

Otra clasificación es la manera en que se distribuye y colecta el agua en el sedimentador. Por ejemplo, en un sedimentador circular la alimentación puede ser periférica y la colección del agua es en el centro del sedimentador o puede ser en forma invertida, esto es, la alimentación es al centro y la colección del efluente es en la periferia (Figura 2).

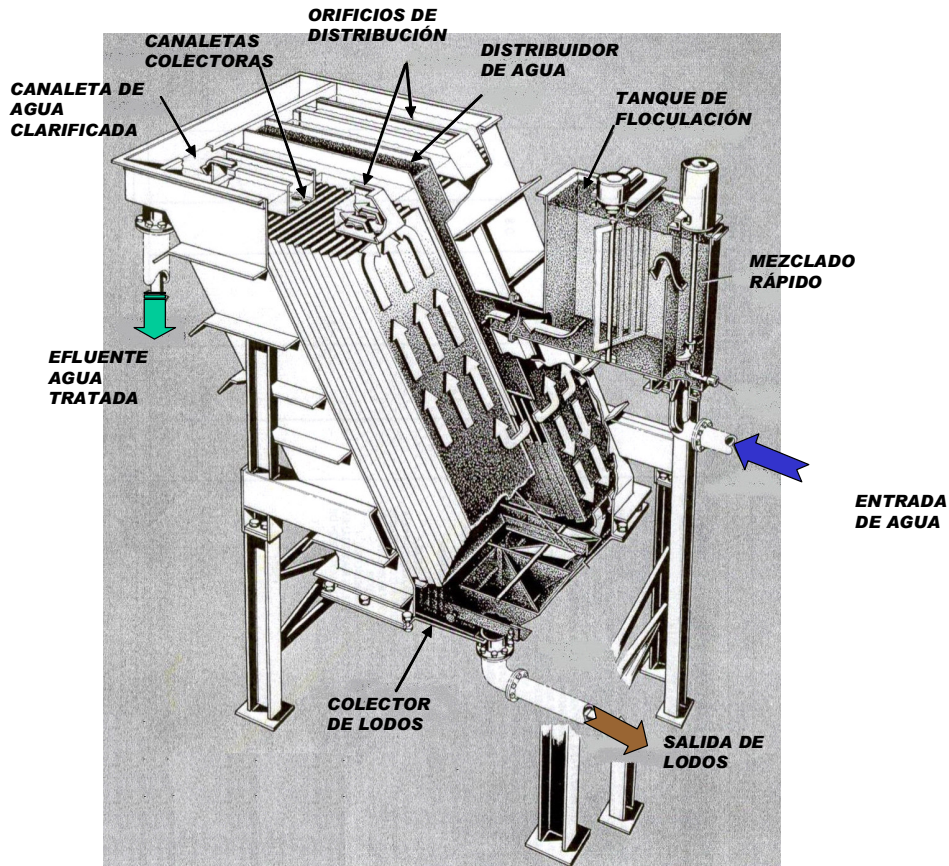


Figura 4: Sedimentador de placas inclinadas de alta eficiencia de lodos

En un sedimentador cuadrado o rectangular, la alimentación es en un extremo y la colección del efluente tendencia en éste es hacer que el flujo de agua que es en el extremo opuesto. En cualesquier situación, al hacer llegar el influente al sedimentador, la llega, lo haga de una forma pausada y quieta para que no haya perturbancias en el seno del líquido donde se está efectuando la separación.

Colección del efluente: El agua que sale después del proceso de separación debe ser colectada para conducirla al siguiente paso de tratamiento. La colección no se hace en un solo punto, sino que se colecta en una serie de canaletas para generar el mínimo de perturbancias. Estas canaletas están dispuestas en la parte superior del sedimentador, distribuidas en forma conveniente de acuerdo a la forma y tipo del sedimentador (Figura 5).

Extracción de lodos: Los sólidos que sedimentan deben ser extraídos periódicamente. La manera en que se colectan y sacan del tanque sedimentador, puede ser por medio de un rastrillo. En un tanque circular éste rastrillo gira a bajas revoluciones y los lodos caen al centro del sedimentador donde se encuentra la tubería que conduce los lodos fuera de esta unidad.

En un sedimentador cuadrado o rectangular la extracción de lodos se puede hacer por medio de un rastrillo que "barre" los lodos y los conduce hacia una salida común. También, puede efectuarse la extracción

succionando dichos lodos con bombas especiales, que los depositan en conducciones provistas para este fin.

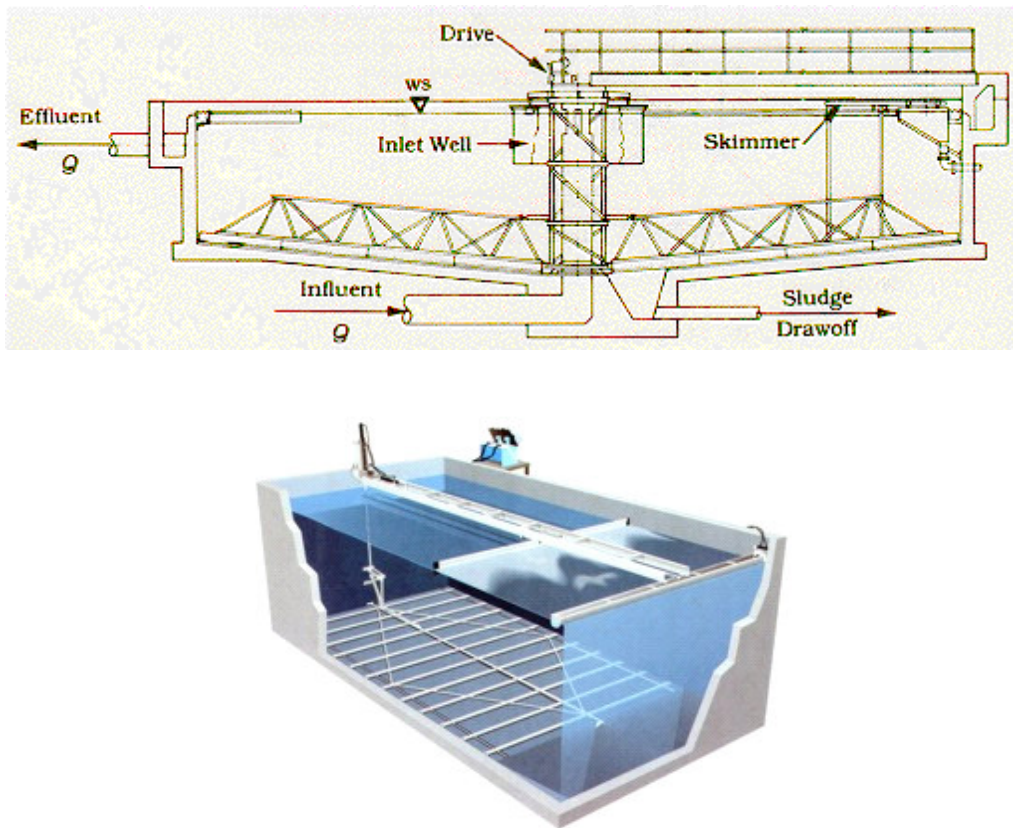


Figura 5: Sedimentador circular y rectangular con mecanismo de extracción

Sedimentador de plano inclinado: Recientemente se ha desarrollado un sedimentador especial, el cual es sumamente eficiente en la separación del sólido. En este sedimentador se encuentran dispuestos un cierto número de placas inclinadas que hacen mas eficiente la separación. Este tipo de separador sólido/líquido es muy empleado en procesos industriales de tratamiento de aguas donde el volumen de agua a tratar no es muy grande, y como además ocupa poco espacio comparado con un sedimentador convencional, también es muy adecuado cuando no se dispone de mucha área para la construcción de la planta potabilizadora que requiere de un sedimentador.

3.3 CÁLCULO Y DISEÑO DE SEDIMENTADORES:

El parámetro de diseño mas importante para un tanque de sedimentación es el área del sedimentador. El tiempo de retención y la longitud de las canaletas o colectores del efluente son también relevantes. Estos parámetros deben definirse a partir de pruebas de laboratorio para una muestra de agua en particular. En ausencia de datos experimentales y para aguas "estándar o promedio" los valores de diseño están dentro del siguiente rango.

SEDIMENTADOR PRIMARIO	
Tiempo de Retención:	1.5 a 2.5 horas
Relación Gasto/Area:	800-1200 gal/ft ² xd (30-50 mt ³ /mt ² xd)
Flujo en Canaletas:	20,000 gal/ftxd (250 mt ³ /mtd)

<i>TANQUE RECTANGULAR:</i>	<i>Rango</i>	<i>Promedio</i>
Profundidad:	3.0-4.5 mts.	3.5 mts.
Longitud:	15-90 mts.	25-40 mts.
Ancho:	3-25 mts.	5-10 mts.
Velocidad del Rastrillo:	0.6-1.2 mts/m	0.9 mts/mts
<i>TANQUE CIRCULAR:</i>	<i>Rango</i>	<i>Promedio</i>
Profundidad:	3.0-4.5 mts.	3.5 mts.
Diámetro:	3-60 mts.	12-45 mts.
Velocidad del Rastrillo:	0.02- 0.05 rpm	0.03 rpm



Figura 6: Sedimentador circular con alimentación al centro y colector periférico, en el cual se observan las canaletas o colectores que reciben el efluente de agua clarificada para enviarlo a la siguiente etapa de tratamiento

PRUEBAS DE JARRAS Y DETERMINACIÓN DE DOSIS OPTIMA DE COAGULANTE Y FLOCULANTE

La determinación de la cantidad y tipo de coagulante y floculante que se requiere para tener los mejores resultados en la operación unitaria de sedimentación, se realiza por medio de las pruebas de jarras

PRUEBAS DE JARRAS: Se toma un litro de muestra de agua y se coloca en el recipiente donde se efectuará la prueba. Esto se hace en cada uno de los recipientes disponibles cada muestra se le agrega la cantidad de reactivos que sea más conveniente: Casi todos los reactivos se preparan al 1% con excepción del floculante el cual puede estar preparado al 0.1 % o una concentración similar.



Se agregan los coagulantes y el floculante y se agita intensamente la botella para una dispersión completa del reactivo dosificado.

<i>Reactivo</i>	<i>Dosis recomendada</i>
Sulfato de Aluminio	10-50 ppm
Sulfato Ferroso	10-50 ppm
Sulfato Férrico	10-50 ppm
Cal	10-50 ppm
Carbonato de Sodio	5-20 ppm
Floculante	0.5-5 ppm

La evaluación de resultados se hace una o dos horas después de agregar los reactivos, y se determina la calidad del agua en forma visual o midiendo en un turbidímetro su grado de turbidez.

Es muy conveniente en cada prueba medir el pH de la solución resultante y anotar las observaciones de flóculo formado (si sedimenta rápidamente, si el flóculo es cristalino, si tarda mucho tiempo o no se forma, etc.)

La dosis óptima se determina por prueba y error, por lo que se deberán agregar cantidades variables hasta obtener la mejor combinación considerando los rangos de dosificación de la siguiente manera:

Como ejemplo consideremos que tenemos el equipo de pruebas de jarras mostrado en la Figura 1. Se dispone de cuatro jarras por lo que se efectuará la siguiente serie de pruebas:

En la primera serie de pruebas se modifica la dosis de coagulante (sulfato de aluminio) y se mantienen constantes las cantidades de los otros químicos que se agregan al agua.

Primera serie:

Reactivo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Sulfato de Aluminio	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
Cal	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Floculante	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm

Suponiendo que en esta primera serie de pruebas la dosis de sulfato de aluminio que dio los mejores resultados es cuando se agregan lo equivalente a 20 ppm, entonces se efectúa una segunda serie de pruebas variando a continuación la dosis de cal.

Segunda serie:

Reactivo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Sulfato de Aluminio	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Cal	10 ppm	20 ppm	30 ppm	40 ppm
Floculante	1 ppm	1 ppm	1 ppm	1 ppm

Si la dosis de cal que resulta en la mejor sedimentación de los sólidos suspendidos se efectúa una tercera serie de pruebas para observar los resultados con la dosis de floculante.

Tercera serie:

Reactivo	Prueba 1	Prueba 2	Prueba 3	Prueba 4
Sulfato de Aluminio	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Cal	20 ppm	20 ppm	20 ppm	20 ppm
Floculante	0.5 ppm	1.5 ppm	2 ppm	2.5 ppm

Si los mejores resultados de esta serie es la prueba 3, entonces la dosis óptima de floculante es de 2.0 ppm

En esta serie de pruebas se tiene como conclusión que la dosis óptima de cada componente es:

Sulfato de Aluminio	20 ppm
Cal	20 ppm
Floculante	2.0 ppm

Esto que se ha descrito es una simplificación de lo que son las pruebas de jarras, ya que existen otros coagulantes además del sulfato de aluminio y cientos de floculantes que se comercializan en tratamiento de aguas, por lo que es necesario efectuar muchas más pruebas que las que hemos descrito para fijar la mejor combinación de coagulante y floculante a las mejores condiciones de alcalinidad y pH del agua con la dosis más adecuada de productos químicos, para los mejores resultados al menor costo.