

SILICE ACTIVADA COMO COADYUVANTE DE LA FLOCULACIÓN EN EL TRATAMIENTO DEL AGUA

Introducción

El empleo de la sílice activada en el tratamiento del agua, como coadyuvante o ayudante de la floculación, empezó a desarrollarse a mediados del pasado siglo.

La sílice activada es una suspensión coloidal de ácidos polisilícicos hidratados, producida por la neutralización parcial de la alcalinidad caustica del silicato sódico comercial (se ha de pasar de un pH próximo a 12 hasta conseguir un pH algo menor de 9). La neutralización puede efectuarse por ácidos minerales o por sustancias que por hidrólisis formen ácidos más fuertes que el ácido metasilícico.

La cantidad de agente activador requerida para neutralizar la alcalinidad del silicato sódico depende de su acidez y ha de regularse con cuidado para que no se forme el gel y la sílice coloidal.

Se deberá partir de un silicato sódico que tiene una proporción media en peso SiO_2/Na_2 de 3,3 a 1, es decir, un silicato sódico con las siguientes características:

SiO_2	28,0%	en peso
Na_2O	8,5%	“ “
H_2O	63,5%	“ “
Densidad	1,40	kg/l.

Para preparar 1 kg. de sílice activada es necesario emplear 2,5 l. o bien 3,5 kg. de la anterior solución de silicato.

Se indica a continuación la relación de alguno de los principales agentes activadores requeridos para producir sílice activada (como SiO_2).

<u>Agente Activador</u>	<u>Fórmula</u>	<u>Proporción en peso agente activador/sílice</u>
Cloro	Cl	0,5/1
Acido clorhídrico	ClH	0,33/1
Acido Sulfúrico	SO_4H_2	0,45/1
Bicarbonato Sódico	CO_3HNa	0,85/1
Sulfato de Aluminio	$(\text{SO}_4)_3\text{Al}_2.18\text{H}_2\text{O}$	0,80/1

Entre las diversas sustancias que pueden emplearse como activadores de la sílice hay que destacar el cloro, al tener éste la doble aplicación de empleo como desinfectante en el tratamiento del agua y de activador en la preparación de la sílice.

La sílice activada es poco estable y por tanto debe prepararse in situ, fué empleada durante mucho tiempo como un ayudante en la floculación convencional con sales de aluminio, hierro, etc., hasta que fue sustituido por polímeros sintéticos conocidos como polielectrolitos y como tal ayudante de la floculación se adiciona al agua después del coagulante. Las ventajas derivadas de su uso son:

- a) Un incremento en el rango de pH dentro del cual se puede obtener una buena floculación.
- b) La producción de mayores, más pesados y cohesionados flóculos con la consecuente aceleración de sedimentación.
- c) Una extensión del rango de temperatura, dentro del que ocurre una eficiente floculación, en particular en zonas o épocas frías.
- d) Un incremento en la tasa o cantidad de formación del flóculo.
- e) Una disminución de la turbidez del agua decantada, lo cual conduce a una reducción en el lavado de filtros.

Preparación industrial de la sílice activada.

Activación con ácido sulfúrico

Los dos activadores más empleado son el ácido sulfúrico y el cloro, en ambos casos se parte de una solución de silicato sódico de 411 Bé, que tiene una concentración de SiO_2 del 28-29% y a partir de ésta se prepara una solución con agua en la proporción 1/20. A esta solución de silicato se le va añadiendo una solución diluida de ácido sulfúrico de concentración 1/70 (1,2 l. de ácido sulfúrico de 661 Bé añadido a 84 l. de agua), se mezclan estas dos soluciones aportando agua de dilución para alcanzar una concentración al 1% de SiO_2 y se hacen pasar por rebose a un depósito de envejecimiento con un tiempo de estancia de 30 minutos, transcurrido el cual se puede dosificar esta suspensión de sílice coloidal envejecida.

Para preparar, por ejemplo, 1 kg. de sílice activada en solución al 1% de SiO_2 , habrá que emplear 2,5 litros (= 3,5 kg) de solución de silicato al 28% y 0,240 l. de ácido sulfúrico de 661 Bé.

- Diluir los 2,5 litros de silicato hasta 50 con agua.
- Preparar una solución de ácido sulfúrico que contenga 0,240 l. de ácido 661 Bé en 17 litros de agua.

Mezclar estas dos soluciones en un depósito o cuba de mezcla, al cual se le incorporará agua de dilución hasta obtener un volumen final de 100 litros, con una concentración al 1% de SiO_2 y a continuación pasar la mezcla a un depósito de envejecimiento durante un tiempo de unos 30 minutos. El TAC de estos solución debe estar comprendido aproximadamente entre 500 y 750 mg/l. de CO_3Ca .

Activación con Cloro.

Empleando como agente activador el cloro, ha de señalarse que la capacidad activante del cloro es función de los ácidos producidos por hidrólisis. Como se ha indicado al principio, la cantidad de cloro a emplear en la preparación de la sílice está en la proporción de 0,5/1, es decir, 0,5 kg de cloro son necesarios para preparar 1 kg. de sílice o, lo que es igual, 0,5 kg. de cloro han de reaccionar con 3,5 kg. de silicato sódico comercial al 28%.

En el mercado existían en las épocas de mayor empleo de la sílice activada equipos compactos mezcladores de la solución diluida de silicato con cloro gas, en las proporciones adecuadas para formar la sílice activada.

En la preparación de la sílice activada se puede emplear el cloro procedente de un clorador similar a los empleados en el proceso de desinfección del agua, en estos finalmente lo que se consigue es una fuerte solución clorada, que en definitiva es una mezcla de ácido clorhídrico y ácido hipocloroso que son los agentes activantes.

La solución de silicato sódico se preparará de forma similar a cómo se ha indicado en el caso anterior, obteniéndose finalmente la concentración deseada en SiO₂ (generalmente el 1%), incorporando si es necesario agua de dilución.

Gelificación de las suspensiones de sílice y determinación del tiempo de gelificación.

En la preparación de una dispersión coloidal, tipo sol, como es el caso de la suspensión de sílice activada, suele considerarse que cuando se observa una apreciable opalescencia al mirar a través de una profundidad de 10 a 15 mm., se ha alcanzado su máxima actividad.

La ausencia de opalescencia en esas condiciones no es necesariamente un criterio de inactividad.

Un cálculo aproximado del tiempo de gelificación puede llevarse a cabo de la siguiente forma:

- 1) Tomar una muestra de unos 100 ml. del depósito de mezcla en un tubo de vidrio transparente o en un vaso de unos 150 ml., anotando el tiempo en el que se recoge la muestra.
- 2) Permitir al vaso reposar algunos minutos y después volcar el vaso lentamente de un lado a otro. Observar la acción de la solución en las paredes del vaso.
- 3) Repetir la operación hasta que la solución alcance el punto en el que comience justamente a pegarse en las paredes del vaso. Este es el punto final del tiempo de gelificación. Anotar este tiempo.
- 4) Computar el periodo de tiempo comprendido entre la toma de la muestra y el punto final. Este periodo de tiempo es el tiempo de gelificación.

El tiempo de gelificación es influenciado por la temperatura, al aumentar la temperatura se acorta el tiempo de gelificación y viceversa, por lo tanto, es recomendable mantener durante el ensayo la misma temperatura que la de la solución del tanque de mezcla.

El tiempo de gelificación puede ser de 8 a 90' pero más a menudo es de 10 a 40'. Un bajo tiempo de gelificación será más adecuado para relativamente altas tasas de alimentación y viceversa.

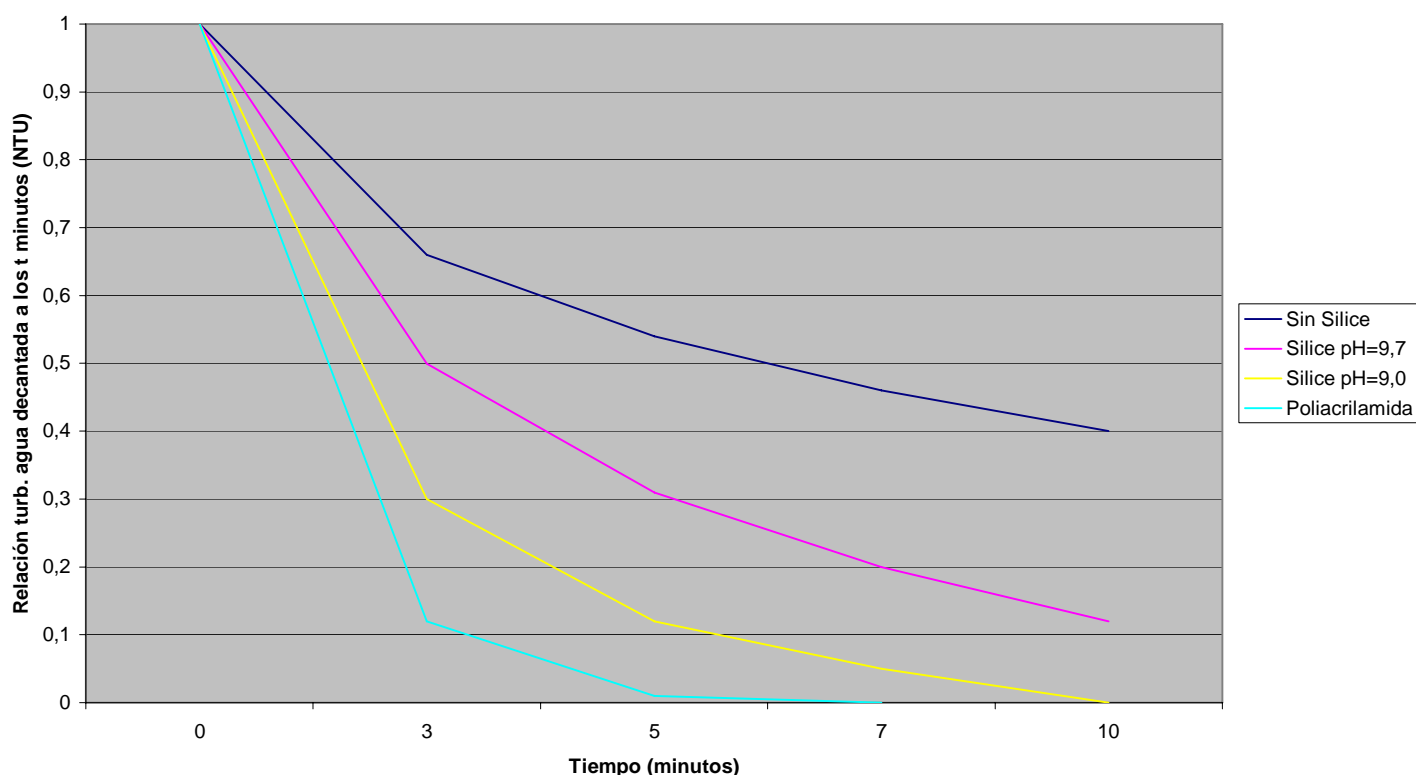
Influencia de la Sílice activada en la velocidad de sedimentación de los fangos y en la turbiedad del agua decantada

Con objeto de conocer el tiempo de envejecimiento y pH de la sílice activada, que mejores resultados da en cuanto a la “velocidad de sedimentación del fango” y reducción de la turbiedad, hemos realizado diversos ensayos para ver su grado de influencia en los dos anteriores factores.

Por una parte se ha ensayado la “velocidad de sedimentación de los flóculos”, empleando sílice activada preparada de diferentes formas en cuanto al tiempo de envejecimiento y al pH de preparación (se ha mantenido siempre constante su concentración en el 1%) y sin el empleo de sílice, así como su comparación empleando un polielectrolito tipo poliacrilamida, que es el que mejores resultados ofrece. En todos los casos se ha comprobado que empleando sílice activada se obtienen mayores velocidades de sedimentación que cuando no se emplea. En cuanto a la sílice, dentro de las diferentes preparaciones, parece ser que el mayor incremento en la “velocidad de sedimentación” de los flóculos se obtiene con un período de envejecimiento de 1 hora y 30 minutos y pH alrededor de 9.

En el gráfico adjunto queda registrado este ensayo, en él, y en el eje de ordenadas, se representa la relación entre la turbiedad del agua decantada a los t minutos y la turbiedad del agua recién floculada.

VELOCIDAD SEDIMENTACION FLOCULOS

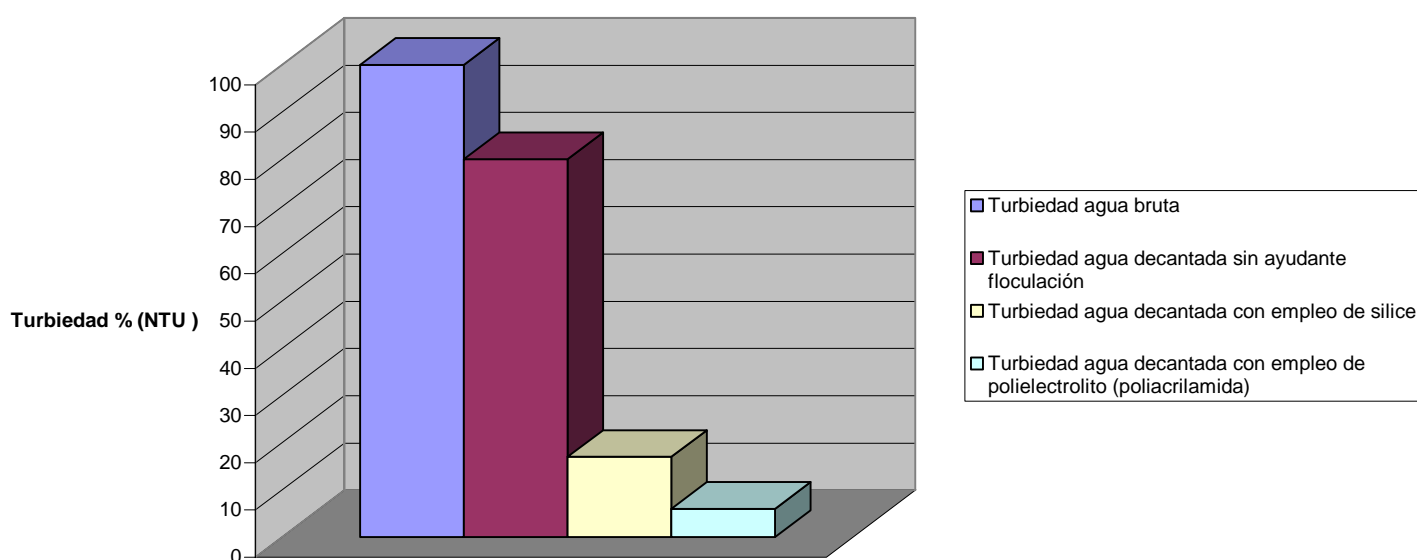


Por otra parte, y para comprobar la influencia en la turbiedad, también se han realizado ensayos paralelos (igual pH, temperatura y dosificación de coagulante) empleando y no empleando sílice activada y polielectrolito.

Como cabía esperar, al haber comprobado que la sílice originaba mayores velocidades de sedimentación del fango, las turbiedades del agua decantada debían ser paralelamente menores con el empleo de la sílice, como así ha ocurrido.

La turbiedad del agua decantada después de 10 minutos de reposo, con el uso de sílice y sin ella, así como con polielectrolito queda expuesta en el gráfico siguiente, en el cual se aprecia la influencia de la sílice y del polielectrolito en la obtención de una mejor agua decantada.

COMPARACION TURBIEDADES AGUA BRUTA Y DECANTADA



Puede señalarse que en los diferentes ensayos que se han realizado, la turbiedad en el agua decantada ha sido reducida de tal forma que queda en el 15 % de la inicial en el agua bruta, empleando sílice, mientras que sin sílice ni polielectrolito la turbiedad quedaba en el 80 % de la original del agua bruta. Es decir, con el empleo de sílice se ha llegado a eliminar, por medio de la decantación, un gran porcentaje, del orden del 80 al 90 %, de la turbiedad del agua bruta, mientras que sin utilizar sílice sólo se conseguían eliminaciones del orden del 20% y en los casos más favorables se llegó a eliminar el 35%.

Estos ensayos se han hecho con dos tipos de agua bruta diferentes cuyas turbiedades variaron entre 1,6 y 2,8 NTU para la primera y entre 5 y 14 NTU para la segunda. En esta segunda la influencia de la sílice es más evidente.

Menores dosis de coagulante empleando Sílice Activada.

De la serie de ensayos realizados variando las dosis de sulfato de alúmina, con objeto de observar la turbiedad final del agua decantada, resumimos dos ensayos de floculación efectuados al mismo pH. En uno de ellos la sílice activada con un tiempo de envejecimiento de una hora y treinta minutos y pH=9,1 y en el otro la sílice al mismo tiempo de envejecimiento y pH=9,0.

Los resultados de la observación visual fueron:

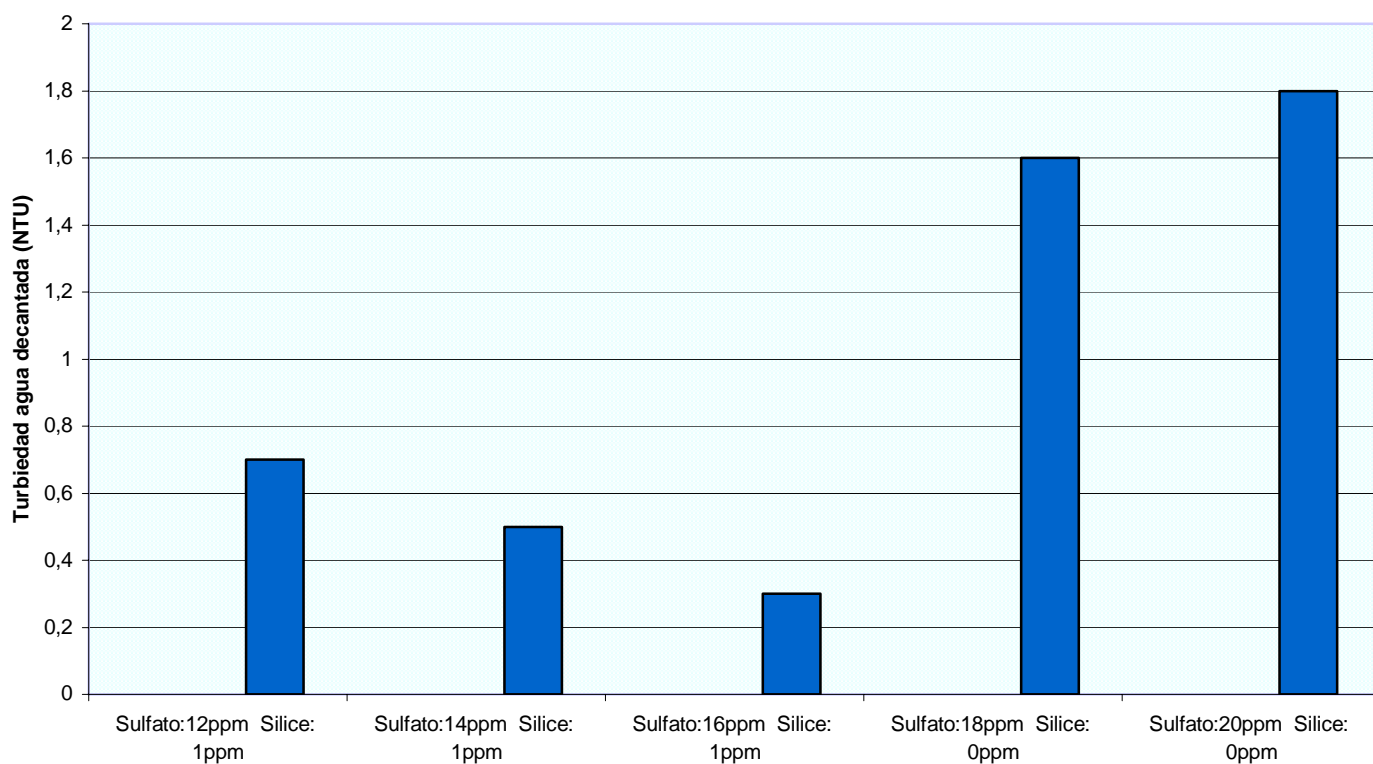
Primer ensayo: Grandes flóculos en los vasos correspondientes a las dosis del coagulante sulfato de alumina de 16, 14 y 12 ppm, y sílice activada de 1 ppm, en este orden y en sentido decreciente en cuanto al tamaño de los flóculos, y

abundantes pero más pequeños los flóculos con las dosificaciones de 18 y 20 ppm, de sulfato de alúmina. Estos dos últimos sin sílice.

Segundo ensayo: Se observa igualmente mayores flóculos en los vasos correspondientes a las dosis de sulfato de alumina de 16, 14 y 12 ppm y 0,5 ppm de sílice activada y más pequeños en el vaso de 18 ppm de sulfato (éste sin sílice).

Las turbiedades del agua decantada correspondiente a estos ensayos, después de 8 minutos de reposo, pueden verse en el siguiente gráfico, observándose a la vez cómo con dosis de sulfato de alúmina de 18 y 20 ppm y nada de sílice activada, resultan mayores turbiedades en el agua decantada (paralelamente a la observación visual indicada) que con dosis de sulfato de 16, 14 y hasta 12 ppm, pero acompañadas éstas de sílice activada (1 ppm).

TURBIEDAD AGUA DECANTADA vs DOSIS COAGULANTE



Con esto queda de manifiesto la economía de coagulante mediante un buen empleo de la sílice activada sin tener en cuenta el beneficio que por otra parte reporta el incremento en las carreras de los filtros como consecuencia de obtener un agua decantada de menor turbiedad.

Ensayos comparativos entre el empleo de sílice activada y otros coadyuvantes de la floculación

Como final se muestra el resumen de varios de los resultados obtenidos al realizar diversas pruebas de coagulación – floculación (jar-test), en laboratorio con un agua bruta de turbiedad 2 NTU con objeto de contrastar resultados empleando tres tipos de ayudantes de floculación, tales como poliacrilamida, cloruro de alildimetilamonio (polidadmac) y sílice activada, con una misma dosis del coagulante principal (sulfato de alumina).

De los resultados obtenidos y mostrados en el siguiente cuadro, se desprende el buen comportamiento en la eliminación de turbidez y control del aluminio en el agua decantada de los coadyuvantes de floculación ensayados, en especial uno de los polidadmacs y la sílice activada (preparada a pH = 8,7 y al 1 % de concentración).

Los valores de aluminio del agua filtrada se han obtenido filtrando el agua decantada por membranas de 0,45 μ

ENSAYO	1	2	3	4	5	6
SULFATO DE ALÚMINA(ppm)	35	35	35	35	35	35
POLIELECTROLITO (ppm)	0	0,05	0	0	0	0
POLIDADMAC 1 (ppm)	0	0	1	0	0	0
POLIDADMAC 2 (ppm)	0	0	0	1	0	0
SILICE ACTIVADA (pH= 8,7) (ppm)	0	0	0	0	1	1,5
COLOR (agua decantada)	5	5	5	5	5	5
TURBIDEZ (agua decantada) (NTU)	1,00	0,65	0,61	0,41	0,39	0,34
ALUMINIO (agua decantada) (μg/l)	288	240	420	132	207	199
ALUMINIO (agua filtrada) (μg/l)	33,29	35,28	44,69	21,4	27,08	29,14