

Diseño e implementación de una metodología para la disminución del contenido de hierro en hipoclorito de sodio al 15%

Design and implementation of a methodology for removal of iron in sodium hypochlorite 15% solutions

COLCIENCIAS TIPO 1. ARTÍCULO ORIGINAL

RECIBIDO: NOVIEMBRE 20, 2013; ACEPTADO: DICIEMBRE 15, 2013

Hoover Abril Vargas¹

habrilvargas@gmail.com

Guillermo Garzón García, Ph.D²

guillermogarz@gmail.com

Quimpac S.A., Palmira-Colombia (1)

Universidad Santiago de Cali, Colombia (2)

Resumen

El hipoclorito de sodio comúnmente llamado blanqueador se produce por reacción del cloro en una solución de hidróxido de sodio. Contenidos de hierro en hipoclorito de sodio menores a 4.0 ppm de hierro no afectan su estabilidad, pero cuando los niveles de hierro exceden 1 ppm las soluciones empiezan a tomar una coloración rojiza, lo que altera la apariencia óptica afectando directamente la calidad del producto. Empleando el ciclo PHVA para la solución de problemas industriales y los principios de la quimiometría se presenta una metodología para la remoción de hierro en soluciones de hipoclorito de sodio. Se utilizó hipoclorito de sodio obtenido directamente del proceso de producción. Inicialmente a las muestras dopadas con 10 mg/L de hierro se hizo un estudio para la remoción de hierro tomando como variables la alcalinidad y el tiempo de almacenamiento y mediante un proceso de filtración se obtuvieron filtrados a los cuales se cuantificó el hierro espectrofotométricamente. Finalmente, se seleccionó una metodología que incluyó un ajuste de alcalinidad, un tratamiento químico y una filtración a través de un filtro de tamaño de poro de 1,5 micras; además se estudiaron las mejores condiciones, lo que permitió obtener un hipoclorito de sodio con un contenido de hierro que cumple las especificaciones internas de Quimpac S.A. y la Norma NTC 2139.

Palabras Clave

Remoción de hierro; hipoclorito de sodio; estabilidad; alcalinidad.

Abstract

Sodium hypochlorite commonly called bleach is produced by reaction of chlorine in a solution of sodium hydroxide. Iron contents in sodium hypochlorite less than 4.0 ppm of iron does not affect stability, but when iron levels are greater than 1 ppm sodium hypochlorite solutions will begin to take a reddish color, which alters the optical appearance affecting the quality of the product. Using the PHVA cycle for industrial problems solving and quimiometric principles a methodology is presented for the removal of iron in sodium hypochlorite solutions. Sodium hypochlorite obtained directly from the production process was used. Initially, to treated samples with 10 mg/L iron a study of iron removal was made taking as variables alkalinity and storage time and by a filtration process iron was quantified spectrophotometrically. Finally, a methodology was selected including setting alkalinity, chemical treatment and filtration through a filter of 1.5 micron pore size; also the best conditions were studied, which allowed obtaining sodium hypochlorite containing iron that meets internal specifications of Quimpac S.A. and NTC 2139 regulation.

Keywords

Iron removal; sodium hypochlorite; stability; alkalinity.

I. INTRODUCCIÓN

La industria química inorgánica en Colombia viene desarrollando diversos procesos para transformar productos abundantes (como el cloruro de sodio) en productos de gran demanda industrial, como el hipoclorito de sodio –de fórmula química NaClO –. Este, se produce por una reacción entre el cloro e hidróxido de sodio y se presenta como una solución cristalina de ligero color amarillo y un olor característico penetrante e irritante; es un agente oxidante fuerte que le permite actuar como agente de blanqueo y desinfección; estas propiedades se aprovechan para el tratamiento de fibras y la eliminación de microorganismos en el agua (Chlorine Institute, 2008; Tilac, 1994).

El proceso de producción de hipoclorito de sodio recoge todos los venteos de cloro gaseoso de las diferentes partes del proceso cloro soda; algunos de estos venteos son conducidos por tuberías en acero al carbón, donde por presencia de humedad sufren procesos de oxidación que traen consigo la formación de derivados de hierro, en especial después de una apertura de líneas para mantenimiento de equipos o tuberías.

A pesar de que se realiza la prevención en la fuente – porque se cuenta con un procedimiento establecido para el secado adecuado–, esta no es 100 % efectiva, por lo que existe la posibilidad de que al iniciar un nuevo el proceso, haya presencia de hierro en el cloro gaseoso, que reaccione con la solución de soda cáustica, y se obtenga un hipoclorito de sodio con alto contenido de hierro, el cual puede presentarse como un precipitado rojo o como un material gelatinoso de hidróxido de hierro de difícil filtración; en consecuencia, con el fin de obtener soluciones de hipoclorito de sodio con características ópticas aceptables, es necesario remover el hierro a valores por debajo de 0,5 ppm.

Las soluciones de hipoclorito de sodio son inestables y empiezan a descomponerse gradualmente desde el inicio de la producción, sin embargo, la velocidad de descomposición puede controlarse para alargar su vida útil.

Los principales factores que afectan su estabilidad son: la concentración de la solución, la presencia de metales, el pH de la solución, la temperatura de la solución, la exposición a fuentes de luz, la carga iónica de la solución y las impurezas orgánicas.

La descomposición se da por dos formas: la primera, con la formación de oxígeno; la segunda, con la formación

de cloratos –los metales catalizan las reacciones de formación de oxígeno, mientras que el tiempo de almacenamiento y la temperatura promueven la formación de cloratos– (Chlorine Institute, 2008; Tilac, 1994; Gordon, 1996).

El objetivo principal de esta investigación fue diseñar e implementar una metodología para la disminución del contenido de hierro en el hipoclorito de sodio contaminado en Quimpac S.A. y obtener un producto enmarcado dentro de los valores típicos del proceso para hierro según las especificaciones internas de la empresa y la Norma NTC 2139.

El contenido de hierro en hipoclorito de sodio en cantidad menor a 4.0 ppm no afecta su estabilidad, pero cuando los niveles de hierro exceden 1 ppm, las soluciones de hipoclorito de sodio empiezan a tomar una coloración rojiza, lo que altera la apariencia óptica afectando directamente la calidad del producto (Chlorine Institute, 2008; Tilac, 1994).

Como se indicó, con el fin de obtener soluciones de hipoclorito de sodio con características ópticas aceptables es necesario remover el hierro a valores aceptables; para ello se han probado varios métodos, tales como la sedimentación y filtración, la coprecipitación o adsorción y la reducción de pH (Gordon, 1996; Icontec, 2005; Espíndola & Fernández, 1994).

II. METODOLOGÍA

Se aplicó la metodología de solución de problemas industriales basada en el ciclo PHVA [Planear, Hacer, Verificar, Actuar] usando métodos analíticos (Skoog, West, Holler, & Crouch, 2010) de la norma NTC 2139 y herramientas estadísticas de la quimiometría (Miller & Miller, 2009) para el diseño de experimentos y el análisis de los resultados obtenidos. Las cuatro etapas del ciclo se desarrollaron como sigue:

Planear

Después de identificar el problema del contenido de hierro en hipoclorito de sodio, tomando como referencia datos históricos de los últimos cinco años, se realizó una revisión bibliográfica, se determinaron las variables que afectan la remoción de hierro en soluciones de hipoclorito de sodio y se plantearon varios diseños de experimentos multivariados (Miller & Miller, 2009) para lograr un bajo contenido de hierro teniendo en cuenta:

- el comportamiento del hierro en soluciones de hipoclorito de sodio,
- la selección del tratamiento con menor contenido de hierro en el filtrado,
- la determinación de la dosis óptima, y
- la selección de las mejores condiciones del método y estabilidad post tratamiento.

Hacer

Los ensayos se realizaron en el laboratorio de Quimpac S.A. Para la caracterización fisicoquímica de las muestras, se siguió la norma interna LH-013-1 basada en la Norma Técnica Colombiana NTC 2139.

Verificar

Se revisaron los resultados analíticos de las diferentes etapas planteadas, los cuales permitieron seleccionar el mejor tratamiento y las mejores condiciones del tratamiento fisicoquímico.

Actuar

Se documentó la remoción de hierro en soluciones de hipoclorito de sodio y se dieron las mejores condiciones del tratamiento. Finalmente, se probó el método para validar la estabilidad del hipoclorito de sodio post tratamiento.

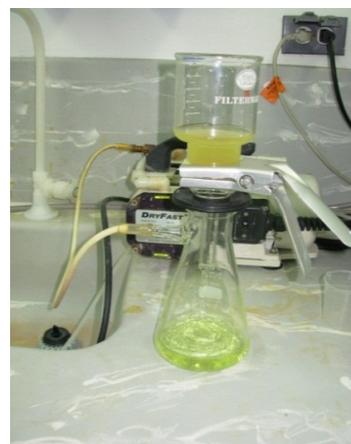
III. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de los diferentes ensayos se utilizó hipoclorito de sodio del proceso de producción, el cual fue dopado con 10 mg/L de hierro; la disminución de la alcalinidad se hizo por cloración y el incremento de la alcalinidad se hizo por adición de soda cáustica al 32%; para los tratamientos químicos se usó carbonato de sodio, óxido de magnesio y soluciones de cloruro de magnesio al 20% y cloruro de calcio al 20%.

Para la filtración de las muestras se empleó un sistema al vacío (*Wilmad lab glass*) con filtro de tamaño de poro de 1,5 micras, como lo muestra la Figura 1.

La cuantificación del hierro en las muestras se realizó en un espectrofotómetro Hach DR 3900 por el método con bipyridina, la cual forma con el metal un ion complejo de color rojo; la coloración de la solución formada obedece la ley de Lamber Beer (Skoog, Crouch, & Holler, 2012).

Figura 1. Filtración de hipoclorito de sodio



A. Comportamiento del hierro en hipoclorito de sodio al 15%

Se observó el comportamiento del hierro en hipoclorito de sodio al 15 %, con miras a un proceso de filtración que permita la remoción del hierro, para lo cual se concibió un diseño experimental bifactorial como se describe en la Tabla 1, en el cual uno de los factores fue la alcalinidad de las soluciones y el otro, el tiempo de reacción. Los ensayos se realizaron tres veces.

Tabla 1. Diseño experimental 3²

Factores	Niveles		
	Bajo	Medio	Alto
Tiempo (Horas)	24	48	72
Alcalinidad libre (%m/v NaOH)	0,2	0,5	1.0

B. Selección del mejor tratamiento fisicoquímico para la remoción de hierro

Se llevo a cabo una serie de experimentos para seleccionar el tratamiento químico con los mejores efectos en la remoción de hierro, para lo cual se realizaron ensayos sobre dos tipos de muestra: hipoclorito de sodio con alcalinidad típica del proceso y con alcalinidad baja. A continuación se resumen los seis tratamientos químicos ensayados para la remoción de hierro.

Tratamiento 1: con óxido de magnesio

A 200 mL de hipoclorito de sodio con 10 m/L de hierro, se adicionaron, lentamente y con agitación alta (1000 rpm) 0,12 g de óxido de magnesio; se continuó con un tiempo de una hora de reacción, con agitación moderada (600 rpm) y posteriormente con un proceso de filtración. Del filtrado se tomaron 10 mL para análisis de hierro.

Tratamiento 2: con carbonato de sodio y óxido de magnesio

Similar al tratamiento 1, pero adicionando primero carbonato de sodio y luego óxido de magnesio.

Tratamiento 3: con cloruro de magnesio

Similar al tratamiento 1, pero empleando únicamente cloruro de magnesio.

Tratamiento 4: con carbonato de sodio y cloruro de magnesio

Similar al tratamiento 2, pero empleando cloruro de magnesio en lugar de óxido de magnesio.

Tratamiento 5: con cloruro de calcio

Similar al tratamiento 1, pero empleando únicamente cloruro de calcio.

Tratamiento 6: con carbonato de sodio y cloruro de calcio

Similar al tratamiento 4, pero empleando cloruro de calcio en lugar de cloruro de magnesio.

C. Selección de la dosis óptima

El trabajo experimental anterior permitió establecer el mejor método en la remoción de hierro; ahora corresponde determinar la dosis adecuada, para lo cual se realizaron ensayos con cinco diferentes dosis: 200, 400, 600, 800 y 1000 ppm de cloruro de calcio.

D. Selección de las mejores condiciones del método

Se continuó con la determinación de las condiciones óptimas, para lo cual se planeó un diseño de experimento 2³ (3 réplicas) como se describe en la Tabla 2, dejando como variables el tiempo de reacción, la alcalinidad y la velocidad de agitación.

Tabla 2. Determinación de las mejores condiciones del método

Factores	Niveles	
	Bajo	Alto
Tiempo (Horas)	1	2
Alcalinidad libre(%m/v NaOH)	0,05	0,2
Agitación (rpm)	600	1500

E. Estabilidad post tratamiento

Se realizaron ensayos con el fin de determinar el comportamiento de las muestras en el tiempo, después del tratamiento y la posterior reposición del nivel de alcalinidad, tomando como variable de respuesta la concentración de la solución.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Comportamiento del hierro en hipoclorito de sodio al 15%

El análisis de varianza, con un 95% de confianza de la función de respuesta –en este caso, el contenido de hierro medido al producto filtrado– se muestra en la Tabla 3.

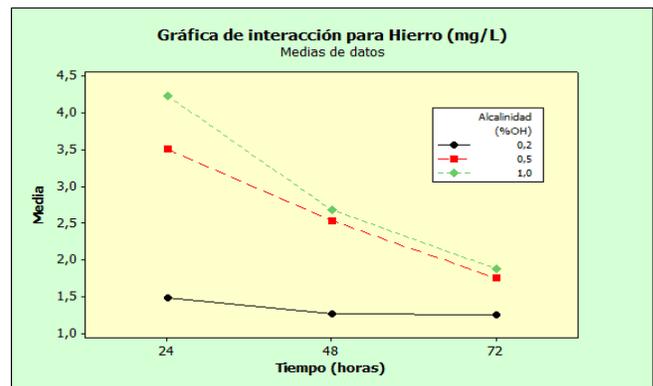
Tabla 3. Anova del comportamiento de remoción de hierro

Fuente	GL	SC	MC	F	P
Alcalinidad (%p/v OH)	2	11,4242	5,71210	2545,00	0,000
Tiempo (Horas)	2	9,6894	4,84471	2158,54	0,000
Interacción	4	3,7158	0,92896	413,89	0,000
Error	18	0,0404	0,00224		
Total	26	24,8699			

S = 0,04738 R-cuad. = 99,84% R-cuad. (ajustado) = 99,77%

Se observa en esta tabla que los factores tiempo y alcalinidad tienen efecto sobre la remoción de hierro porque el valor de p (0,00) es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05 (5%). Además, existe una interacción entre los factores tiempo y alcalinidad.

Figura 2. Interacciones de los factores para hierro



En la Figura 2 se puede observar que los mejores resultados fueron obtenidos en las muestras con un contenido de alcalinidad libre de 0,2 %p/v como NaOH aproximadamente; además el efecto del tiempo de reacción sobre la remoción de hierro no fue tan significativo en las muestras con un contenido de alcalinidad libre bajo (0,2 %p/v NaOH), como se observa en las muestras con un contenido de alcalinidad libre mayores a 0,5 %p/v de NaOH.

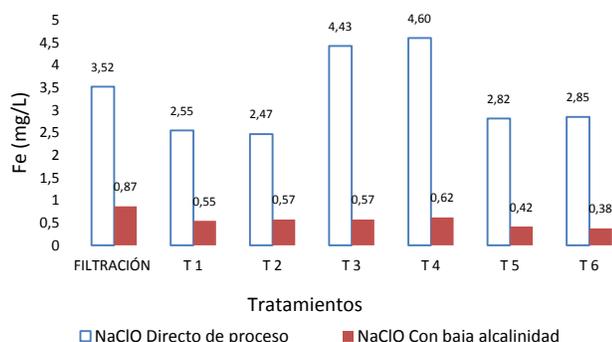
B. Selección del mejor tratamiento químico para la remoción de hierro

Los resultados obtenidos se presentan en la Figura 3; en ella se puede observar que la remoción de hierro para la

muestra N° 1 (hipoclorito de sodio con alta alcalinidad) fue pobre. El tratamiento 2 mostró el valor más bajo de hierro (2,47 mg/L), un valor muy lejano de la especificación interna de 1 mg/L de hierro total. Además, los tratamientos 1 y 2 presentaron turbidez en el filtrado y los tratamientos 3 y 4 presentaron dificultad en el proceso de filtración.

Se puede observar que los mejores resultados fueron obtenidos para la muestra N° 2 (hipoclorito de sodio con baja alcalinidad libre), los cuales mostraron una gran disminución del contenido de hierro después de la filtración por debajo de 0,62 mg/L, siendo los tratamientos 5 y 6 los más efectivos en la remoción de hierro.

Figura 3. Remoción de hierro vs tratamiento químico



Para determinar si existen diferencias significativas entre los tratamientos 5 y 6, se realizó una prueba t con un nivel de confianza del 95 %. En la Tabla 4 se presentan los resultados; en ella se observa que el t calculado (1.6) es menor que el t teórico (2.13), por lo que se concluye que las dos metodologías no presentan diferencias significativas en sus resultados; se elige entonces el tratamiento de la muestra N°2 (hipoclorito de sodio con baja alcalinidad libre, disminución del pH) y el Tratamiento 5 (con la adición de cloruro de calcio).

Tabla 4. Prueba t para dos muestras para la remoción de hierro

	Tratamiento 5	Tratamiento 6
Media	0,41667	0,37667
Varianza	0,00093	0,00093
Observaciones	3	3
Diferencia hipotética de las medias		0
Grados de libertad		4
Estadístico t		1,60
P(T<=t) una cola		0,092
Valor crítico de t (una cola)		2,13

C. Selección de la dosis óptima

Este ciclo de experimentos se realizó según el tratamiento 5 con el objeto de establecer la dosis óptima de cloruro de calcio para la remoción de hierro.

Los resultados obtenidos de dosis óptima se presentan en la Figura 4, la cual presenta el efecto de la adición de cloruro de calcio en la remoción de hierro después del tratamiento. El análisis de varianza, con un 95% de confianza para la remoción de hierro por filtración usando el tratamiento 5, se muestra en la Tabla 5.

Figura 4. Dosis óptima de cloruro de calcio CaCl₂

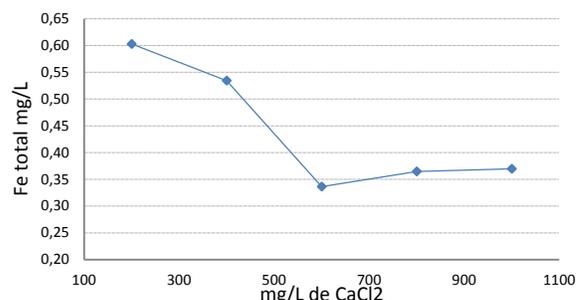


Tabla 5. Anova de dosis óptima de cloruro de calcio

ANOVA unidireccional: Hierro (mg/L) vs. CaCl₂ (mg/L)

Fuente	GL	SC	MC	F	P
CaCl ₂ (mg/L)	4	0,172627	0,043157	78,95	0,000
Error	10	0,5467	0,000547		
Total	14	0,178093			

S = 0,02338 R-cuad. = 96,93% R-cuad.(ajustado) = 95,70%

De acuerdo con estos resultados se concluye que el factor dosis de cloruro de calcio sí tiene un efecto sobre la remoción de hierro, porque el valor de p es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05 (5%); sin embargo, en este análisis no se puede determinar de manera específica si todos los valores son diferentes. En vista de lo anterior, se realizó una prueba de Tukey que permitiera determinar cuáles contenidos de hierro presentan diferencias significativas. Sus resultados mostraron que un tratamiento con 800 mg/L de cloruro de calcio para la remoción de hierro es suficiente y no se requieren valores superiores a éstos, ya que estadísticamente no habría una diferencia significativa.

D. Selección de las mejores condiciones del método

La Tabla 6 muestra los resultados del diseño del experimento 2³, en el cual los factores fueron la alcalinidad libre, y los tiempos de reacción y agitación.

Tabla 6. Resultados de las mejores condiciones del método

Nº	Tiempo (horas)	Alcalinidad Libre (%p/v)	Agitación (rpm)	Réplicas			Estadística básica		
				Réplica 1 Fe (mg/L)	Réplica 2 Fe (mg/L)	Réplica 3 Fe (mg/L)	Media	Desv. Std	% CV
1	1	0,05	600	0,3	0,29	0,33	0,31	0,021	6,80
2	2	0,05	600	0,27	0,29	0,32	0,29	0,025	8,60
3	1	0,05	1500	0,38	0,39	0,36	0,38	0,015	4,06
4	2	0,05	1500	0,41	0,38	0,39	0,39	0,015	3,89
5	1	0,19	600	1,61	1,59	1,55	1,58	0,031	1,93
6	2	0,19	600	1,72	1,7	1,68	1,70	0,020	1,18
7	1	0,19	1500	1,61	1,63	1,62	1,62	0,010	0,62
8	2	0,19	1500	1,62	1,65	1,63	1,63	0,015	0,94

El análisis de varianza, con 95% de confianza de la función respuesta –en este caso es el contenido de hierro medido al producto filtrado– se muestra en la Tabla 7.

t = Tiempo de agitación o de reacción (horas)
 a = Alcalinidad libre como % p/v de NaOH
 b = Velocidad de agitación (rpm)

Tabla 7. Anova de condiciones óptimas para remoción de hierro

Análisis de varianza para Hierro (mg/L), utilizando SC ajustada para pruebas

Fuente	GL	SC sec.	SC ajust.	MC ajust.
Tiempo (Horas)	1	0,0067	0,0067	0,0067
Alcalinidad (%p/v)	1	10,0104	10,0104	10,0104
Agitación (rpm)	1	0,0073	0,0073	0,0073
Error	20	0,0361	0,0361	0,0018
Total	23	10,0605		

S = 0,0424853 R-cuad. = 99,64% R-cuad. (ajustado) = 99,59%

De acuerdo con estos resultados el factor alcalinidad tiene un efecto sobre la remoción de hierro, porque el valor de p es inferior al nivel de significancia establecido de 0.05 (5%), mientras que los factores tiempo y agitación no, ya que los valores de p (0,069 para el tiempo y 0,057 para la agitación), son mayores al nivel de significancia establecido de 0,05.

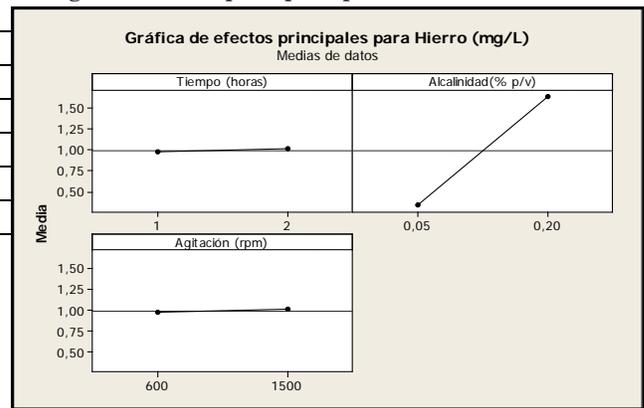
En la Figura 5 se puede evidenciar que un cambio de un valor bajo de alcalinidad tiene un gran efecto sobre el proceso de remoción de hierro por filtración, mientras que los cambios en el tiempo de reacción y en la agitación no tiene un efecto muy significativo dentro de los niveles de experimentación establecidos.

El análisis de regresión permitió obtener el siguiente modelo (ver Ecuación 1) para remoción de hierro en hipoclorito de sodio al 15%.

$$\text{Hierro (mg/L)} = -0,179 + 0,0333t + 8,61a + 0,000039b \quad (1)$$

Donde:

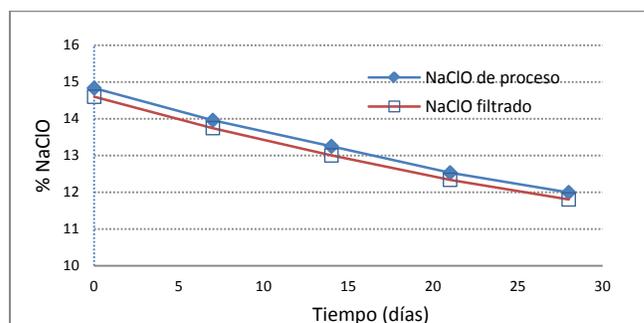
Figura 5. Efectos principales para la remoción de hierro



E. Estabilidad del producto post-tratamiento

La Figura 6 muestra la tendencia de la pérdida de la concentración en las muestras a medida que transcurre el tiempo, pero no da información acerca de su varianza. Se realizó una prueba de igualdad de varianzas y el análisis mostró que no hay diferencias estadísticas entre los tipos de muestra.

Figura 6. Efecto del tiempo en la concentración de hipoclorito de sodio



F. Impactos logrados

Se obtienen impactos en los niveles técnico, cultural, económico y ambiental, así:

- Técnico: se muestra una metodología confiable para la remoción de hierro en hipoclorito de sodio.
- Cultural: se cambia el viejo concepto que el hipoclorito de sodio contaminado con hierro es un residuo; además, se muestra la importancia de la simbiosis Industria-Universidad en la solución de problemas prácticos.
- Económico: se logra eliminar el incremento de algunos costos tanto tangibles como no tangibles.
- Ambiental: se mejora la calidad de los efluentes al eliminar una fuente de descarga de residuos.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

El trabajo realizado permite concluir que:

- el tiempo de almacenamiento (tiempo de reacción), incrementa la eficiencia de la remoción de hierro por filtración;
- la disminución del contenido de alcalinidad de la solución de hipoclorito de sodio incrementa la remoción de hierro;
- el tratamiento compuesto por la reducción del contenido de la alcalinidad libre, mediante cloración a valores de 0,05 %p/v (pH cercano a 10), la adición de cloruro de calcio y un proceso de filtración, permiten la remoción de hierro en hipoclorito de sodio a valores típicos menores de 0,5 mg/L; y
- los mejores resultados para la remoción de hierro se obtienen con una alcalinidad de 0,05 p/v como NaOH, una dosis de 800 mg/L de cloruro de calcio, y con una hora de agitación a 600 rpm.

Con base en los resultados obtenidos se recomienda:

- la reposición de la alcalinidad a valores de 0,6% p/v con soda cáustica inmediatamente después del tratamiento para incrementar la estabilidad; y
- estudiar la aplicabilidad del método propuesto en la remoción de cobre y níquel, ya que, según la literatura tienen un fuerte efecto catalizador en la descomposición de las soluciones de hipoclorito de sodio.

VI. REFERENCIAS

- Chlorine Institute. (2008). *Sodium hypochlorite manual* [Pamphlet 96]. Arlington, VA: CI
- Espindola, Z.Y. & Fernández V.G.(1994). *Procesos físicoquímicos para estabilización de residuos peligrosos* [Cuadernos de Investigación N°3]. México D.F., México: Centro de Prevención de desastres.
- Gordon, G. (1996). *Bleach stability and filtration*. AWWA Water Quality Technology Conference. 17-21 November, 1996, Boston, USA.
- Icontec.(2005) *Norma NTC 2139 Productos Químicos para Uso Industrial, Hipoclorito de Sodio*. Colombia.1-11, 2005.
- Miller J.N. & Miller J.C. (2009). *Estadística y quimiometría para química analítica* [4a ed.]. Madrid, España: Prentice Hall.
- Skoog, D., Skoog, A., Crouch, S. R. & Holler, F.J.(2012). *Principios de Análisis Instrumental*. McGraw -Hill. Sexta Edición.2012.
- Skoog, D.A., West, D. M., Holler, F. J. & Crouch, S. R. (2010). *Química Analítica* [8a ed.]. Madrid, España: McGraw- Hill.
- Tilak, B. (1994). *Sodium Hypochlorite: it's Chemistry and Stability*. New York, NY: Occidental Chemical Corporation

CURRÍCULOS

Hoover Abril Vargas. Tecnólogo Químico Universidad del Quindío; Químico Universidad Santiago de Cali. Diplomado en Metrología Universidad del Valle. Técnico HASMAT(Manejo de Sustancias Peligrosas). Trece años de experiencia en la industria cloro soda en las áreas de Calidad y Producción. Interés en investigación de nuevos productos de la industria cloro soda y en la administración de la producción.

Guillermo Garzón García. Químico Universidad Nacional de Colombia; M.Sc. Purdue University, Estados Unidos; Ph.D. Northwestern University, Estados Unidos; Posdoctorado Texas A&M University, Estados Unidos; Especialista en Administración de la Calidad Total y la Productividad, Universidad del Valle, Colombia. Profesor de Dedicación Exclusiva de la Facultad de Ciencias Básicas, Programa de Química, Universidad Santiago de Cali. Amplia experiencia investigativa en Síntesis Inorgánica, Química Organometálica y Aseguramiento de la Calidad. Director del Grupo de Investigación en Aseguramiento de la Calidad, GIASCA; pertenece al grupo de Investigación en Biotecnología, Medio Ambiente y Catálisis, GIBMACA y al Grupo de Estudio en Química Inorgánica y Supramolecular, GEQUIS. Coordinador del Centro de Investigaciones en Ciencias Básicas, Ambientales y Desarrollo Tecnológico, CICBA.