

SÍNTESIS DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE RESIDUOS SÓLIDOS CONTAMINADOS CON Cr (VI)

Jesús Miguel Zamudio Lara (1), Héctor Hernández Escoto (2)

1 [Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [jmz105@hotmail.com]

2 [Departamento de Ingeniería Química, División de Ciencias Naturales y Exactas, Campus Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | Dirección de correo electrónico: [hhee@me.com]

Resumen

En este trabajo se costearon diseños básicos de plantas de tratamiento de agua contaminadas con Cr(VI). Para ello se supuso cierto volumen con cierta "alta" concentración de Cr(VI) de efluente a limpiar, y se supuso que se tiene un proceso de reducción de Cr(VI) a Cr(III) con cierta capacidad, y para cada uno de los diversos escenarios se plantearon diferentes configuraciones de planta. A las diversas configuraciones se evaluó el costo, y en base a esto se puede visualizar cómo varía la configuración de plantas de tratamiento y su costo de acuerdo a las diferentes capacidades del proceso y del volumen. De las tendencias de costos se puede decir que el factor más importante en el costo de una planta de tratamiento corresponde a la capacidad de reducción de Cr(VI) a Cr(III) del proceso.

Abstract

In this paper, basic designs of water treatment plants contaminated with Cr (VI) were costed. For this, certain volume of effluent to treat was assumed with some "high" concentration of Cr (VI), and it was assumed that we have a process of reduction of Cr (VI) to Cr (III) with some capacity, and for every scenario, different plant configurations were set. The cost for every configuration was evaluated; based on the results, the variation of the treatment plant configuration and cost can be displayed according to different processing capabilities and volume. According cost trends can be said that the most important in the cost of treatment plant is related to the capacity of reduction of Cr(VI) to Cr(III) of the process.

Palabras Clave

Planta de tratamiento de agua, Reducción de Cr(VI) a Cr(III) , Costo de inversión, dimensionamiento de equipo, Síntesis de plantas

INTRODUCCIÓN

El cromo es un metal de transición localizado en el grupo VI-B de la tabla periódica. Aunque es capaz de existir en varios estados de oxidación, las formas más estables y comunes son el Cr(III) y Cr(VI) las cuales presentan propiedades muy diferentes. Cr(VI), considerado como la forma más tóxica del cromo, está usualmente asociado con oxígeno como iones cromato (CrO_4^{2-}) o iones dicromato ($Cr_2O_7^{2-}$). En contraste, Cr(III) en la forma de óxidos, hidróxidos o sulfatos, es mucho menos móvil y existe mayormente ligado a materia orgánica en suelos y ambientes acuáticos. [1]

Los compuestos de cromo pueden ocurrir como contaminantes presentes en aguas subterráneas, suelos y efluentes industriales debido a su amplio uso en varias industrias como curtidoras, producción de acero inoxidable, galvanoplastia y preservadores de madera. El cromo está presente en suelos y sedimentos principalmente en dos estados de oxidación: Cr(III) y Cr(VI). El cromo (VI) es altamente tóxico para todos los organismos vivos y es mutagénico y carcinógeno en animales. Debido a su solubilidad, se mueve rápidamente en sistemas acuáticos. Por otra parte, el cromo (III) es considerado no tóxico y es un metal traza esencial en la nutrición humana. [2]

Actualmente se están realizando investigaciones que involucran procesos químicos, electroquímicos [3] y biológicos [4] para reducir el Cr(VI) a Cr(III) obteniendo buenos resultados, a tal grado de querer escalarlos a nivel industrial para remover el Cr(VI) contenido en los efluentes de las industrias antes mencionadas. En el caso del estado de Guanajuato, las industrias de productos químicos y las empresas curtidoras son casos de industrias que presentan graves problemas con estos desechos y que no tienen particular cuidado en los residuos que tiran al desagüe.

El actual trabajo plantea un sistema donde se tiene un efluente inicial contaminado con una cantidad considerable de Cr(VI) el cual se desea reducir a Cr(III). Ya que la capacidad de cualquier proceso de reducción de Cr(VI) a Cr(III) es limitada y mucho menor a la de la concentración del efluente

considerado, se considera una configuración de planta que consiste en una primera fase de dilución y una segunda fase de proceso (Figura 1).

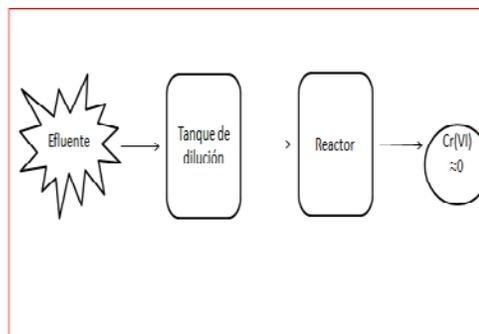


Figura 1. Proceso de reducción de Cr(VI) a Cr(III) de un efluente contaminado

Se desea encontrar una configuración con n número de tanques de dilución y m reactores que sea la de menor costo, para esto se exploran diferentes volúmenes de efluentes a tratar así como diferentes capacidades de reducción del proceso.

MATERIALES Y MÉTODOS

El problema planteado considera inicialmente un efluente contaminado con Cr(VI) el cual es de 1000 L y una concentración de 2000 ppm, este efluente pasará a un tanque de dilución donde se le disminuirá la concentración del efluente, diluyéndolo con agua hasta alcanzar la capacidad de reducción del proceso en el cual se tratará. Esta dilución nos dará un volumen total lo que se tomó en cuenta para el dimensionamiento del tanque de dilución y así sacar el costo del mismo. Después del tanque de dilución, el volumen total de efluente diluido se pasará a un reactor donde se llevará a cabo una reacción de reducción. Las dimensiones de este reactor estarán dadas por el volumen de efluente que proviene del tanque de dilución. De igual manera se obtendrán los costos para el reactor.

Para la obtención de los costos de estos equipos se utilizó el método de Guthrie [5], el cual se implementó en Microsoft Excel. El método de Guthrie consiste en obtener un costo base (C_b) dependiendo de las dimensiones (altura y

diámetro) del recipiente del que se quiere obtener el costo, el costo base se obtiene mediante gráficas, este costo está basado en el año 1968. Las gráficas utilizadas se encuentran en el libro de la referencia [5]

Con la ecuación (1) se obtiene un costo base ajustado por el factor de material de construcción (F_m) y factor de presión (F_p).

$$C_{fob} = C_b * F_m * F_p \quad (1)$$

Para obtener el costo del módulo (equipo) se utiliza un factor de módulo desnudo dependiendo si el recipiente es vertical u horizontal, éste se multiplica por el costo base obtenido de gráficas. El costo obtenido de la ecuación (2) se utiliza en la ecuación (3) para encontrar el costo de la unidad.

$$C_{md} = C_b * \text{Factor de módulo} \quad (2)$$

$$C_{mda} = C_{md} + (C_{fob} - C_b) \quad (3)$$

Luego se ajusta el costo obtenido en ecuación (3) hacia el año deseado usando índices de costos reportados en diversidad revistas (p.e. Chemical Engineering). Este ajuste se da por la ecuación (4)

$$C_{mdam} = C_{mda} * \left(\frac{\text{Índice año deseado}}{\text{Índice año 1968}} \right) \quad (4)$$

Por último, se le añade un 15% al costo obtenido en la ecuación (4) y esto nos da el costo del equipo que se desea, ecuación (5).

$$C_{equipo} = 1.15 * C_{mdam} \quad (5)$$

Determinación de la relación tanque de dilución/reactor

Se requiere un primer paso de determinar la relación Tanque de dilución/Reactor que implicará el menor costo de inversión con las características de un efluente inicial contaminado de 1000 L con una concentración de Cr(VI) de 2000 ppm y teniendo en cuenta que el proceso sólo es capaz de reducir 50 ppm.

Para el cálculo de las dimensiones de los equipos se tomó en cuenta el volumen inicial a tratar así como la concentración que se tiene y la capacidad de reducción del proceso. Así primero se obtuvo

un volumen donde la concentración inicial fue diluida hasta las 50 ppm. Para obtener la altura (h) y el diámetro (d) se utilizó una relación $h/d=2$ y se utilizó la ecuación (6).

$$h = \sqrt[3]{\frac{16 * V}{\pi}} \quad (6)$$

La mejor relación, entonces, será la que dé un costo menor de inversión.

Con la relación encontrada se hizo la segunda parte del trabajo, en el cual se modificarán los volúmenes de los efluentes y la capacidad reductora del proceso para estudiar diferentes configuraciones y encontrar las características de las configuraciones que requieran de una menor inversión.

Variación de volumen de efluente contaminado y capacidad de reducción de Cr (VI) del proceso

Una vez obtenida la mejor relación de tanque de dilución/reactor, se procedió a encontrar los costos de diferentes configuraciones empleando la relación 1:1. Las diferentes configuraciones fueron dadas por la capacidad de reducción del proceso y por el volumen de efluente contaminado, en litros, a tratar.

Se hizo una variación de la capacidad de reducción del proceso desde 50 ppm hasta 500 ppm en intervalos de 50 ppm. Para cada uno de esos valores, se varió el volumen de efluente contaminado desde 1000 L hasta 10000 L, la concentración de Cromo (VI) presente en el efluente original siempre fue considerada de 2000 ppm.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación de la relación tanque de dilución/reactor

La Tabla 1 muestra los resultados obtenidos del primer ejercicio para encontrar la relación tanque de dilución/reactor de menor costo. Se encontró

que la relación 1:1 es la que nos dará configuración deseada ya que es la que necesita de un menor costo de inversión en tanques.

Tabla 1. Costos en base a la relación tanque de dilución/Reactor

# equipos	# Tanque	# Reactor	Costo (\$)
2	1	1	782384
3	1	2	838268
4	1	3	936066
5	1	4	1039453
6	1	5	1033864
7	1	6	1061807
8	1	7	1134457
9	1	8	1128868
10	1	9	1170782
11	1	10	1229460

Variación de volumen de efluente contaminado y capacidad de reducción de Cr(VI) del proceso

En la Figura 2 se muestra el comportamiento del costo para cada configuración encontrada mediante la variación de la capacidad reductora del proceso y el volumen contaminado inicial. Se puede observar que el costo de inversión aumenta al incrementar el volumen de efluente a tratar además de que disminuye si la capacidad reductora del proceso aumenta. De 50 ppm a 300 ppm el costo de inversión varía demasiado, pero a partir de las 300 ppm no existe una diferencia significativa en estos costos por lo que un sistema en el cual se tenga un proceso que sea capaz de reducir 300 ppm sería suficiente.

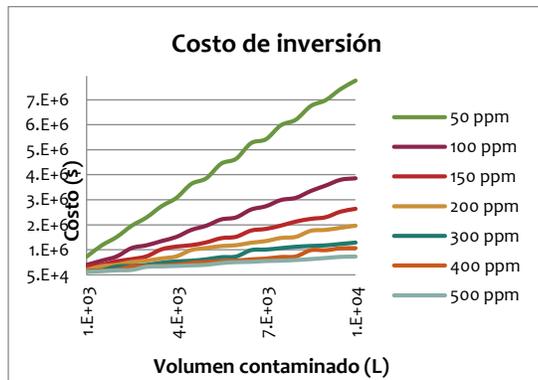


Figura 2. Costo de inversión para cada configuración

En la Figura 3 se aprecia mejor la tendencia de disminución de los costos conforme se va aumentando la capacidad que tiene el proceso de reducir al Cromo (VI) y como al llegar a 300 ppm no hay un decremento significativo en los costos de inversión, esto se puede apreciar por el área en color verde oscuro.

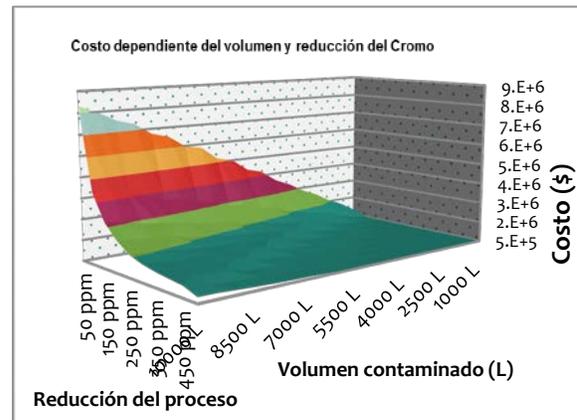


Figura 3. Influencia del volumen y capacidad reductora de proceso en el costo de inversión.

En la Figura 4 se muestra el número de equipos (tanques de dilución y reactores) que deben instalarse para poder reducir la cantidad de cromo presente (2000 ppm) en cada uno de los efluentes, de igual manera sirve para reforzar las tendencias vistas en la Figura 3, en el cual vemos que los menores costos de inversión para sistemas con un proceso capaz de reducir 300 ppm o más son debido a que la configuración contiene menos equipos gracias a esta eficiencia de reducción que presenta el proceso.

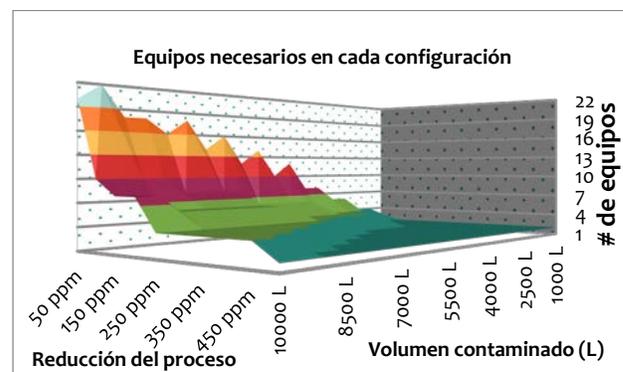


Figura 4. Influencia del volumen y capacidad reductora del proceso en el número de equipos de cada configuración.

CONCLUSIONES

Del trabajo realizado se puede concluir primeramente que las configuraciones con menores costos de inversión serán las que contengan una relación de tanques de dilución y reactores de 1:1.

Teniendo en cuenta lo anterior, se encontró que los costos de inversión se veían afectados tanto por la capacidad reductora del proceso y los volúmenes iniciales de efluentes a tratar. Esto se puede ver en la cantidad de equipos que se emplean en cada configuración, cuándo la capacidad reductora es mínima y se tiene un efluente grande, el costo es alto. No así cuando se tiene un proceso donde la capacidad reductora es de 300 ppm o mayor donde ya es un costo de inversión más bajo, además de que a partir de 300 ppm los costos de inversión no varían demasiado con respecto a 400 ppm, 500 ppm y así sucesivamente. En cambio cuando son menores de 300 ppm si existe una diferencia en los costos de inversión.

Así pues se encontraron diferentes configuraciones con costos bajos de inversión que pueden ser ofertadas a las industrias dependiendo de lo que demanden y con el espacio con que cuenten.

En un trabajo futuro se evaluarán las configuraciones con respecto al tiempo, con esto se pasará de tener un sistema batch a un sistema en continuo.

REFERENCIAS

[1] Cervantes, A., Campos-García, J., Devars, S., Gutiérrez-Corona, F., Loza-Tavera, H., Torres-Guzmán, J. C., Moreno-Sánchez, R. (2001). Interactions of chromium with microorganisms and plants. *FEMS MICROBIOLOGY Reviews*, volumen 25, pp. 335-347.

[2] Coreño-Alonso, A., Acevedo-Aguilar, F. J., Reyna-López, G. E., Tomasini, A., Fernández, F., Wrobel, K., Wrobel, K., Gutiérrez-Corona, F. (2009). Cr(VI) reduction by an *Aspergillus tubingensis* strain: Role of carboxylic acids and implications for natural attenuation and biotreatment of Cr(VI) contamination. *Chemosphere*, volumen 76, pp. 43-47.

[3] Campos Medina, E., Barrera Díaz, C. E., Ureña Nuñez, F., Roa Morales, G., (2009). Remoción de Cr(VI)-DFC, Cr(III) y Fe(III) generados electroquímicamente en soluciones acuosas, por medio de ectodermis de opunta.

[4] Acevedo-Aguilar, F. J., Espino-Saldaña, A. E., Leon-Rodríguez, I. L., Rivera-Cano, M.E., Avila-Rodríguez, M., Wrobel, K., Wrobel, K., Lappe, P., Ulloa, M., Gutiérrez-Corona, J.F (2006). Hexavalent Chromium removal in vitro and from industrial wastes, using chromate-resistant strains of filamentous fungi indigenous to contaminated wastes. *Can. J. Microbiol.*, volumen 52, pp.809-815

[5] Jiménez Gutiérrez, A. (2003). Diseño de procesos en ingeniería química. Celaya, Gto, editorial Reverté.