

ANÁLISIS ECONÓMICO PARA EL PROCESO DE ADSORCIÓN DE CROMO VI SOBRE ALÚMINA MODIFICADA

Rubio Campos Beatriz Eugenia (1), De la Rosa Rodríguez Carlos Eduardo (2), Gamiño Arroyo Zeferino (2), Solís Murillo Juan José (3), Sánchez Durán Alejandra (4) Díaz García Xiomara (5).

- 1 [Escuela de Nivel Medio Superior de Guanajuato, Universidad de Guanajuato] | [be.rubiocampos@ugto.mx]
2 [División de Ciencias Naturales y Exactas, Departamento en Ingeniería Química, Universidad de Guanajuato] | [er.rodriguez@ugto.mx]
3 [División de Arquitectura, Arte y Diseño, Departamento de Diseño, Universidad de Guanajuato] | [juanjose_99@hotmail.com]
4 [División de Ingenierías, Departamento en Ingeniería Civil, Universidad de Guanajuato] | [alesd.8715@gmail.com]
5 [Unidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Guanajuato, Instituto Politécnico Nacional] | [xiomara_diaz99@hotmail.com]
-

Resumen

En este trabajo se presenta el análisis económico del proceso de adsorción de cromo hexavalente sobre alúmina como material adsorbente, contenido en una columna en condiciones de flujo continuo. La metodología se basa en el método de Guthrie, que comienza con la estimación de un costo base en función del diámetro y altura de la columna empacada. Los resultados muestran que la columna requiere de 125 kg de alúmina para su empaquetamiento, correspondientes a 98.2 kg de hidróxido de sodio y 191.3 kg de hidróxido de aluminio como reactivos necesarios para la síntesis del material adsorbente. El estudio se efectúa en el año 2019 y la estimación económica para la construcción de la planta de tratamiento de agua residual para el año 2022.

Abstract

In this work, the economic analysis of a hexavalent chromium adsorption process on alumina as adsorbent material, contained into of a column in continuous

flux conditions is presented. The methodology is based on the Guthrie's method that begins with the estimation of base cost considering diameter and high of packed column. The results show that the column needs 125 kg of alumina, corresponding to 98.2 kg of sodium hydroxide and 191.3 kg of aluminum hydroxide, as reactivos for the synthesis of adsorbent material. This study has carried in 2019 and the economic estimation for the construction of the wastewater treatment plant to 2022.

Palabras clave: Alúmina, adsorción, cromo VI, método de Guthrie.

Introducción

En los efluentes de la industria cromadora, la concentración de cromo hexavalente (Cr VI), alcanza niveles de concentración que rebasa los límites establecidos por la norma oficial mexicana PROY-NOM-001-SEMARNAT-2017 (Diario Oficial de la Federación, 2018), cuyo valor es de 1.5 mg/L. El Cr (VI) es extremadamente

tóxico y en general sus compuestos son muy irritantes debido a su solubilidad en los tejidos [1].

Estudios previos para la adsorción del elemento utilizando materiales adsorbentes, mostraron que empleando alúmina se obtiene el 98% removido, considerado como un valor alto en comparación con otros materiales de alto costo [2].

Un proceso industrial, solamente tiene estabilidad en el mercado si su aspecto económico es favorable, por lo cual, es necesario diseñar dicho proceso en el cual deberán cumplirse tres fases: diseño preliminar, estudio pre-inversión y diseño final (ingeniería de detalle). El análisis económico de los procesos es un aspecto fundamental para la toma de decisiones porque permite comparar alternativas de diseño y de proyectos [3].

En este sentido, objetivo general de este trabajo es analizar el costo económico del proceso de adsorción de Cr VI sobre alúmina como material adsorbente de bajo costo, empleando una columna empacada de dicho material en condiciones de flujo continuo.

Marco teórico

El capital de inversión es la cantidad de dinero requerida para la construcción de una nueva planta o la modificación de una existente [4] y es el producto de la suma del capital fijo de inversión y el capital de trabajo. El primero se refiere al costo asociado con la construcción de la planta con todos los componentes necesarios para su operación [5] y el segundo involucra los costos requeridos para iniciar la operación de la planta y financiar los primeros meses antes de que las ganancias por las ventas del producto inicien.

Análisis económico de procesos

Las técnicas de estimación de los costes de capital se pueden clasificar atendiendo a los criterios o información empleados para su realización. Cuanta más información se disponga de la planta, más precisa será la estimación y, simultáneamente, más complicada de elaborar.

- Estimación en función del orden de magnitud

- Basada en información sobre costes de capital de plantas ya construidas.

- Se utilizan factores de cambio de escala apropiados para cada caso.

- Debe tenerse en cuenta la inflación

- Requiere simplemente de un diagrama de bloques de la planta

- +40% Coste estimado > Coste real
> -20% Coste estimado

- Estimación en función de los equipos o unidades principales de la planta

- Basada en una lista de los equipos o unidades principales del proceso (Bombas, compresores, turbinas, columnas, depósitos, reactores, hornos, quemadores e intercambiadores de calor).

- Cada equipo se dimensiona de forma somera y se estima su coste.

- La suma total de los costes de cada equipo se corrigen para determinar el coste total de la planta.

- Requiere del PFD de la instalación

- +30% Coste estimado > Coste real
> -20% Coste estimado

- Estimaciones preliminares

- Basada en un dimensionamiento más detallado de cada uno de los equipos de la instalación.

- Debe realizarse una primera distribución en planta de los equipos para estimar los costes de tuberías, instrumentación y servicios eléctricos.

- Debe incluirse una estimación de los costes de los equipos empleados por los servicios auxiliares.
- +25% Coste estimado > Coste real
- > -15% Coste estimado
- Estimaciones definitivas
 - Basadas en las especificaciones detalladas de cada equipo o unidad, servicios auxiliares, instrumentación, instalación eléctrica y servicios externos.
 - Requiere del PFD de la instalación, esquemas de los recipientes, diagramas auxiliares de tuberías (isométrico) y de disposición en planta y los P&ID preliminares.
 - +15% Coste estimado > Coste real
 - > -7% Coste estimado
- Estimaciones detalladas
 - Es necesario disponer de la ingeniería de detalle completa del proceso y todos los servicios auxiliares y externos.
 - Requiere de información de los suministradores sobre los costes definitivos de cada equipo principal.
 - Tras esta fase de estimación de costes, se puede pasar a la fase de construcción de la planta.
 - Son necesarios todos los diagramas realizados.
 - +6% Coste estimado > Coste real
 - > -4% Coste estimado

Materiales y métodos

Para la estimación de los costos, se realizó una búsqueda bibliográfica. Se empleó el método de Guthrie, el cual comienza con la estimación de un costo base en función de alguna dimensión del equipo. Este costo base implica el material de construcción del equipo, geometría base, presión de operación y un año base. Ese costo debe corregirse luego al incorporar los datos del material de construcción, geometría,

presión y año para la estimación del equipo deseado. El cálculo se dividió en tres partes y son las que se mencionan a continuación:

- a) Estimación del monto de inversión
- b) Costo de la materia prima
- c) Estimación del precio de venta

Estimación del monto de inversión

Para realizar el cálculo del costo base C_b , se empleó la ecuación:

$$C_b = 18.354e^{0.0495D}$$

donde D es el diámetro interno de la columna en metros. Dicha ecuación se obtuvo de la regresión de los gráficos del método de Guthrie para recipientes de proceso verticales, donde se considera una altura total de 15 m.

Se realizó el ajuste del costo por efecto de la geometría (C_{fob}), el cual implica que no se incluyen costos de transporte. Sin embargo, se consideran el material de construcción de la columna (acero al carbón) con un factor de ajuste material de recubrimiento $F_m=1$ y un factor de ajuste de presión $F_P=1$. Este cálculo se efectuó empleando la ecuación:

$$C_{fof} = C_b * F_m * F_P$$

Para determinar el costo de la torre, es necesario utilizar el factor del módulo, tomando en cuenta el tipo de equipo y geometría (para este caso se consideró un recipiente vertical) y que es igual a 4.34. Por lo tanto, se implementan las siguientes ecuaciones:

$$C_{md} = C_b * F_{mod}$$

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

Se hace ajuste del costo hacia el año deseado de construcción de la columna, usando los índices de costo (Chemical Engineering), 2019 al 2022.

$$C_{mda} = C_{mda} * (\text{índice año } 2) / (\text{índice año } 1)$$

Donde índice año 2= 713.59 e índice año 1= 672.31; éste último índice, se le añaden contingencias, y se recomienda un factor del 15%.

$C_{módulo} = 1.15 C_{mda}$

Finalmente, a este valor se le suma el costo del material adsorbente (alúmina) y el porcentaje requerido para el costo de aislamiento, mano de obra, instrumentación en controles, cañerías y tuberías, e instalaciones eléctricas.

Resultados y discusión

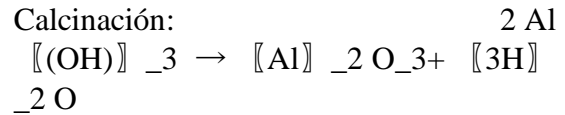
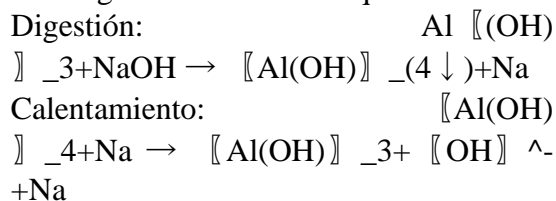
En la tabla 1, se muestran los resultados obtenidos para calcular el costo total de inversión, en donde se consideran los equipos, la mano de obra y servicios auxiliares como: instalaciones eléctricas, cañerías y tuberías.

Tabla 1. Costo total de inversión

Variables consideradas	Porcentaje
costo	
(%)	
Aislamiento (bomba)	10
Columna	25
Mano de obra	8
Instrumentación en controles	6
Cañerías y tuberías	20
Instalaciones eléctricas (instalación)	14
Adsorbente (alúmina)-	
Costo total de inversión	408 767.517
\$	

Costo de la materia prima

La columna requiere 125 kg de alúmina para su empaquetamiento, por lo cual, es necesario, determinar los costos de los reactivos que se determinaron de acuerdo a las siguientes reacciones químicas:



Los reactivos necesarios son: hidróxido de sodio e hidróxido de aluminio para la producción del material adsorbente. Los costos necesarios se reportan en la tabla 2. Tabla 2. Costo de la alúmina (material con el cual será empacada la columna).

Reactivo	Cantidad necesaria	Costo MX/kg	\$/kg
Hidróxido de sodio	98.201	24550.25	1272.693
Hidróxido de aluminio	191.319	121678.884	6307.873
T O T A L	146229.134	7580.566	

Estimación del precio de venta

Para realizar este cálculo, se emplearon las ecuaciones que se muestran a continuación:

$$P - i_{min} * I = 0$$

$$S = (P + C(1-t) + I(e-dI)) / (1-t)$$

$$R = S - C$$

$$p = QS$$

$$\$/p = Q$$

Donde:

P: beneficio neto

I: inversión total del proceso

i_{min} : beneficio mínimo establecido (valor preestablecido y que es igual a 0.035)

C: Costo de la materia prima

t: Tasa de impuestos (valor preestablecido y que es igual a 0.05)

e: Factor de depreciación para fines contables (igual a 0.1)

d: Factor de depreciación para fines de impuestos (igual a 0.1)

s: Ventas anuales

R: Beneficio bruto

Q: Volumen de producción anual del cromo

\$/: Costo total

Tabla 3. Costo de la alúmina (material con el cual será empacada la columna).

VARIABLES CALCULADAS	\$
<i>P</i>	14306.8631
<i>p</i>	6.73 x 10 ¹⁴
<i>I</i>	408767.517
<i>S</i>	3.34 x 10 ¹⁰
<i>R</i>	3.34 x 10 ¹⁰
<i>C</i>	7617.100729

Conclusiones

El método de Guthrie permitió realizar la estimación del análisis del costo del proceso de adsorción de Cr VI sobre alúmina en base a las dimensiones de la columna, que dependen de la relación entre el diámetro y altura de la misma.

Se determinaron las cantidades de reactivos necesarios para la síntesis del material adsorbente que se encuentra contenido en la columna en condiciones de flujo continuo, correspondiente a 125 kg de alúmina, requiriendo 98.2 kg de hidróxido de sodio y 191.3 de hidróxido de aluminio, partiendo de la cantidad de efluente que diariamente se trata en una industria de la galvanoplastia.

Agradecimientos

El presente trabajo de investigación fue realizado bajo la supervisión de la Dr. Beatriz Eugenia Rubio Campos, a quienes expresamos nuestro más profundo agradecimiento por hacer posible la realización de este estudio. Gracias por su apoyo.

Referencias

[1] Díaz, Y. Pájaro and F. (2012). Remoción de cromo hexavalente de aguas contaminadas usando quitosano obtenido

de exoesqueleto de camarón. Revista Colombiana de Química, 41(2), 283-297.

[2] Rubio, C. B. E. (2006). Modelo de adsorción de Cromo (VI) en una columna de aglomerados de alúmina modificada. Tesis.

[3] Seader, J.D., Henley, E.J. & Roper, D.K. (2010). Separation Process Principles: Chemical and Biochemical Operations. Tercera Edición, John Wiley & Sons, Inc.

[4] Turton, R., Bailie, R.C., Whiting, W.B. and Shaeiwitz, J.A. (1998) Analysis, Synthesis, and Design of Chemical Processes. Prentice Hall, Upper Saddle River.

[5] Jiménez-Gutiérrez, A. (2003). Diseño de Procesos en Ingeniería Química. Editorial Reverté, S. A. Primera Edición.