

CONDICIONES OPERACIONALES MÁS EFICIENTES EN EL TRATAMIENTO DE LA VINAZA MEDIANTE EL MÉTODO DE ELECTROCOAGULACIÓN

Elaine Ojeda Armaignac, Romelia Hing Cortón
Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente

En el presente trabajo se hace un análisis de las variables principales que influyen en el proceso de electrocoagulación a que es sometida la vinaza residual que se obtiene a partir del proceso de obtención de alcohol etílico, con el objetivo de obtener los sólidos presentes en la misma, los cuales pueden ser utilizados posteriormente como inhibidores de la corrosión y a la vez, se disminuye la agresividad de este residual.

El análisis de la influencia de las variables en el proceso de electrocoagulación, se desarrolló mediante un diseño de experimentos factorial 2^3 , considerando como variables: el pH de la vinaza, la intensidad de corriente y el tiempo de residencia, obteniéndose las combinaciones óptimas de estas variables que permiten mayor cantidad de sólidos en las variables respuestas: sólidos obtenidos en la espuma, y en el líquido. En este caso, las variables más significativas estadísticamente fueron el pH y la intensidad de corriente para los sólidos obtenidos en la espuma, y para los sólidos obtenidos en el líquido el pH y el tiempo, ninguna de las interacciones resultó significativa ni en los sólidos obtenidos en el líquido ni en los de la espuma. De éstos, se estudiaron los sólidos obtenidos en el líquido, corroborándose que se comportan como inhibidores orgánicos de adsorción, presentando eficiencias satisfactorias para el acero al cromo que fue el material metálico utilizado en este caso. Se hacen algunas recomendaciones de acuerdo a los resultados obtenidos.

Palabras clave: *electrocoagulación, inhibidores de corrosión.*

In this paper provides an analysis of key variables that influence the process of electrocoagulation is subject to the residual vinasse is obtained from the process of obtaining alcohol, to obtain solids present in the same, which can be used as corrosion inhibitors and at the same time, it reduces the aggressiveness of this residual.

The analysis of the influence of the variables in the process of electrocoagulation, was developed by a 2^3 factorial design of experiments, taking as variables: the pH of the vinasse, current and time of residence, obtaining the optimal combinations of these variables that allow greater amount of solid answers variables: solids obtained in the foam and liquid. In this case, the variables were statistically significant pH and the intensity of the strong current from the foam, and the solids from the liquid pH and time, none of the interactions was significant or solids obtained or in the liquid in the foam. Of these, we studied the solids from the liquid, corroborated that behave as inhibitors organic adsorption, introducing efficiencies satisfactory to the chrome steel metal material was used in this case. Recommendations have been made according to the results.

Key words: *electrocoagulation, corrosion inhibitors.*

Introducción

En la vida diaria con frecuencia se considera la corrosión de los metales como un problema industrial importante que se debe prevenir, y de esta forma evitar desechar los materiales metálicos o bien tener que limpiarlos o pintarlos frecuentemente para que puedan brindar un servicio durante más tiempo.

La corrosión es deterioro de carácter químico o electroquímico que experimentan los materiales metálicos al interactuar con el medio que los rodea. Sin embargo, hay que aclarar que la corrosión no es un hecho trivial, sino que, a nivel mundial, viene a ser uno de los fenómenos más trascendentales en la economía de toda sociedad humana.

Las pérdidas producidas por la corrosión se van más allá del marco puramente económico, alcanzando cuestiones relativas a la salud, la vida y al futuro de la humanidad. Por la magnitud y repercusión de este fenómeno tan perjudicial, en todas las esferas de la vida socio - económica de la nación, adquiere importancia decisiva en los procesos industriales que operan con fluidos y en condiciones de alta agresividad, por todo esto, se justifica el uso de métodos de protección contra la corrosión.

Uno de los métodos tradicionales más utilizados para disminuir la velocidad de corrosión, es el uso de inhibidores, que son sustancias que añadidas en pequeñas cantidades al medio corrosivo, disminuyen apreciablemente la velocidad de corrosión.

Algunos tipos de residuales contienen elementos que debido a sus propiedades anticorrosivas pueden ser usados para combatir este problema que afecta a nivel mundial.

En estudios anteriores se ha propuesto el uso de la vinaza de destilería, en la obtención de inhibidores ecológicos a partir de un proceso de electrocoagulación, teniendo en cuenta la rica composición que la misma posee, aunque todavía no tiene ninguna aplicación específica, por el contrario, contribuye a la contaminación de la bahía. En la actualidad se llevan a cabo investigaciones de este tipo, resolviéndose dos problemas de gran importancia para la sociedad, la contaminación del medio ambiente y la corrosión.

Objetivo general

Determinar las condiciones operacionales más eficientes para la separación de los sólidos presentes en el residual a través del método de electrocoagulación, analizando la influencia de las variables: pH de la vinaza a tratar, tiempo de residencia e intensidad de corriente, y sus combinaciones, que permita una mayor cantidad de sólidos mediante el proceso de electrocoagulación, evaluando el comportamiento de estos sólidos como inhibidores de la corrosión del acero al cromo en diferentes medios.

Materiales y métodos

La muestra tratada en el presente trabajo es el mosto, residual de la destilería Hatuey de la provincia Santiago de Cuba. La vinaza, como también se conoce, se obtiene del proceso de destilación de alcohol a partir de las mieles finales de la industria azucarera, y a una temperatura de 94 °C, es vertida directamente al río Yarayó.

Los electrodos utilizados en el proceso de electrocoagulación fueron de una aleación de aluminio, y además se utilizaron muestras de acero al cromo para evaluar los sólidos obtenidos en el líquido como inhibidores de la corrosión del mismo en medios ácidos, neutros y alcalinos mediante el método gravimétrico.

Para la obtención del sólido a partir de la vinaza se utilizó un electrocoagulador a escala de laboratorio el cual está compuesto por electrodos planos de aluminio. Para energizar el sistema se utilizó una fuente de corriente directa.

Al cabo de unos minutos después de ser energizado el sistema, comienzan a formarse en las proximidades de las placas positivas (ánodo), unos pequeños flóculos, los cuales van creciendo y pueden tener tres destinos:

1. Precipitar al fondo del equipo,
2. Incrustarse en las placas positivas
3. Ser arrastrados a la superficie del líquido, por las micro burbujas de hidrógeno y oxígeno, formándose una espuma.

Estos sólidos, son extraídos, secados, pesados y envasados.

Análisis estadístico

Con el objetivo de estudiar la influencia de las variables en el proceso de electrocoagulación, para obtener mayor cantidad de sólidos, los cuales serán posteriormente utilizados como inhibidores de corrosión, se desarrolló un diseño de experimentos factorial 2³, con el fin de planificar los mismos de la forma más racional posible, de manera que los datos obtenidos puedan ser procesados adecuadamente y que un análisis objetivo conduzca a deducciones aceptables del problema planteado.

Una vez realizado el diseño, se procede a analizar los resultados de la cantidad de sólidos, obtenidos en

el líquido y en la espuma, para la combinación de las variables experimentales, que aparecen en la tabla 1.

Tabla 1 Resultados de los sólidos obtenidos en el líquido y en la espuma con las variables analizadas

Exp. N°	t (min)	Intensidad (A)	pH	Cantidad de sólidos (g)	
				Líquido	Espuma
1	30	10	4,3	8,36	8,84
2	60	10	4,3	9,32	9,22
3	30	15	4,3	9,45	10,52
4	60	15	4,3	10,56	11,18
5	30	10	9	16,56	20,14
6	60	10	9	18,36	21,33
7	30	15	9	17,43	23,42
8	60	15	9	20,56	25,44
1*	30	10	4,3	9,14	9,52
2*	60	10	4,3	10,29	10,12
3*	30	15	4,3	9,62	12,89
4*	60	15	4,3	10,02	13,04
5*	30	10	9	17,74	21,63
6*	60	10	9	21,42	23,20
7*	30	15	9	19,12	25,49
8*	60	15	9	24,48	27,33

*: Réplica

El procesamiento de estos datos fue a través del programa STATGRAPHICS PLUS 5,1. Una vez eliminados los factores e interacciones que no tuvieron significación estadística, se obtienen los modelos matemáticos, los cuales, permiten conocer sobre la influencia que en general ofrecen los

factores en la variable respuesta, siendo en este caso, la cantidad de sólidos obtenidos en el líquido y en la espuma.

Los modelos matemáticos obtenidos para los sólidos del líquido y de la espuma respectivamente son los siguientes:

$$\text{sólidos en el líquido} = -2,52251 + 2,0859 \cdot \text{pH} + 0,0712917 \cdot \text{tiempo}$$

$$\text{sólidos en la espuma} = -9,24725 + 2,74282 \cdot \text{pH} + 0,64475 \cdot \text{Intensidad}$$

donde el tiempo está en minutos y la intensidad de corriente en amperes, obteniéndose en gramos los sólidos obtenidos en el líquido y en la espuma.

En todo el procesamiento estadístico, se observa que aunque la intensidad de corriente es importante en el proceso de electrocoagulación, no fue estadísticamente significativa en el rango analizado, pero al aumentar la misma, se incrementa el rendimiento de sólidos. Este resultado se debe a que con un incremento de la intensidad de corriente, los procesos de electrodo aumentan proporcionalmente a la misma, acelerándose el proceso de desprendimiento de gases, lo cual favorece el ascenso de los sólidos a la espuma y dificulta el proceso de coagulación - floculación. Esto se corrobora con el hecho de que se obtiene una mayor cantidad de sólidos en la espuma.

Las variables pH y tiempo fueron significativas estadísticamente, siendo el pH el que más significación presentó, ya que el pH es la variable más importante a tener en cuenta en un proceso de electrocoagulación, pues el pH está muy vinculado a la constante del producto de solubilidad (Kps) la cual debe disminuir al elevarse el mismo, lo que significa que los sólidos son más insolubles y por tanto se obtiene un mayor rendimiento.

El tiempo es una variable que también tiene influencia en el proceso, correspondiendo al máximo valor una mayor cantidad de sólidos, debido a que la velocidad de aglomeración de las partículas es proporcional al tiempo, por lo que se promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación.

Las interacciones entre las variables no fueron significativas, esto se debe a que en el rango escogido para el análisis de las variables estudiadas el proceso tiene un comportamiento lineal no llegando a obtenerse una zona de curvatura u óptimo.

Resultados los ensayos de corrosión

Estos ensayos se realizaron por el método de la pérdida en peso (gravimétrico) y para el desarrollo del mismo, se sometieron placas de acero al cromo, con bajo contenido de cromo, a diferentes medios: ácido, neutro y alcalino, sin inhibidor y con éste a diferentes concentraciones (0,05; 0,1 y 0,2 %).

En la tabla 2 se pueden observar los resultados de los ensayos de corrosión.

Al analizar los resultados de los ensayos de corrosión, se observa que en los experimentos donde no se usó inhibidor (concentración de inhibidor igual a 0), que a medida que aumenta el pH disminuye la velocidad de corrosión, ya que a altos valores de pH se promueven capas protectoras y a menor pH estas capas se disuelven. Estos ensayos presentan una buena estabilidad a la corrosión, según la tabla de escala de resistencia a la corrosión de los materiales metálicos, expuesta por Fontana (1986).

Utilizando los sólidos obtenidos por precipitación en el líquido como inhibidores, se puede observar que los mismos presentan eficiencias satisfactorias, ya que llevan la estabilidad a la corrosión de buena a excelente, y a mayor valor

Tabla 2. Resultados de los ensayos de corrosión

pH	Conc. del inh. (% peso)	DE (mm/año)	Eficiencia (%)	Estabilidad
3	0	0,195	0	Buena
3	0,05	0,0706	63,79	Excelente
3	0,1	0,0581	70,21	Excelente
3	0,2	0,0575	70,51	Excelente
7	0	0,171	0	Buena
7	0,05	0,0513	70,02	Excelente
7	0,1	0,0341	80,06	Excelente
7	0,2	0,0271	84,15	Excelente
9	0	0,1657	0	Buena
9	0,05	0,033	80,08	Excelente
9	0,1	0,0241	85,46	Excelente
9	0,2	0,0164	90,10	Sobresaliente

de pH y de concentración del inhibidor a sobresaliente.

Estos productos sólidos se comportan como inhibidores orgánicos de adsorción, ya que responden a la isoterma de Langmuir, al graficar eficiencia vs concentración del inhibidor. La mejor concentración de inhibidor es 0,1 %, ya que aunque se aumente este valor no aumenta considerablemente la eficiencia del inhibidor, ni la estabilidad del material en el medio, con la excepción del caso ya mencionado de pH=9 y mayor concentración de inhibidor.

El material metálico utilizado, es un material bastante resistente a los medios utilizados, por eso, aún sin inhibidor y a pH= 3 el comportamiento del mismo se califica como bueno, pero aún así, se evidencia el papel inhibidor de los sólidos utilizados.

Conclusiones

En base a los objetivos propuestos y los resultados obtenidos en este trabajo se puede arribar a las siguientes conclusiones:

1. Para los sólidos obtenidos en el líquido, el pH fue la variable que mayor influencia tuvo en la cantidad de sólidos, aunque el tiempo también

mostró un efecto significativo, alcanzándose la mayor cantidad de sólidos al mayor valor de pH y de tiempo. La intensidad de corriente no resultó significativa estadísticamente en el rango utilizado.

2. Para los sólidos obtenidos en el líquido y en la espuma, ninguna interacción entre las variables resultó significativa.
3. Para los sólidos obtenidos en la espuma, las variables pH e Intensidad de corriente fueron significativas, siendo el pH la variable de mayor importancia, alcanzándose la mayor cantidad de sólidos al mayor valor de pH y de intensidad de corriente. El tiempo no fue significativo estadísticamente en el rango utilizado.
4. Los sólidos obtenidos se comportan como inhibidores de la corrosión orgánicos de adsorción, presentando eficiencias satisfactorias en los medios utilizados frente al acero al cromo.

Nomenclatura

T: tiempo en minutos

I: intensidad de corriente en amperes

DE: Velocidad de corrosión en mm/año

Bibliografía

Revista ICIDCA, sobre los derivados de la caña de azúcar. N° 2. Vol. XXI, Empresa gráfica 04 Urselia Díaz Báez del Ministerio de Cultura, páginas 4, 5. 1987.

2. *Alternativas para Tratamiento y purificación del agua por el método de electrocoagulación.* <http://www.geocities.com/seofeo555/Q003.html?200612> Búsqueda: 11 de Marzo, 2008.
3. Andía Yolanda C, DE Vargas Lidia y Barrenechea Ada M. Tratamiento de agua: coagulación floculación. Perú 2000.
- 4 BOURZAC, Verónica y MESA, L. Obtención de inhibidores ecológicos de la corrosión por electrocoagulación de la vinaza. Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. 2006
5. Corrosión y control de la corrosión. Disponible en: <http://www.invdes.com.mx/html/corrosion.html>. Búsqueda: 3 de abril, 2008.
6. DÍAZ, A y PIÑIRÍ, N. Tratamiento de la vinaza por electrocoagulación. Trabajo de Diploma. Facultad de Ingeniería Química. Universidad de Oriente. 2007.
7. DOMÍNGUEZ, Jorge; CASTRO, Dulce; MATOS, Roger y HING, Romelia, Introducción a la Corrosión y Protección de Metales. Ediciones ENPES, La Habana, Cuba, 1987.
8. FONTANA, M.G and Greene, N.D. Corrosion Engineering. Mc Graw-Hill, 1967.
9. HING, Romelia C. Obtención de un inhibidor de la corrosión a partir de un mosto de la destilería. Revista Tecnología Química. Año 1 N° 1. 1980.
10. MORANTE, Gonzalo G. Electrocoagulación de aguas residuales. Revista colombiana de física, Volumen 34, No. 2. Universidad Nacional de Colombia sede Manizales. 2002.
11. Solo agua pura. Electrocoagulación. Contaminantes. Beneficios. Disponible en: <http://www.aquamanzi.com> Búsqueda: 11 de Marzo, 2008.