

# OBTENCIÓN DE INHIBIDORES ECOLÓGICOS DE LA CORROSIÓN POR ELECTROCOAGULACIÓN A PARTIR DE LA VINAZA

Elaine Ojeda Armaignac, Romelia Hing Cortón, Liliana Mesa Mesa, Verónica Bourzac  
Suárez

Universidad de Oriente

*El objetivo principal de este trabajo es el análisis de las variables que influyen en la obtención de sólidos, por el proceso de electrocoagulación, a partir de la vinaza, residual líquido procedente de la Destilería Hatuey, para ser empleados como inhibidores ecológicos de corrosión. La comprobación de los sólidos obtenidos del proceso de electrocoagulación fue realizada por el método gravimétrico, comportándose los mismos como inhibidores orgánicos de adsorción.*

*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: la temperatura de entrada, 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. Las tres variables estudiadas tuvieron influencia en los sólidos obtenidos en el líquido, alcanzándose los mayores valores de cantidad de sólidos para los mayores valores de tiempo e intensidad de corriente y menor valor de temperatura. Los sólidos obtenidos de la espuma no presentaron significación estadística, debido al rango de las variables seleccionado.*

**Palabras clave:** electrocoagulación, inhibidores de la corrosión, corrosión, vinaza.

*The principal objective of the present work is the analysis of the variables that have influence in getting solids by the process of electrocoagulation, starting from vinaza, liquid residual of the Hatuey Distillery, to be employed as ecological corrosion inhibitors. The comprobation of the solids obtained front the electrocoagulation process inhibitors was made by the gravimetric method, and the behaviour was as adsorption organic.*

*The analysis of the influence of variables in the electrocoagulation process was developed by means of a factorial experiments design  $2^3$ , considering as variables: the entrance temperature, the intensity of current and the residence time, obtaining the optimal combinations of these variables, that permit a greater quantity of solids in the answer variables: solids obtained in the foam, and the liquid. The three studied variables had influence in the obtained solids in the liquid, reaching the greatest values of solids obtained at the greatest values of time and current intensity and at the lowest value of temperature. The solids obtained from the foam did not present a statistical signification, due the selectioned variable range.*

**Key words:** electrocoagulation, corrosion inhibitors, corrosion, vinaza.

## Introducción

La corrosión es la acción química o electroquímica, lenta o acelerada de la naturaleza o el medio ambiente, que degrada y destruye los materiales.<sup>1/</sup> 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.

Uno de los métodos fundamentales para la pre-

vencción de la corrosión es la utilización de inhibidores, y éstos son productos químicos que reaccionan con una superficie metálica, dando a la misma cierto nivel de protección. A menudo, los inhibidores trabajan fijándose por adsorción en la superficie metálica, protegiéndola a través de la formación de una película.

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

La contaminación es uno de los problemas ambientales más relevantes que afectan a nuestro mundo, y surge cuando se produce un desequilibrio natural que cause efectos adversos en el hombre, en los animales y vegetales. /4/ Un ejemplo lo constituye la industria alcoholera cubana, que al verter sus efluentes (vinaza), trae consigo un alto poder contaminante en ríos y mares, provocando afectaciones al medio ambiente.

El Complejo Cervecería-Destilería “Hatuey”, es una de las industrias más perjudiciales al ambiente de la bahía santiaguera; la destilería de alcohol etílico de dicho complejo desecha uno de los residuales de mayor interés en la provincia de Santiago de Cuba, debido a que es uno de los contaminantes más agresivos al entorno marino santiaguero, y que a su vez contiene una serie de componentes de elevada importancia para la alimentación humana y animal, principalmente: proteínas, vitaminas, aminoácidos, entre otros.

Actualmente, el Departamento de Ingeniería Química está desarrollando investigaciones enmarcadas en la obtención de inhibidores ecológicos a partir de este residual, cuyo empleo es uno de los métodos más universales de combate anticorrosivo. En tal sentido, es necesario realizar la obtención buscando las condiciones óptimas y su mayor rendimiento.

La electrocoagulación es la opción distinta, económica y ambiental para reunir los estándares de descarga del tratamiento de desperdicio de agua y requerimientos de conformidad.

Los principales factores que influyen en la eficiencia del proceso de electrocoagulación son: pH, temperatura del agua, el tiempo de residencia, el material de los electrodos e intensidad de la corriente

Se requiere realizar un profundo estudio sobre la influencia que puede tener un cambio en la combinación de las variables que influyen en el

proceso de electrocoagulación, para obtener una mayor cantidad de sólidos inhibidores a partir de la vinaza de destilería, por lo que surge la necesidad de llevar a cabo esta investigación, la cual persigue los siguientes objetivos:

1. Analizar la influencia de las variables: temperatura de entrada, tiempo de residencia e intensidad de corriente, y sus combinaciones, que permita una mayor cantidad de sólidos mediante la electrocoagulación en un sistema estático.
2. Evaluar los sólidos obtenidos como inhibidores ecológicos de la corrosión.

## Materiales y métodos

Para la obtención del sólido a partir de la vinaza se diseñó un electrocoagulador a escala de laboratorio, el cual está compuesto por electrodos planos de aluminio aleado, dispuestos verticalmente. Los electrodos se energizaron utilizando una fuente de corriente directa, en la que se podía regular la corriente y el voltaje aplicado al sistema.

Al transcurrir el tiempo prefijado, se desenergiza el sistema, se remueve la espuma y se evacua el líquido a un recipiente.

A continuación, se remueve el sólido de la espuma y del líquido, se pone a secar y cuando se encuentra totalmente seco, se pesa y envasa.

Para la evaluación de los sólidos obtenidos en el líquido como inhibidores de la corrosión, se utilizó el método gravimétrico. En el desarrollo del mismo se usaron placas de acero al carbono expuestas a diferentes medios: ácido, neutro y alcalino, con diferentes concentraciones del inhibidor sólido (0,05; 0,1 y 0,2 %) a temperatura ambiente.

En la tabla 1 se puede observar a qué condiciones de trabajo corresponde cada experimento realizado.

Tabla 1  
Valores de pH y concentración para cada experimento

Concentración (%)	pH 3	pH 6	pH 9
0,00	1	2	3
0,05	4	5	6
0,10	7	8	9
0,20	10	11	12

Los resultados obtenidos para los ensayos de corrosión se pueden apreciar en la tabla 8.

Con el objetivo de estudiar la influencia de las variables en el proceso de electrocoagulación, para obtener mayor cantidad de sólidos con propiedades inhibitorias, se desarrolló un diseño de

experimentos factorial  $2^k$ . En los experimentos que se realizan en el proceso de electrocoagulación se consideraran las variables: temperatura de entrada, intensidad de corriente y el tiempo de exposición. Los niveles de las variables utilizadas en los experimentos se muestran en la tabla 2.

Tabla 2  
Niveles de las variables utilizados en el experimento

Variable independiente	Nivel inferior (- 1)	Nivel superior (+ 1)
X <sub>1</sub> : Temperatura (°C)	20	30
X <sub>2</sub> : Intensidad de la corriente (A)	5	10
X <sub>3</sub> : Tiempo de exposición (min)	20	30

## Resultados y discusiones

### Análisis estadístico

Una vez realizado el diseño, se procede a

analizar los resultados de la cantidad de sólidos, obtenidos de la espuma y del líquido, para la combinación de las variables experimentales, que aparecen en la tabla 3.

Tabla 3  
Resultados obtenidos de los sólidos de la espuma y del líquido con las variables analizadas

20	5	20	2,52	3,14
30	5	20	1,04	0,98
20	10	20	11,45	6,81
30	10	20	11,85	6,56
20	5	30	5,19	13,59
30	5	30	4,01	6,26
20	10	30	9,29	9,86
30	10	30	10,81	10,18
20	5	20	1,49	6,51
30	5	20	0,84	1,14
20	10	20	10,09	8,38
30	10	20	7,02	7,42
20	5	30	7,92	11,97
30	5	30	6,48	10,03
20	10	30	11,57	12,39

El procesamiento de estos datos fue a través del programa STATGRAPHICS PLUS 5.1. El intervalo de confianza escogido para este diseño es de un 95 % de probabilidad. En las tablas 4 y 5

se muestra el análisis de varianza, considerando todos los factores y las interacciones de éstos para la cantidad de sólidos obtenidos de la espuma y del líquido.

Tabla 4  
Análisis de la varianza para el sólido de la espuma

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio
P-Valor				
A:Temp 0,323 1	3,132 9	1	3,132 9	1,11
B:int 0,000 0	175,43	1	175,43	62,09
C:tiempo 0,020 5	23,425 6	1	23,425 6	8,29
AB 0,728 2	0,366 025	1	0,366 025	0,13
AC 0,717 6	0,396 9	1	0,396 9	0,14
BC 0,044 0	16,120 2	1	16,120 2	5,71
Falta de ajuste 0,616 8	0,765 625	1	0,765 625	0,27
Error Puro	22,604	8	2,825 5	

Total (corr.) 242,241 15

R-cuadrado = 90,352 7 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,821 89 (P=0,403 1)

Tabla 5  
Análisis de la varianza para el sólido del líquido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio
P-Valor				
A:Temp 0,012 1	24,601 6	1	24,601 6	10,41
B:int 0,018 1	20,748	1	20,748	8,78
C:tiempo 0,000 1	118,701	1	118,701	50,21
AB 0,055 7	11,833 6	1	11,833 6	5,01
AC 0,711 2	0,348 1	1	0,348 1	0,15
BC 0,027 3	17,181	1	17,181	7,27
Falta de ajuste 0,860 0	0,078 4	1	0,078 4	0,03
Error Puro	18,914 4	8	2,364 3	

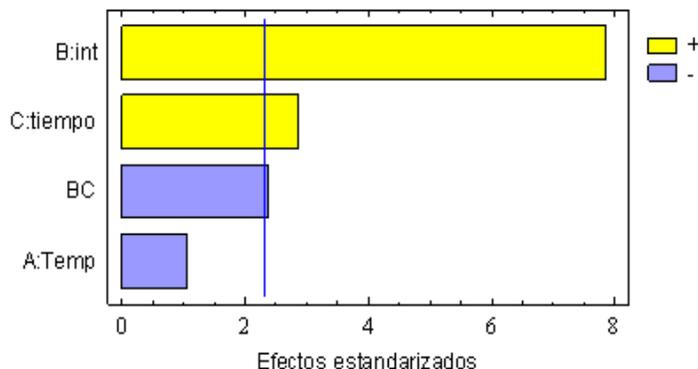
Total (corr.) 212,406 15

R-cuadrado = 91,058 3 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,605 62 (P=0,271 9)

En los gráficos siguientes se presentan los diagramas de Pareto, que muestran los facto-

res y las interacciones que tienen mayor significación.



**Gráfico 1 Diagrama de Pareto estandarizado para el sólido de la espuma.**

Aunque la variable temperatura estadísticamente no es significativa para el sólido en la espuma, como se observa en el gráfico 1, se mantuvo dentro del modelo por ser éste un factor que influye teóricamente en la electrocoagulación y permite la interpretación fenomenológica del proceso, la no significación estadística puede deberse al intervalo escogido

para este factor. Al eliminar las interacciones no significativas y mantener la temperatura, se obtuvo un nuevo análisis de varianza para el sólido de la espuma, el cual se muestra en la tabla 6; en este caso, el valor probable de las pérdidas por ajustes aumentó de 0,616 8 a 0,906 8, lo que demuestra que las pérdidas por ajuste no son significativas.

**Tabla 6**  
Análisis de la varianza para el sólido de la espuma

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temp	0,323 1	1	3,132 9	3,132 9	1,11
B:int	0,000 0	1	175,43	175,43	62,09
C:tiempo	0,020 5	1	23,425 6	23,425 6	8,29
BC	0,044 0	1	16,120 2	16,120 2	5,71
Falta de ajuste	0,906 8	3	1,528 55	0,509 517	0,18
Error Puro		8	22,604	2,825 5	

Total (corr.) 242,241 15

R-cuadrado = 90,037 8 por ciento

Estadístico Durbin-Watson = 1,843 96 (P=0,328 2)

Tabla 7  
Análisis de la varianza para el sólido del líquido

Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	F-Ratio	P-Valor
A:Temp	24,601 6	1	24,601 6	10,41	
0,012 1					
B:int	20,748	1	20,748	8,78	
0,018 1					
C:tiempo	118,701	1	118,701	50,21	
0,000 1					
AB	11,833 6	1	11,833 6	5,01	
0,055 7					
BC	17,181	1	17,181	7,27	
0,027 3					
Falta de ajuste	0,426 5	2	0,213 25	0,09	
0,914 7					
Error Puro	18,914 4	8	2,364 3		

Total (corr.) 212,406 15  
R-cuadrado = 90,894 4 por ciento  
Estadístico Durbin-Watson = 1,630 72 (P=0,211 4)

Según el gráfico 2, se aprecia que la interacción de los factores temperatura-intensidad tiene un valor probable muy cercano a 0,05; (igual a 0,055 7) por tanto, mantenemos esta interacción y se obtiene un nuevo análisis de varianza, que se muestra en la tabla 4. El

valor probable de la pérdida por ajustes aumentó de 0,860 0 a 0,914 7, lo que demuestra que el ajuste es mejor, esto se debe a que la temperatura y la intensidad tienen un gran peso como factores independientes en la respuesta obtenida.

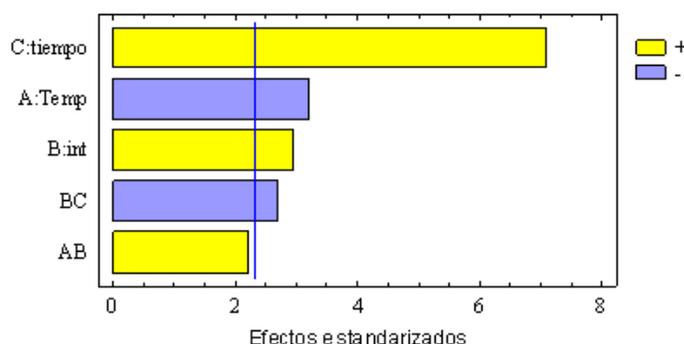


Gráfico 2 Diagrama de Pareto estandarizado para el sólido del líquido.

Para el intervalo de confianza establecido en nuestro diseño, se puede comprobar el ajuste de los modelos, analizando el valor probable de las pérdidas, que es 0,906 8 para la espuma y 0,914 7 para el líquido, en ambos casos es mayor que 0,05, por tanto se demuestra que las pérdidas no son significativas y que los modelos encontrados ajustan los datos experimentales. El estadístico R<sup>2</sup>, indica que el modelo así ajustado explica o representa el 90,037 8 % de la variabilidad del sólido en la espuma, y el 90,894 4 % en el líquido.

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

$$\text{Espuma} = -21,83 - 0,088 5 \cdot \text{Temp} + 3,332 \cdot \text{int} + 0,844 25 \cdot \text{tiempo} - 0,080 3 \cdot \text{int} \cdot \text{tiempo}$$

$$\text{Líquido} = -5,637 5 - 0,764 \cdot \text{Temp} + 0,808 \cdot \text{int} + 1,166 5 \cdot \text{tiempo} + 0,068 8 \cdot \text{Temp} \cdot \text{int} - 0,082 9 \cdot \text{int} \cdot \text{tiempo}$$

### Análisis de la influencia de las variables independientes

#### 1. Influencia de las variables en el sólido obtenido de la espuma

En este gráfico, se observan los efectos de cada una de las variables por separado. La tem-

peratura de entrada muestra que no hay una variación considerable en la respuesta obtenida, aunque a mayor valor de temperatura se observa que existe menor cantidad de sólido de la espuma, ya que hay mayor movimiento cinético, lo cual perturba el arrastre de los flóculos a la superficie.

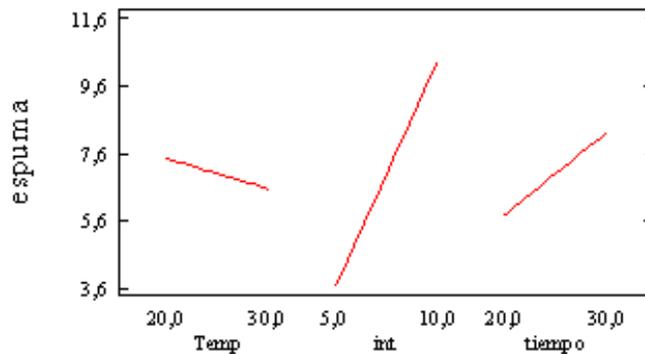
Analizando la intensidad de corriente se observa que a mayor valor de ésta, mayor es la cantidad del sólido, debido a que:

1. Permite la disolución de los ánodos, que son los que aportan los cationes a la solución (que luego formarán los óxidos).

2. Desestabiliza los coloides que se encuentran en la solución.

3. Suministra la energía necesaria para que se lleven a cabo las reacciones de formación de los sólidos metálicos, que subirán a la superficie producto de los gases ( $H_2$  y  $O_2$ ) que ascienden como consecuencia de la hidrólisis del agua.

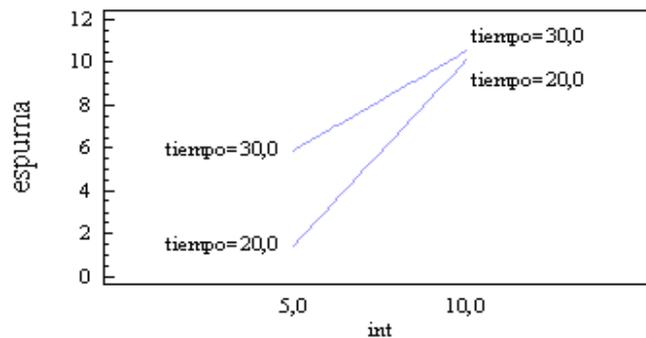
En el gráfico 3, se observa también que la intensidad de corriente tiene gran influencia en el proceso, ya que con pequeños cambios aumenta grandemente la cantidad de sólidos.



**Gráfico 3 Efectos principales observados en el sólido de la espuma.**

El análisis del tiempo de residencia indica que a mayor valor, mayor es la cantidad, debido a que se

producen más gases, que al ascender, llevan las partículas de óxido a la superficie formando la espuma.



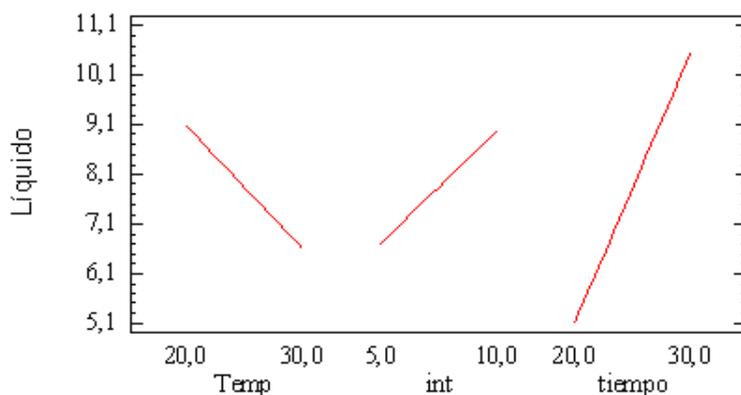
**Gráfico 4 Interacción de la intensidad-tiempo para sólido de la espuma.**

De las tres variables analizadas la intensidad de corriente es la de mayor significación, pues es la que determina el

volumen de gases desprendidos que arrastran los sólidos a la superficie en forma de espuma.

Analizando la interacción entre las variables, como se muestra en el gráfico 4, se corrobora que la intensidad de corriente es la variable determinante, y con su valor máximo se obtiene mayor

cantidad de sólidos, con mínima influencia del tiempo. En cambio, con el menor valor de intensidad y el mayor tiempo, se observa que se obtiene mayor cantidad de sólidos.



**Gráfico 5 Efectos principales del sólido del líquido.**

## 2. Influencia de las variables en el sólido obtenido del líquido

Al analizar el gráfico 5 se observa que la temperatura influye estadísticamente en el proceso, y con el menor valor se obtiene mayor cantidad. A este nivel de temperatura, la energía cinética de las partículas en suspensión es la necesaria para la desestabilización de los coloides, su coagulación y posterior precipitación.

La intensidad de corriente sigue siendo una variable significativa, y con el mayor valor se obtiene mayor cantidad de sólido, debido a que:

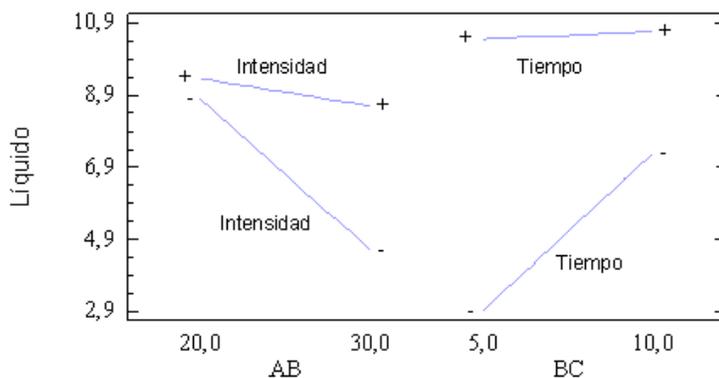
1. Permite la disolución de los ánodos, que son los

que aportan los cationes a la solución (que luego formarán los óxidos).

2. Desestabiliza los coloides que se encuentran en la solución.

3. Suministra la energía necesaria para que se lleven a cabo las reacciones de formación de los óxidos y su precipitación.

El tiempo es la variable de mayor influencia, correspondiendo al máximo valor una mayor cantidad de sólidos. Un pequeño cambio del tiempo representa una gran influencia en la cantidad de sólidos obtenidos, debido a que se



**Gráfico 6 Interacciones de temperatura-intensidad y tiempo-intensidad, para el sólido del líquido.**

promueve el crecimiento de los flóculos y su posterior precipitación.

Según el gráfico 6, en la interacción temperatura-intensidad se observa que al menor valor de temperatura la cantidad de sólidos es mayor, y cambia muy poco con la variación de la intensidad de corriente. Al mismo tiempo, a mayor temperatura se muestra la influencia de la intensidad,

obteniéndose más sólidos a mayor intensidad y menor temperatura.

Para la interacción intensidad-tiempo, la mayor cantidad de sólidos se obtiene, al mayor tiempo con ambos valores de intensidad de corriente, no siendo así para el menor tiempo, donde la mayor cantidad de sólidos se obtiene a mayor intensidad.

Tabla 8  
Resultados de los ensayos de corrosión

No	Pi [g]	Pf [g]	l [cm]	a [cm]	e [cm]	A [cm <sup>2</sup> ]	DP [g/m <sup>3</sup> h]	De [mm/año]	Eficiencia [%]
1	1,346 6	1,345	2,03	1,15	0,07	5,114 2	0,521 4	0,581 1	0,000 0
2	1,473 7	1,473 4	2,03	1,23	0,08	5,515 4	0,090 7	0,101 0	0,000 0
3	1,527 8	1,527 5	2,03	1,26	0,08	5,642	0,088 6	0,098 7	0,000 0
4	1,487 7	1,487 3	2,02	1,25	0,08	5,573 2	0,119 6	0,133 3	77,058 9
5	1,540 6	1,540 5	1,96	1,3	0,08	5,617 6	0,029 7	0,033 0	67,273 0
6	1,582	1,581 9	2,03	1,32	0,08	5,895 2	0,028 3	0,031 5	68,098 3
7	1,452 3	1,452 1	1,93	1,27	0,08	5,414 2	0,061 6	0,068 6	88,192 6
8	1,496 6	1,496 5	1,93	1,3	0,08	5,534 8	0,030 1	0,033 5	66,783 5
9	1,606	1,605 9	1,9	1,28	0,08	5,372 8	0,031 0	0,034 5	64,996 5
10	1,489	1,488 8	2,12	1,21	0,08	5,663 2	0,058 9	0,065 5	88,711 7
11	1,687 3	1,687 2	2,07	1,36	0,08	6,179 2	0,027 0	0,030 0	70,247 4
12	1,456 6	1,456 5	1,95	1,28	0,08	5,508 8	0,030 3	0,033 7	65,860 6

### 3. Evaluación del sólido como inhibidor de la corrosión

Los resultados obtenidos se pueden apreciar en la tabla 8.

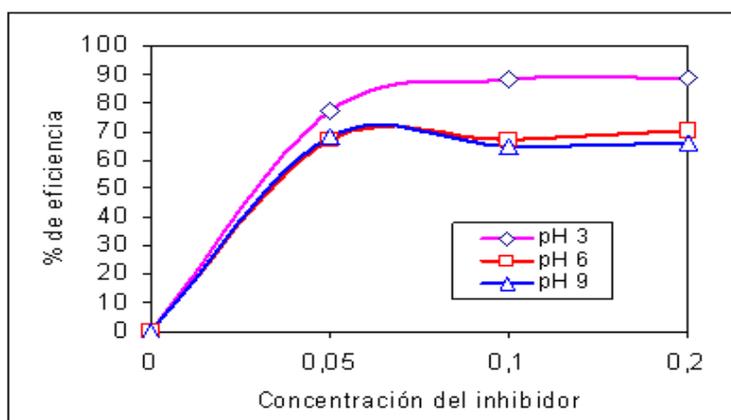
Al analizar los resultados de los ensayos de corrosión, se observa en los experimentos 1, 2 y 3 (con concentración de inhibidor igual a 0) que, a medida que aumenta el pH disminuye la velocidad de corrosión, ya que a altos valores de pH se promueven capas protectoras, y a menor pH estas capas se disuelven. Estos ensayos presentan una estabilidad disminuida, según la tabla de escala de resistencia a la corrosión de los materiales metálicos, expues-

ta por Domínguez *et al.*, 1987.

Utilizando los sólidos obtenidos por precipitación como inhibidores, se puede ver que los mismos presentan eficiencias satisfactorias, ya que llevan los valores de velocidad de corrosión de estabilidad disminuida a estable en todos los casos.

Se observa que a medida que aumenta la concentración del inhibidor, disminuye la velocidad de corrosión, debido a que la presencia del inhibidor promueve la formación de capas protectoras.

En el gráfico 7, se comprueba que estos productos sólidos se comportan como inhibidores orgánicos de adsorción, ya que responden a la isoterma de



**Gráfico 7 Relación entre el % de eficiencia y la concentración del inhibidor.**

Langmuir, demostrando que la última concentración de inhibidor utilizada es la adecuada, y aunque se aumente este valor no aumenta apreciablemente la eficiencia del inhibidor, lo cual quiere decir, que la superficie metálica está saturada.

## Conclusiones

1. Para los sólidos obtenidos en la espuma, la intensidad de corriente fue la variable que mayor influencia tuvo en la cantidad de sólidos, el tiempo también mostró un efecto significativo y la temperatura no tuvo significación estadística debido al rango escogido.
2. La interacción de las variables más significativas para los sólidos obtenidos en la espuma fue intensidad-tiempo, la mayor cantidad de sólidos se obtuvo al valor mayor de intensidad de corriente, con mínima influencia del tiempo.
3. Las tres variables estudiadas tuvieron influencia en los sólidos obtenidos en el líquido, alcanzándose los mayores valores de cantidad de sólidos para los mayores valores de tiempo e intensidad de corriente y menor valor de temperatura, siendo el tiempo la variable de mayor significación.
4. Las interacciones significativas para los sólidos obtenidos en el líquido fueron temperatura-intensidad e intensidad-tiempo; en el primer

caso, la mayor cantidad de sólidos se obtuvo al menor valor de temperatura con poca influencia del tiempo, y en el segundo caso, para los mayores valores de intensidad y tiempo.

5. Los sólidos obtenidos por precipitación se comportan como inhibidores orgánicos de adsorción, presentando eficiencias satisfactorias, ya que llevan los valores de velocidad de corrosión, de estabilidad disminuida a estable en todos los casos.
6. Los resultados alcanzados en esta investigación, analizando las variables: temperatura de entrada, intensidad de corriente y tiempo de residencia, para la obtención de sólidos a partir de la vinaza, demostró la posibilidad de utilizar los mismos como inhibidores ecológicos.

## Recomendaciones

1. Utilizar en el proceso de electrocoagulación electrodos de hierro, para conocer la influencia en la obtención de sólidos.
2. Igualmente, utilizar en el proceso de electrocoagulación electrodos alternos de hierro y aluminio.
3. Trabajar a otros niveles de temperatura para estudiar su significación o no, en la obtención del sólido de la espuma, y si esto no perjudica la obtención de sólidos del líquido.

4. Evaluar el sólido obtenido de la espuma para comprobar su eficiencia como inhibidor de la corrosión.
5. Estudiar el efecto sinérgico en la combinación de ambos sólidos.
6. Realizar estudios similares con la valoración de otras variables que influyen en el proceso de electrocoagulación, como por ejemplo, el pH y la distancia entre los electrodos.

## Bibliografía

Aguas residuales industriales, <http://www.aytozaragoza.es/azar/ayto/medioam/aguas.htm> Búsqueda el 20 de abril, 2006.

Almeida, Pilar; Pérez, Jorge, "Estudio de algunas vías de aprovechamiento de los efluentes de destilería", Revista *ICIDCA*, sobre los derivados de la caña de azúcar. N° 2, vol. XXI, Empresa gráfica 04 Urselia Díaz Báez del Ministerio de Cultura, 1987, págs. 4-5.

Alternativas para tratamiento y purificación del agua por el método de electrocoagulación, <http://www.geocities.com/seofeo555/Q003.html?200612> Búsqueda el 15 de marzo, 2006.

Andía Yolanda C.; De Vargas Lidia; Barrenechea Ada M., *Tratamiento de agua: coagulación floculación*, Perú 2000.

Caballero, Lizandra D.; Palmero, Silvio L., Evaluación de inhibidores de la corrosión ecológicos y naturales de la corrosión, Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, 2005.

Colectivo de autores, Características de la vinaza de destilería (mosto), Realizada por el Grupo de tratamiento y aprovechamiento de residuales de la Facultad de Ciencias Naturales, Universidad de Oriente, 2004.

Corrosión y control de la corrosión. <http://www.invdes.com.mx/htm/corrosion.html>. Búsqueda el 3 de marzo, 2006.

Crespo, Harold S., Proyecto de planta para reciclar el mosto de la destilería Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, 2005.

Domínguez, Jorge; Castro, Dulce; Matos, Roger y Hing, Romelia, *Introducción a la corrosión y protección de metales*, La Habana, Cuba, Ediciones ENPES, 1987.

Durán, Osmay R., Diseño de una Propuesta de Procedimiento para la Gestión de la Minimización de Residuos en el Sector Empresarial de la Provincia Santiago de Cuba, Tesis presentada en opción al título académico de Master en Gerencia de la Ciencia y la Innovación. Instituto Superior de Ciencia y Tecnologías Aplicadas, Santiago de Cuba, Mayo, 2004.

Elisas, Q., Características positivas y negativas del acero, <http://www.arqhys.com/materiales-construccion.html>, Búsqueda el 15 de abril, 2006.

González, María; Vázquez Miguel; Tabío Marina, "Desalinización de mosto de destilería con ácido sulfúrico concentrado", Revista *ICIDCA*, sobre los derivados de la caña de azúcar, N° 3, vol. XXV, Empresa Gráfica 04 Urselia Díaz Báez del Ministerio de Cultura, 1989, págs. 25-26.

Hing, Romelia, "Obtención de un inhibidor de la corrosión a partir de un mosto de la destilería" Revista *Tecnología Química*, Año 1, N° 1, 1980.

Jiménez, Leysi V.; Rodríguez, Geylich M., Evaluación de inhibidores de la corrosión, Trabajo de Diploma, Facultad de Ingeniería Química, Universidad de Oriente, 2004.

Morante, Gonzalo G., "Electrocoagulación de aguas residuales", *Revista Colombiana de Física*, vol. XXIV, No. 2, Universidad Nacional de Colombia, sede Manizales, 2002.

Solo agua pura, Electrocoagulación. Contaminantes. Beneficios. <http://www.aquamanzi.com> Búsqueda el 15 de marzo, 2006.

Valdés, Antonio D., "Tratamiento anaeróbico de productos residuales para la producción de biogás", Revista *Asociación de Técnicos Azucareros de Cuba*, N° 2, Talleres de reproducciones gráficas del Ministerio del Azúcar, 2002, pág. 11.