

CONDICIONES OPTIMAS DE APLICACION DE UN NUEVO INHIBIDOR DE CORROSION. PARTE I

A. Cepero, I. Salgado, C. Candedo y C. Bauta

Dpto. de Corrosión, Centro Nacional de Investigaciones Científicas, Ciudad de La Habana, Cuba

Recibido: 10 de febrero de 1984

ABSTRACT. The characteristics of a new corrosion inhibitor (GIC-1) were evaluated, for using it in the protection of carbon steel CT-3 in the presence of mixtures of hydrochloric acid (HCl) and ammonium bifluoride, at different concentrations and boiling conditions. A statistical design was used in order to evaluate simultaneously all the variation. Equations were found which permit calculate the corrosion rate. This values are in agreement with the experimental results.

RESUMEN. Se evaluaron las características de un nuevo inhibidor de corrosión (GIC-1), para emplearlo en la protección del acero CT-3 en mezclas de ácido clorhídrico y bifluoruro de amonio a concentraciones y temperaturas de ebullición diferentes. Se utilizó un diseño de experimentos para evaluar de forma simultánea todas las variaciones. Se encontraron ecuaciones que permiten calcular la velocidad de corrosión, hallándose buena concordancia con los resultados obtenidos experimentalmente.

INTRODUCCION

Actualmente, en Cuba, se realizan investigaciones encaminadas a obtener inhibidores de corrosión a partir de subproductos y desechos industriales.

El Anticor, que se obtiene a partir de la miel final, se utiliza en la limpieza ácida de los evaporadores de los centrales^{1,2}. El mosto, un desecho de las destilerías de alcohol, posee propiedades inhibidoras de la corrosión ácida^{3,4}.

Recientemente⁵ quedó demostrada la elevada eficiencia de un desecho de la industria del papel (GIC-1) en las condiciones de limpieza ácida del acero al carbono CT-3.

El presente trabajo está encaminado a evaluar las características inhibidoras del GIC-1, para emplearlo en la protección del acero CT-3, en mezclas de ácido clorhídrico (HCl) y bifluoruro de amonio (BFA) en diferentes concentraciones y a temperatura de ebullición, con el objetivo de determinar las condiciones óptimas de su aplicación industrial.

MATERIALES Y METODOS

El material que se utilizó fue el acero al carbono CT-3, en forma de placas de $A = 21,95 \text{ cm}^2$. El método empleado fue el gravimétrico.

Las evaluaciones se hicieron en HCl 1 mol/L a temperatura de ebullición. El tiempo para la realización de los ensayos fue de 1 h.

La concentración de bifluoruro de amonio varió entre 1 y 20 g/L y la de GIC-1 entre 1 y 18 g/L.

Para lograr un efecto sinérgico, se adicionó yoduro de potasio (KI) en concentraciones de 0,1 y 1 g/L.

Las determinaciones se hicieron en balanza analítica (10^{-4} g).

Para evaluar de forma simultánea todas las variaciones se utilizó un diseño de experimentos, consistente⁶ en un plan compuesto central rotativo 2^3 .

RESULTADOS Y DISCUSION

En las Tablas I y II aparecen las soluciones utilizadas, los valores de la eficiencia y los coeficientes de protección. La Tabla I corresponde a las concentraciones bajas y la Tabla II a las altas.

Concentraciones bajas.

GIC-1	1	a	5 g/L
BFA	1	a	10 g/L
KI	0,1	a	0,5 g/L

Concentraciones altas

GIC-1	10	a	18 g/L
BFA	12	a	20 g/L
KI	0,6	a	1 g/L

Los resultados de la Tabla I, muestran que la eficiencia del inhibidor oscila entre 82,7 y 94,6 %; y el coeficiente de protección entre 5,8 y 18,5. Estos valores son adecuados, sobre todo si se tiene en cuenta que se trabajó con los valores bajos de concentración del inhibidor.

Al aumentar la concentración del inhibidor hasta 18 g/L se obtuvieron eficiencias entre 91,3 y 96,8 %. El coeficiente de protección aumentó y alcanzó valores entre 11,5 y 31,2 (Tabla II).

TABLA I

Velocidad de corrosión del acero CT-3 en las soluciones utilizadas con inhibidor (bajas concentraciones). La concentración del HCl se mantiene constante (1 mol/L)

Solución	BFA (g/L)	GIC-1 (g/L)	KI (g/L)	η (%)	γ
15	5	3	0,3	94,6	18,5
3	7	2	0,4	88,5	8,7
5	3	4	0,4	92,1	12,7
4	7	2	0,2	84,1	6,3
12	5	1,318	0,3	87,1	7,7
1	7	4	0,4	92,9	4,2
16	5	3	0,3	90,3	10,3
9	8,364	3	0,3	—	—
19	5	3	0,3	91,5	11,7
10	1,636	3	0,3	—	—
8	3	2	0,2	90,2	10,2
17	5	3	0,3	87,5	7,9
7	3	2	0,4	90,1	10,1
14	5	3	0,131 8	85,1	6,7
13	5	3	0,468 2	86,8	7,6
18	5	3	0,3	87,3	7,8
11	5	4,682	0,3	89,6	9,6
20	5	3	0,3	90,3	10,3
6	3	4	0,2	91,5	11,8
2	7	4	0,2	82,7	5,8

TABLA II

Velocidad de corrosión del acero CT-3 en las soluciones utilizadas con inhibidor (altas concentraciones). La concentración de HCl se mantiene constante (1 mol/L)

Solución	BFA (g/L)	GIC-1 (g/L)	KI (g/L)	η (%)	γ
20	16	14	0,8	96,3	27,4
12	16	10,636	0,8	95,4	21,9
16	16	14	0,8	95,6	22,7
9	19,364	14	0,8	—	—
3	18	12	0,9	95,5	22,3
17	16	14	0,8	96,5	28,3
15	16	14	0,8	95,5	22,2
10	12,636	14	0,8	—	—
2	18	16	0,7	96,4	27,9
8	14	12	0,7	91,5	11,7
19	16	14	0,8	95,2	20,7
14	16	14	0,631 8	94,0	16,7
5	14	16	0,9	92,6	13,4
11	16	17,364	0,8	91,3	11,5
13	16	14	0,968 2	96,7	30,4
1	18	16	0,9	96,8	31,2
6	14	16	0,7	94,9	19,5
4	18	12	0,7	96,3	27,2
18	16	14	0,8	96,4	28,1
7	14	12	0,9	95,5	29,0

Los valores encontrados se encuentran ya en el rango de algunos inhibidores comerciales, y son comparables a otros obtenidos con anterioridad⁵, lo que indica que el empleo de esta sustancia como inhibidor de la corrosión ácida en estas condiciones es adecuado.

La limpieza química de los evaporadores, calentadores e intercambiadores industriales tiene como objetivo eliminar las incrustaciones que se forman y que afectan

el proceso productivo y la transferencia de calor. Esta limpieza generalmente se realiza con ácidos y en Cuba, fundamentalmente, con ácido clorhídrico.

Las incrustaciones encontradas comúnmente son los carbonatos y los sulfatos, y en menor grado el de sílice.

En la planta seleccionada para el estudio, se hace necesario el empleo adicional de bifluoruro de amonio debido a la presencia de fuertes incrustaciones de sílice. Debido a esto, era importante determinar la influencia que las mezclas de ácido clorhídrico-bifluoruro de amonio (en cantidades crecientes de este último), tenían sobre el comportamiento del acero.

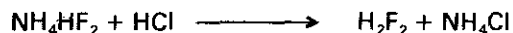
En la Tabla III, se observa que la velocidad de corrosión del acero CT-3 en las mezclas disminuye según aumenta la concentración del bifluoruro de amonio, aspecto útil desde el punto de vista práctico, ya que permite realizar mejores limpiezas en menos tiempo, sin afectar sensiblemente el tiempo de vida útil de los equipos.

TABLA III

Velocidad de corrosión (Vc) del acero en las mezclas de bicloruro de amonio y HCl 1 mol/L (sin inhibidor)

BFA (g/L)	Vc (g/m ² · h)
1	1 775,0
3	1 772,5
5	1 550,0
7	1 178,8
14	1 125,0
16	1 095,0
18	1 060,0
20	852,5

Al añadir el bifluoruro de amonio al ácido clorhídrico se produce ácido fluorhídrico de acuerdo a la reacción siguiente:



Este ácido en solución acuosa presenta un valor bajo de pH, no obstante es el único de los halógenos de hidrógeno que se comporta como ácido débil⁷.

El grado en el cual un ácido débil se ioniza en solución acuosa aumenta según se diluye la solución debido a que la distancia a que se encuentran los iones es tal, que los mismos tienen poca oportunidad de unirse unos con otros para formar las moléculas⁸.

En el caso que se estudia, al aumentar la concentración de bifluoruro de amonio, el equilibrio se desplaza hacia la formación del ácido fluorhídrico; la concentración de éste aumenta, y como consecuencia disminuye su disociación en la solución.

La disminución de la concentración de iones hidrógeno debe provocar una disminución de la velocidad de corrosión (Fig. 1), ya que en medio ácido éstos son los principales agentes agresivos.

A partir de las velocidades de corrosión determinadas, y tomando en consideración los rangos de variación de todos los factores, se obtuvieron 2 ecuaciones matemáticas que permiten calcular de forma rápida y aproximada la velocidad de corrosión del acero CT-3 en estas condiciones.

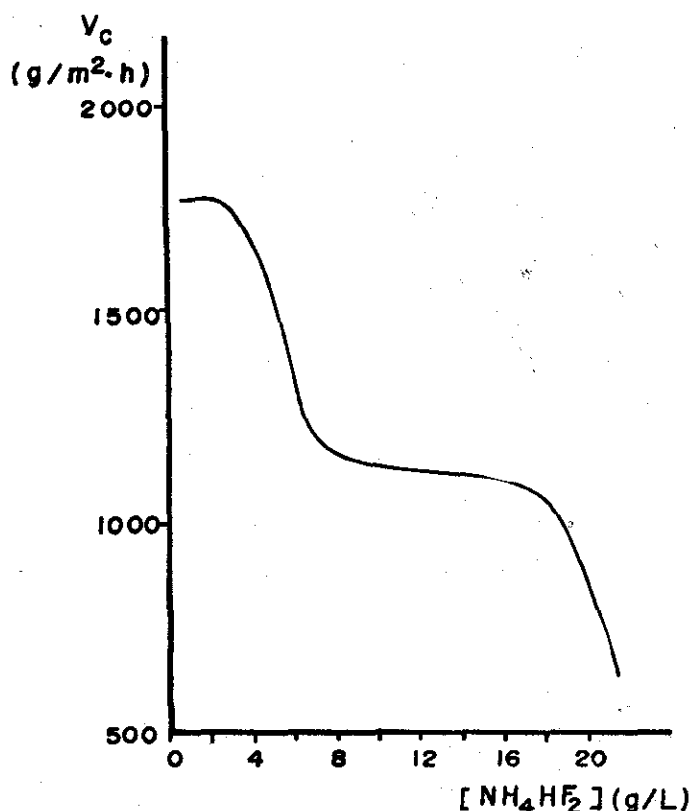


Fig. 1. Influencia de la concentración de biftuoruro de amonio en la velocidad de corrosión del acero CT-3

La primera ecuación es válida para las bajas concentraciones y la segunda para las altas.

1ra ecuación

$$V_c = 164,93 - 16,82 [KI] - 18,92 [BFA]^2 + 15,98 (KI)^2 - 19,67 [BFA] [KI]$$

$$p < 0,01 \quad r = 0,81$$

2da ecuación

$$V_c = 47,60 - 12,59 [BFA] + 8,13 [GIC-1]^2$$

$$p < 0,01 \quad r = 0,7$$

Para comprobar las ecuaciones obtenidas se seleccionaron algunas de las soluciones de trabajo (Tablas IV y V), y se sustituyeron los valores codificados de concentración del biftuoruro de amonio, el GIC-1 y el KI correspondiente a esas soluciones en la ecuación hallada.

TABLA IV
Velocidades de corrosión (V_c) experimentales y calculadas por la ecuación obtenida (bajas concentraciones)

Solución	V_c calculada ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	V_c experimental ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)
3	143,4	135,2
9	111,2	127,8
10	114,1	109,6
11	164,9	161,0
1	93,5	84,9

TABLA V
Velocidades de corrosión (V_c) experimentales y calculadas por la ecuación obtenida (altas concentraciones)

Solución	V_c calculada ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)	V_c experimental ($\text{g/m}^2 \cdot \text{h}$)
3	43,1	47,5
9	26,2	35,2
10	68,8	67,5
12	70,5	50,1
16	47,6	48,1

Esto permitió calcular los valores teóricos de la velocidad de corrosión.

CONCLUSIONES

Se determinó la velocidad de corrosión del acero CT-3 en mezclas de HCl y biftuoruro de amonio, en condiciones que simulan las que se presentan en la limpieza ácida de una planta industrial.

Se evaluó la eficiencia de un desecho de la industria del papel (GIC-1) en estas condiciones, determinándose que inhibe la corrosión ácida del acero.

Se determinó que la eficiencia del inhibidor oscila entre 82,7 y 94,6 % en las concentraciones bajas; y entre 91,3 y 96,8 % en las altas.

El coeficiente de protección encontrado en concentraciones bajas varió entre 5,8 y 18,5 y en las concentraciones altas entre 11,5 y 31,2, lo que coincide con otros resultados presentados con anterioridad.

Se obtuvieron 2 ecuaciones matemáticas que permiten calcular de forma aproximada la velocidad de corrosión del acero CT-3 en los rangos de trabajo analizados.

BIBLIOGRAFIA

1. Cabrera G., Ramos E., Pérez J. y Santo Tomás J. *Revista Cuba-Azúcar*, 13, abril-junio, 1977.
2. Pérez F. y Müller S. *Revista Cuba-Azúcar*, 11, abril-junio, 1972.
3. Cabrera G., González E., Alvarez E. y Portuondo Y. *Revista Cuba-Azúcar*, 20, julio-septiembre, 1976.
4. Ledovskij V. M., Alvarez A. G., Flores E. R. y Shimbor H. G. *Revista Cuba-Azúcar*, 3, octubre-diciembre, 1977.
5. Salgado I., Candedo C., Cepero A. y Bauta C. *Revista de Ciencias Químicas*, 17, 1986.
6. López Planes T. Diseño estadístico de Experimentos 2da. parte. Conferencias, CENIC, 1982.
7. Sienko M. y Plane R. Química, Colección Ciencia y Técnica. Editorial Aguilar, España, 1976.
8. Quagliano J. V. Química 2. Prentice-Hall, Inc. 1958.