

ESTUDIO DE LOS DERIVADOS SÓLIDOS OBTENIDOS DE LA ELECTROCOAGULACIÓN DEL MOSTO DE LAS DESTILERÍAS COMO INHIBIDOR DE LA CORROSIÓN DE LOS LATONES EN AGUA DEL MAR A ALTAS TEMPERATURAS

Roger Matos Tamayo, Alessandro Carvalho
Universidad de Oriente

El objetivo principal de este trabajo es el estudio de los derivados sólidos obtenidos de la electrocoagulación del mosto de la destilería Hatuey en Santiago de Cuba, como inhibidor de la corrosión de los latones en agua de mar a temperaturas elevadas y el análisis de las variables que influyen en la velocidad de corrosión y la eficiencia del inhibidor ecológico obtenido de la vinaza. La vinaza es un residual del proceso de destilación de alcohol a partir de las mieles finales de la caña de azúcar.

Se realizaron experimentos de corrosión, en blanco o sea sin la presencia del inhibidor, y con inhibidor mediante el método gravimétrico. Fueron evaluados los derivados sólidos obtenidos de la electrocoagulación de la vinaza, provenientes de la espuma acumulada, como inhibidores de la corrosión del latón corriente en agua de mar a temperaturas elevadas.

El análisis de la influencia de las variables en la velocidad de corrosión, se desarrolló mediante un diseño de experimento multi nivel factorial obtenido en el programa profesional STATGRAPHICS 5.1, considerando como variables independientes: la temperatura y la concentración del inhibidor con el fin de obtener las combinaciones óptimas de estas variables que permitan mayor eficiencia de inhibición de la corrosión.

Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que el uso de este inhibidor conllevó a que los valores de velocidad de corrosión tuvieran una disminución significativa, según la concentración del inhibidor hasta alcanzar una velocidad estable, o sea que, aunque se aumente la concentración del inhibidor no se logra disminuir más la velocidad de corrosión.

Palabras clave: Corrosión marina, materiales, latones, descincado, inhibidores.

The main objective is the study of solids obtained from electrocoagulation of the vinaza of the Combined Distillery-Brewery Hatuey in Santiago de Cuba, as corrosion inhibitors of brasses in hot sea water, and the analysis of the variables that influence in the corrosion rate and the efficiency of the obtained ecological inhibitor of the vinaza. The vinaza is a residual of the process of alcohol distillation of starting from the final molasses of the sugar cane.

Experiments of corrosion were carried out without using the inhibitor, and also with inhibitor using the gravimetric method. The solids obtained from the accumulated foam deriving from the electrocoagulation of the vinaza were evaluated as inhibitors of the corrosion of common brass in sea water at high temperatures.

The analysis of the influence of the variables in the corrosion rate, was developed by means of a multi level factorial experiment design obtained in the professional program STATGRAPHICS 5.1, considering as independent variables: the temperature and the concentration of the inhibitor with the purpose of obtaining a good combination of these variables that allow higher efficiency of inhibition of the corrosion.

The obtained results were satisfactory, since the use of this inhibitor influenced the values of corrosion rates obtaining a significant decrease, due to the concentration of the inhibitor until reaching a stable rate; this means that, although the concentration of the inhibitor is increased, the corrosion rate is not possible to further diminish.

Key words: Marine corrosion, materials, brasses, dezincification, 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, repararlos o sino aplicar algún método de protección para que puedan perdurar por más tiempo.

La corrosión es la acción química o electroquímica, lenta o acelerada de la naturaleza o el medio ambiente, que degrada y destruye los metales.

Los metales, en especial el latón se usa en varias ramas productivas de la sociedad, como por ejemplo equipos de intercambio de calor que son enfriados por agua de mar, por lo que hay que tener en cuenta el fenómeno de la corrosión por su efecto perjudicial tanto económico como medioambiental y buscar las vías de detener la misma.

Uno de los métodos fundamentales para la prevención de la corrosión es la utilización de inhibidores, estos son productos químicos que reaccionan con una superficie metálica, dando a la misma un cierto nivel de protección. Los inhibidores a menudo trabajan fijándose por adsorción en la superficie del metal, protegiéndola a través de la formación de 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 utilización de residuales industriales resulta una alternativa atractiva, que permite al mismo tiempo, el tratamiento adecuado y el aprovechamiento de los mismos y que a la vez disminuya la contaminación medioambiental. De esta forma se puede obtener productos valiosos y lo que era un desecho pasa a ser una materia prima cuyo empleo resulta económicamente ventajoso.

Teniendo en cuenta todos los aspectos anteriores se llevan a cabo investigaciones sobre la utilización de los derivados sólidos obtenidos de la electrocoagulación del mosto como un inhibidores

de la corrosión, resolviéndose así dos problemas de gran importancia para la sociedad, la contaminación medioambiental y la corrosión, sin olvidar también de analizar la eficiencia de este sólido usado como inhibidor de la corrosión en los latones amarillos en agua del mar a altas temperaturas.

Objetivos

Objetivo general del trabajo

- El objetivo general de este trabajo consiste en realizar un estudio del comportamiento corrosivo del agua de mar respecto al latón corriente (70 % Cu, 30 % Zn) a temperaturas elevadas, y estudiar el efecto de algunas sustancias inhibidoras, obtenidas a partir de la electrocoagulación del mosto de las destilerías alcohólicas.

Objetivos particulares

- Estudiar el comportamiento corrosivo del latón corriente en agua de mar a temperaturas de 70, 80 y 90 °C.

Estudiar el efecto inhibidor de los sólidos obtenidos a partir de la espuma que se genera en la electrocoagulación del mosto de las destilerías alcohólicas, a cuatro concentraciones del mismo y a las temperaturas señaladas anteriormente.

Fundamentación teórica (1-3, 5, 6, 9, 10, 12-14, 16, 18-21)

Se define como corrosión el ataque químico o electroquímico que experimentan los materiales por acción del medio ambiente, siempre y cuando esto conlleve a un deterioro de dicho material. La corrosión puede ocurrir de forma lenta pero siempre tiene carácter continuo.

Debe destacarse el hecho de que el fenómeno de la corrosión conduce inevitablemente al deterioro o destrucción del equipo o material, produciendo una disminución de su valor de uso, acortando, por tanto, la vida útil del mismo. Esta aclaración es válida puesto que no siempre un ataque químico produce deterioro. La corrosión es un proceso heterogéneo, de oxidación-reduc-

ción, en el que participan al menos dos fases, donde el material metálico se oxida gracias a la reducción de algún componente del medio corrosivo en contacto.

Son varias las formas existentes de expresar la velocidad de los procesos de corrosión. Esto mayormente se debe a la diversidad de formas en que se presenta la corrosión, lo cual obliga a buscar la manera más adecuada de reflejar la intensidad del ataque.

Si se considera que todo proceso de corrosión implica una transformación del metal a formas oxidadas del mismo, entonces la masa metálica que se transforma en la unidad de tiempo y de superficie, es una magnitud representativa de la velocidad del proceso corrosivo, es decir, que la velocidad de corrosión se expresa generalmente como pérdida o ganancia de masa del material metálico por unidad de superficie y por unidad de tiempo. Se acostumbra a calcularla por la siguiente expresión:

$$DP = \frac{\Delta m}{S \cdot t} \quad (1)$$

donde:

DP: velocidad de corrosión como pérdida o ganancia de masa por unidad de tiempo y superficie.

S: Superficie de la pieza.

Δm : pérdida o ganancia de masa de la pieza

t : Tiempo de ataque a la pieza por el medio oxidante.

Las unidades más empleadas para DP son: g/m² día, kg/m² año, mg/dm² día (mdd).

Otra forma muy usada para evaluar la velocidad de corrosión es mediante la disminución de espesor que experimenta el material en la unidad de tiempo. Esta forma tiene mayor aplicación práctica que la anterior (DP) porque brinda una idea aproximada del espesor óptimo que debe tener un material metálico para que dure el tiempo señalado. La velocidad de corrosión hallada de esta manera se representa por DE y es conocida

como índice de penetración o disminución del espesor (DE), siendo una de las expresiones utilizadas la siguiente:

$$DE = 8,76 DP/\rho \quad (2)$$

donde:

ρ : densidad del metal en g/cm³

DP: velocidad de corrosión en g/m² . h

La constante 8,76 es un factor de conversión de unidades que permite obtener el DE en mm/año a partir del DP expresado en g/m² . h. Otras unidades empleadas para el DE son, en el sistema inglés, la pg/año, (ipy) y la milésima de pulgada por año, mpy.

El índice de penetración permite establecer la estabilidad de un metal en el medio agresivo. Los criterios de corrosión utilizados para la resistencia a la corrosión se deben a Fontana y aparecen en la siguiente tabla:

Tabla 1. Criterios de estabilidad para medir la resistencia a la corrosión, según Fontana

| Resistencia a la corrosión relativa | Velocidades de corrosión | |
|-------------------------------------|--------------------------|------------|
| | mpy | mm/año |
| Sobresaliente | < 1 | < 0,02 |
| <u>Excelente</u> | 1 - 5 | 0,02 - 0,1 |
| <u>Buena</u> | 5 - 20 | 0,1 - 0,5 |
| <u>Regular</u> | 20 - 50 | 0,5 - 1,0 |
| Pobre | 50 - 200 | 1,0 - 5 |
| <u>Inaceptable</u> | > 200 | > 5 |

El empleo de inhibidores de la corrosión es uno de los métodos más universales, y por tanto difundido, de combate anticorrosivo.

Se define como inhibidor de la corrosión a aquellas sustancias químicas que, adicionadas al medio corrosivo en pequeñas cantidades, producen una disminución sensible de la velocidad de la corrosión, siempre que la acción de los inhibidores se realice en la interfase metal-solución, quedando

do excluidas de esta definición las sustancias que alteran la concentración de los agentes oxidantes o de otros agentes agresivos del medio.

Los inhibidores, en su acción superficial, varían la velocidad de las reacciones de oxidación-reducción entre el metal y el medio oxidante. La forma en que esto se realiza puede variar en dependencia de la naturaleza del inhibidor, sus propiedades químicas, las características del metal y del medio corrosivo. Es por eso que los inhibidores pueden clasificarse desde muchos puntos de vista.

Por su naturaleza química pueden ser inorgánicos y orgánicos. Entre los inorgánicos están el dicromato de potasio y el sulfato de cinc entre otros. En estos la parte activa de la sustancia puede ser el anión, el catión o la molécula. Los orgánicos son mucho más abundantes y variados con grupos funcionales diversos. Como ejemplo se pueden mencionar las aminas alifáticas y aromáticas, las tioureas, los oniosales, etcétera.

La efectividad de un inhibidor depende de múltiples factores, tales como concentración del inhibidor, del material metálico, del tipo y concentración de la solución, la temperatura, la presencia de otros agentes tensoactivos, etc. Hay productos que disminuye su efectividad con el aumento de la temperatura y otros que la aumentan. La forma más usual de expresar la efectividad de un inhibidor es:

$$\eta = \left(1 - \frac{DP_{ci}}{DP_{si}}\right) \cdot 100 = \left(1 - \frac{DE_{ci}}{DE_{ci}}\right) \cdot 100 \quad (3)$$

donde:

η : Eficiencia del inhibidor en por ciento

DP_{ci} , DP_{si} : velocidad de corrosión con y sin inhibidor, respectivamente.

La concentración y el tipo de inhibidor a usar en un ambiente corrosivo se determinan generalmente por vía experimental y esta información la suele brindar el fabricante. Es importante la utilización de suficiente cantidad de inhibidor puesto que muchos de estos agentes pueden acelerar la corrosión si están en defecto.

El efecto de los inhibidores de adsorción se puede representar desde el punto de vista teórico a través de la isoterma de Langmuir lo cual se explica a continuación:

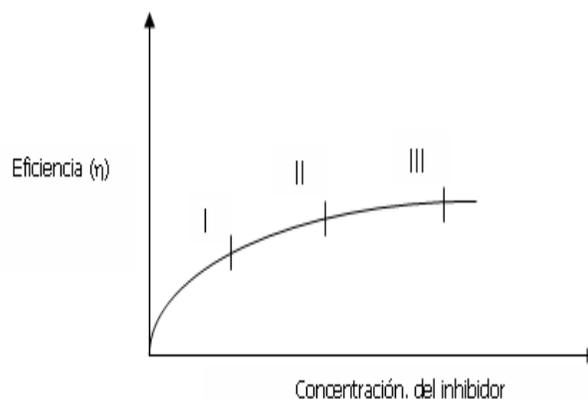


Fig. 1 Isoterma de Langmuir.

Región I: La adsorción aumenta proporcionalmente con la concentración del inhibidor

Región II: La adsorción sigue aumentando pero en este caso no tan bruscamente como en la región anterior.

Región III: La adsorción permanece constante independientemente del aumento de la concentración del inhibidor.

Cuando la superficie del metal está saturada con el adsorbente, un aumento de la concentración no tiene ningún efecto práctico sobre la adsorción. Esta es la razón por la cual no es económico aumentar la concentración del inhibidor por encima de cierto límite, puesto que no se obtiene un aumento de la superficie, excepto a temperaturas algo elevadas, donde el efecto negativo de la adsorción se compensa con un aumento de la concentración del inhibidor.

La adsorción disminuye con el aumento de la temperatura y por lo tanto a una concentración dada, será menor a medida que aumenta la temperatura del sistema.

La decisión acerca del uso del inhibidor se determina en última instancia por la facilidad económica, teniendo en cuenta las veces que aumenta la utilización del inhibidor, el tiempo de vida de la instalación y el costo de esta, así como la cantidad de productos necesarios y su costo.

Latones

Los latones son aleaciones de cobre y cinc. El latón es más duro que el cobre, es dúctil y puede forjarse en planchas finas. Antiguamente se llamaba latón a cualquier aleación de cobre, en especial la realizada con estaño. Es posible que el latón de los tiempos antiguos estuviera hecho con cobre y estaño. La aleación actual comenzó a usarse hacia el siglo XVI.

El diagrama de fases del sistema cobre-cinc es típico de las asociaciones complejas de disoluciones y fases intermedias que concurren en los sistemas Cu-Zn, Cu-Al, Cu-Be y Cu-Si. Afortunadamente, las aleaciones útiles de estos sistemas, generalmente, corresponden a regiones de la disolución sólida rica en cobre, y la fase alfa, en todas ellas, tienen la estructura del cobre, modificadas las dimensiones por la presencia del segundo elemento en disolución sólida.

En todos los sistemas metálicos existe una cierta relación entre las propiedades mecánicas y la microestructura. En el caso de las aleaciones cobre-cinc, en términos generales ocurre que las aleaciones estrictamente de cobre-cinc, que forman la base de la serie completa de latones, se dividen en tres grupos principales:

- Latones alfa: que contienen hasta un 39 % de cinc.
- Latones alfa-beta que empiezan a formarse a un 37,5 % de cinc aproximadamente y terminan en la proporción de un 45 % de cinc.
- Latones beta: que comprenden los de un 46 a un 50 % de cinc aproximadamente.

A un valor próximo al 50 % de cinc comienza la aparición de la fase γ , que hace que el material sea frágil. En la siguiente tabla aparecen algunos de los principales latones empleados en la práctica industrial.

Latones ordinarios. Son aleaciones de Cu y Zn con más de 55 % de cobre. Presenta sobre el cobre las ventajas siguientes: 1; precio más bajo; 2; mayor facilidad para el moldeo; 3; gran maleabilidad; 4; gran resistencia mecánica y dureza más elevada; 5; mayor resistencia a los agentes atmosféricos.

Latones mecánicos: embutición (latones 70-30, con 70 % de Cu); de fácil mecanización (55 a 50 % de cobre).

Latones de soldadura fuerte: soldaduras del hierro (70 a 90 % de Cu); del cobre (55 a 45 %).

Latones especiales: cuando se requiere un aumento de dureza o de resistencia a la tracción se añade a las aleaciones cobre/cinc 60/40, aluminio, hierro, manganeso, estaño, níquel y algunas veces silicio. Utilizado en tubos de condensación. Son aleaciones Cu-Zn a las que se añaden uno o varios elementos: Pb, Mn, Fe, etcétera.

Latones al estaño: Con la composición 60 % de Cu, 23 % de Zn y 2 % de Sn resisten muy bien a la corrosión por el agua del mar, empleándose para bombas y en construcción naval.

Los latones se emplean mucho cuando se necesita embutir, aunque por su tendencia a empañarse o deslustrarse al estar expuestos a la intemperie conviene en muchos casos, protegerlos con un recubrimiento.

Latones rojos

Contienen menos de un 20 % de cinc; se pueden trabajar en caliente entre 750° y 900°, a partir del lingote, pero es corriente terminarlos por laminado o estirado en frío.

La plasticidad de estos metales es mayor cuanto menos cinc contienen; se caracterizan por ser muy resistentes a la corrosión y no sufren descincado ni la corrosión intercrystalina en ciertos ambientes. Son más caros que los latones amarillos.

Descincado de los latones

Cuando el contenido de zinc de un latón se incrementa sobre el 15 % la susceptibilidad al descincado es característica en los latones, ocurre en agua de mar, en agua neutral a altas temperaturas y en aguas estancadas. Este fallo puede ser prevenido usando antimonio, estaño, estroncio y paladio como inhibidores en la aleación. El fenómeno ocurre en toda la superficie del latón, se forman pequeños agujeros, (tipo tapón) o depósitos blancos de óxido de cinc, en el caso de un ataque uniforme. En el caso del descincado

tipo tapón o se observan alrededor de los agujeros la coloración roja característica del cobre, pero el resto de la estructura mantiene un color amarillo y no resulta atacada sensiblemente.

Entre las condiciones que favorecen el descincado de los latones está el contacto con aguas con alto contenido de oxígeno y dióxido de carbono, aguas ligeramente ácidas o alcalinas, aguas estancadas o con muy bajas velocidades de flujo, aguas con alto contenido de iones cloruro, aguas suaves y oxigenadas de bajo pH y bajo contenido de minerales. En todos estos casos se produce un ataque uniforme. Además lo favorecen las aguas neutras o alcalinas con alto contenido salino a temperatura ambiente o moderadamente altas. La fotografía de la figura 2 indica un ejemplo típico de descincado con pequeños agujeros.

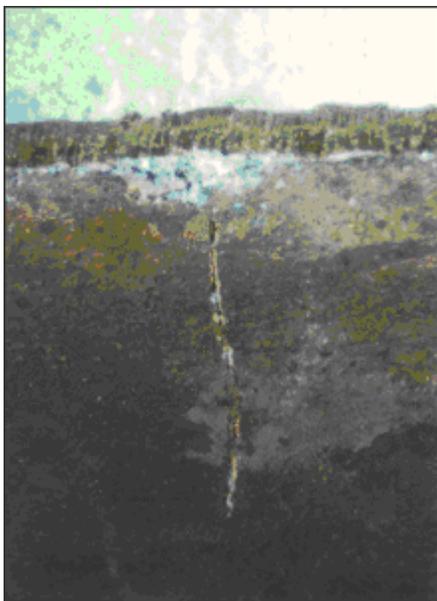


Fig. 2. Ejemplo típico de descincado.

Materiales y métodos

Como ya se ha dicho el material metálico empleado fue el denominado latón corriente (70 % Zn-30 % Cu). El inhibidor sólido de la corrosión utilizado en este trabajo se obtiene de la electrocoagulación de la vinaza, que es un residual del proceso de la destilación alcohólica, a partir de las mieles finales de la caña de azúcar,

del Complejo de Destilería- Cervecería “Hatuey” de la Provincia Santiago de Cuba.

Después de obtener el derivado sólido de la electrocoagulación del mosto, se logra dos tipos de sólidos diferentes, uno de la espuma y el otro del lodo. Con condiciones variadas tales como el amperaje, tiempo de residencia y temperatura. Para la realización de los experimentos nada más se tuvo en cuenta la utilización del sólido proveniente de la espuma.

Se utilizó además un termostato regulable, ácido sulfúrico concentrado como agente limpiador, tubos de ensayo, una balanza analítica y agua de mar traída de una playa cercana a la ciudad de Santiago de Cuba. El método utilizado fue el método gravimétrico que consiste en medir, limpiar y pesar bien las piezas, someterlas al agua de mar durante 4 horas, limpiar las muestras, secarlas y pesarlas de nuevo. Se calcularon las velocidades de corrosión por las expresiones típicas de este método.

Resultados experimentales

En la tabla 2 aparecen los resultados experimentales obtenidos.

Tabla 2. Resultados experimentales obtenidos

| T (°C) | C (g/L) de inhibidor | DE (mm/año) | η (%) |
|--------|----------------------|-------------|------------|
| 70 | 0 | 0,0520 | - |
| | 1 | 0,0240 | 53,85 |
| | 2 | 0,0235 | 54,81 |
| | 3 | 0,0123 | 76,32 |
| | 4 | 0,0118 | 77,4 |
| 80 | 0 | 0,0949 | - |
| | 1 | 0,0470 | 50,53 |
| | 2 | 0,0461 | 51,42 |
| | 3 | 0,0366 | 60,09 |
| | 4 | 0,0346 | 63,55 |
| 90 | 0 | 0,1440 | - |
| | 1 | 0,0745 | 48,29 |
| | 2 | 0,0709 | 50,75 |
| | 3 | 0,0646 | 55,14 |
| | 4 | 0,0577 | 59,93 |

También a modo de ensayo previo se realizaron corridas con muestras de latón a las temperaturas más elevadas por algo más de 250 horas para ver si había signos evidentes del descincado,

lo que pudo comprobarse por la aparición de los depósitos blancos de óxido de cinc, lo que dará pie para la realización de otros ensayos posteriores.

Análisis y discusión de los resultados

A continuación aparece el procesamiento estadístico de los resultados experimentales, lo cual permitirá realizar un análisis más profundo de estos. Con el tratamiento estadístico de los resultados experimentales se analizará la influencia de algunas variables en la velocidad de corrosión del agua del mar sobre el latón, obteniéndose un modelo matemático que relacione a las mismas con el latón.

Para efectuar dicho análisis es necesario escoger el modelo matemático que describa el comportamiento del sistema en cuestión. El procesa-

miento estadístico de los valores de velocidad de corrosión se hizo utilizando el programa profesional STATGRAPHICS PLUS 5.1.

Es recomendable inicialmente plantear el polinomio general con todas las interacciones para luego determinar cuáles de éstas son o no significativas. A continuación se presentan el coeficiente de regresión y el modelo del latón en este mismo orden:

Coefficientes de regresión para la velocidad (latón):

| | |
|-------------------|----------------|
| Constante | = -0,0675583 |
| A : temperatura | = 0,0004225 |
| B : concentración | = 0,000353333 |
| AA : | = 0,000013375 |
| AB : | = -0,0000445 |
| BB : | = -0,000366667 |

$$DE = -0,0675583 + 0,0004225 * T + 0,000353333 * C + 0,000013375 * T^2 - 0,0000445 * T * C - 0,000366667 * C^2 \quad (4)$$

La significación estadística de los parámetros se obtiene analizando la tabla de análisis de varianza que brinda el programa. La posibilidad de error fue de un 5 %, o lo que es igual, el intervalo de confianza escogido fue de un 95 %.

El R²= 99,2642 %, casi un 100 %, esto indica que el modelo así ajustado explica el 99,2642 % de la variabilidad en DE, y el estadígrafo Durban-

Watson es mayor que 1,4. Este estadígrafo examina los residuos para determinar si hay cualquier correlación significativa basada sobre el orden en el que se sucede en el fichero de datos. Puesto que el p-valor es superior a 0,05, no hay indicios de correlación de serie en los residuos.

Para el latón, el análisis de varianza se realiza a través de la tabla 3.

Tabla 3. Análisis de varianza para el latón según el STATGRAPHICS con todas las variables

| Efectos | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | Relación F | Valor P |
|---------------|-------------------|----|------------------|------------|---------|
| A : temp. | 0,0 048 069 | 1 | 0,0 048 069 | 748,79 | 0,0 000 |
| B : conc. | 0,000 381 024 | 1 | 0,000 381 024 | 59,35 | 0,0 003 |
| AA | 0,00 000 477 042 | 1 | 0,00 000 477 042 | 0,74 | 0,4 218 |
| AB | 0,00 000 198 025 | 1 | 0,00 000 198 025 | 0,31 | 0,5 987 |
| BB | 0,00 000 161 333 | 1 | 0,00 000 161 333 | 0,25 | 0,6 340 |
| Error total | 0,0 000 385 174 | 6 | 0,00 000 641 957 | | |
| Total (Corr.) | 0,00 523 481 | 11 | | | |

A través de la tabla 3 de análisis de varianza para el latón, se observa que existen tres factores que tienen el valor P mayor que el nivel de significación escogido ($\alpha= 0,05$), lo cual indica que estos efectos no tienen significación estadística. La temperatura y la concentración

son los únicos efectos con el valor P menor que 0,05, indicando que tiene significación para un intervalo de confianza del 95 %. Después de eliminadas las variables no significativas, el análisis de varianza para DE queda de la siguiente manera:

Tabla 4. Análisis de varianza para el latón con las variables significativas únicamente

| Efectos | Suma de cuadrados | GL | Cuadrados medios | Relación F | Valor P |
|---------------|-------------------|----|------------------|------------|---------|
| A : temp. | 0,0 048 069 | 1 | 0,004 069 | 922,80 | 0,0 000 |
| B: conc. | 0,000 381 024 | 1 | 0,000 381 024 | 73,15 | 0,0 000 |
| Error total | 0,0 000 468 814 | 9 | 0,00 000 520 905 | | |
| Total (Corr.) | 0,00 523 481 | 11 | | | |

$R^2 = 98,9 998 \%$

R^2 (ajustado para los GL)= 98,7 776 %

Error estándar de est.= 0,00 233 559

Error absoluto de la media= 0,00 175 056

Estadístico Durbin-Watson= 1,63 942 (P=0,1865)

Autocorrelación residual Lag 1= 0,170904

Si se analiza la tabla 4, es posible deducir que para el latón las variables que tienen significación estadística son la temperatura y la concentración del inhibidor. De ahí se obtiene el modelo matemático que realmente representa el comportamiento del sistema. Como modelo general se obtiene el siguiente:

$$DE = -0,13 775 + 0,00 238 375 * T - 0,00 457 333 * C \quad (5)$$

Tomando como base los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio (tabla 1), se lleva a cabo el análisis de la influencia de los factores tratados en este trabajo (temperatura y concentración del inhibidor) sobre la velocidad de corrosión en el latón, sobre la base de los diferentes gráficos obtenidos en el STATGRAPHICS. Esta parte es de gran importancia, ya que pone sello final al cumplimiento de los objetivos propuestos.

De manera general se puede decir, que para todos los materiales metálicos con un aumento de la temperatura y la concentración, se evidencia un comportamiento proporcional con respecto a la velocidad de corrosión; esto queda respaldado por la ecuación de Arrhenius que plantea, que un aumento de temperatura favorece la formación de productos, en este caso aumenta la cinética de las reacciones de oxidación-reducción, y se favorece la formación de productos de corrosión. Con respecto a la concentración, el comportamiento que se produce se debe a la formación de una capa protectora en la superficie del latón, producida cuando el inhibidor se adsorbe en la superficie del mismo, por eso es que disminuye marcadamente la velocidad de corrosión.

En las curvas obtenidas se observa un comportamiento típico de una isoterma de adsorción, ya que la eficiencia de inhibición tiende a estabilizarse y hacerse constante a las concentraciones más elevadas, esto se evidencia en el (figura 1). Al mismo tiempo se observa también la marcada influencia de la temperatura sobre la eficiencia de inhibición. Las mejores eficiencias se obtienen a la temperatura más baja y las menores a la temperatura más alta.

Con respecto al latón, la temperatura es la que ejerce mayor influencia con valores entre 0,0118 y 0,0745 mm/año. En cuanto a la concentración, su efecto es significativo pero no es tan influyente como la temperatura en este caso. Respecto a la resistencia a la corrosión del latón empleado en agua de mar, ésta puede considerarse entre el rango de excelente a buena, si nos basamos sobre el criterio de resistencia a la corrosión uniforme, dado por la tabla de Fontana. No obstante, es bueno recordar que no es precisamente la resistencia a la corrosión uniforme la preocupante, sino la resistencia del latón al descincado, el que debe ocurrir con un tiempo mayor de exposición. Se hizo un experimento en blanco con una pieza de latón que se mantuvo en agua de mar a

temperaturas comprendidas entre 70 y 90 °C, durante algo más de 250 h. Al extraer dicha placa al final de los experimentos, mostraba un ataque bastante severo con evidencias visibles de inicio del descincado, por lo que estos experimentos deben revestir importancia para minimizar este tipo de ataque característico de los latones corrientes.

Conclusiones

1. La variable independiente que ejerce mayor influencia sobre la velocidad de corrosión en el latón es la temperatura, aunque la concentración también influye, pero con menos intensidad.
2. El modelo matemático que predice el comportamiento de la velocidad de corrosión, con respecto a las principales variables que inciden en la misma resulta ser:
 $DE = -0,13775 + 0,00238375 \cdot T - 0,00457333 \cdot C$
válido dentro de los límites estudiados y con un nivel de confiabilidad de 95 %.
3. La velocidad de corrosión oscila entre los valores de 0,0118 y 0,0745 mm/año para las concentraciones de 1 a 4 g/L, y temperaturas de 70 a 90 °C, las eficiencias variaron desde 48,29 hasta 77,4 % para los mismos rangos de temperatura y concentración.
4. La velocidad de corrosión aumenta con el aumento de la temperatura, y disminuye con el aumento de la concentración del inhibidor, hasta un cierto punto después, aunque aumente la concentración la velocidad se mantendrá constante comportamiento representado por las isoterms de Langmuir.
5. De acuerdo con la tabla 1 de criterios relativos de corrosión según Fontana (1986), la resistencia a la corrosión para el latón es excelente ya que los valores de la velocidad de corrosión están en el rango de esta categoría que es de 0,02 a 0,1 mm/año.
6. Con los experimentos realizados, el máximo valor de la eficiencia que es de 77,4 %, se obtiene con la temperatura de 70 °C, y a la concentración de 4 g/L, o sea, con la combinación del nivel inferior de temperatura y el nivel superior de concentración.

Recomendaciones

- Realizar los ensayos de corrosión con los derivados sólidos obtenidos a partir de la electrocoagulación del mosto de las destilerías

alcohólicas, con el fin de comprobar cuál de ellos es el que aporta los mejores resultados.

- Realizar ensayos de larga duración (250 horas o más) con agua de mar, tanto en blanco como con diferentes concentraciones del inhibidor, con el fin de poder visualizar y hasta medir el desgaste observado para los ensayos en blanco realizados durante este experimento, los que demostraron un fuerte ataque corrosivo al cabo de cierto número de horas de exposición del latón al agua de mar a temperaturas elevadas.

Bibliografía

1. *Corrosion and Corrosion Prevention*. ENSPM Formation Industrie. CUPET, Cuba, 2001.
2. Dickson, N.: Estudio del comportamiento de algunos materiales en agua de mar. Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, 1999.
3. Domínguez, J., Matos, R., Hing, R., *Introducción a la corrosión y protección de los metales*, Ediciones ENPES, La Habana, 1987.
4. *Enciclopedia Encarta 2007*
5. Fontana, M. G., Greene, N. D., *Corrosion Engineering*. Mc Graw Hill, 1978.
6. Hing, R., Obtención de un inhibidor de la corrosión ácida a partir del mosto de la destilería de alcohol etílico. Revista Tecnología Química. Año 1, No 1, Universidad de Oriente, 1980.
7. [html.rincondelvago.com/aleaciones de cobre](http://html.rincondelvago.com/aleaciones-de-cobre)
8. [html.rincondelvago.com/aleaciones industriales](http://html.rincondelvago.com/aleaciones-industriales)
9. html.rincondelvago.com/corrosion-de-materiales.html "Corrosión de materiales", 2004
10. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/html/quimica.html>. 2005
11. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volume2/ciencia/3/079/htm>; "Corrosión electroquímica". 2005
12. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Corrosion>
13. <http://www.arquitectura-técnica.com/CORROSION-PROTECCION.htm> "Corrosión y Protección".
14. <http://www.invdes.com.mx/htm/corrosion.html>. Corrosión y control de la corrosión.
15. <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=01170030905>
16. http://www.mspsc.eng.br/tecdiv/corr1.asp#form_corr
17. <http://www.quiprocura.net/corrosao.htm>
18. Perry, Robert, M., Chilton, Cecil, M. *Chemical Engineers Handbook*, 6 edición. Publicaciones del Ministerio de Educación.
19. Rodríguez, K. "Estudio de Inhibidores de la Corrosión". Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, 2002.
20. Tomashov, N. D., *Theory of Corrosion and Protection of Metals*, Edición Revolucionaria, La Habana, 1971.
21. Uhlig, H. H., *Corrosion and Corrosion Control*. Edición Revolucionaria, La Habana, 1966.