

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

Roger Matos Tamayo  
Universidad de Oriente

*El presente trabajo forma parte de una de las líneas de investigación que se realiza en la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad de Oriente, en la búsqueda de soluciones que permitan de forma económica disminuir la corrosión de los equipos y materiales metálicos. El objetivo principal es el análisis de las variables que influyen en la velocidad de corrosión y en el descincado de los latones amarillos corrientes, y la eficiencia de inhibidores ecológicos obtenidos a partir de la vinaza o mosto de las destilerías alcohólicas. El sólido utilizado como inhibidor en este trabajo se obtiene de la electrocoagulación del mosto del Combinado Destilería-Cervecería "Hatuey" en la provincia de Santiago de Cuba.*

*Se realizaron experimentos de corrosión, en blanco o sea sin la presencia del inhibidor, y con inhibidores mediante el método gravimétrico. También fueron evaluados los derivados obtenidos de la electrocoagulación de la vinaza, provenientes de la espuma acumulada, como inhibidor 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 y en el descincado, se desarrolló mediante un diseño de experimento multinivel 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 y del descincado.*

*Los resultados obtenidos fueron satisfactorios, ya que el uso de las sustancias inhibidoras conllevó a que los valores de velocidad de corrosión tuvieran una disminución significativa, a parte de que previnieron la aparición del descincado de los latones 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.*

*This work is part of one of the lines of research being done at the School of Chemical Engineering from the Oriente University, in the search for solutions that enable cost-effective way of reducing the corrosion of equipment and metallic materials. The main objective is the analysis of the variables that influence the rate of corrosion and in the dezincification of current yellow brasses, and the efficiency of organic inhibitors made from the juice of vinaza or alcohol distilleries. The solid used as inhibitor in this study was obtained from the electrocoagulation of the wort-Distillery Combined Brewery "Hatuey" in the province of Santiago de Cuba.*

*Corrosion experiments were conducted in blank or without the presence of the inhibitor by the gravimetric method. They also were evaluated and derived from the electrocoagulation of the vinaza from the foam accumulated, as corrosion inhibitors of brass current in seawater at elevated temperatures.*

*The analysis of the influence of variables in the rate of corrosion and in the descincado, was developed through a multi-factorial design experiment obtained in the professional program Statgraphics 5,1, considering as independent variables: temperature and the concentration of the inhibitor in order to get the best combinations of these variables that allow greater efficiency of inhibition of corrosion and dezincification.*

*The results were satisfactory, as the use of substances that inhibit led to the values of corrosion rate of decline would have a significant part of that prevented the emergence of dezincification of the brasses as the concentration of inhibitor to reach a stable corrosion rate, meaning that while increasing the concentration of inhibitor is not able to decrease the corrosion rate.*

**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.

Los metales, en especial el latón se usa en varias ramas productivas de la sociedad 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, que 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 inhibitorias 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 del derivado sólido obtenido de la electrocoagulación del mosto como un inhibidor de la corrosión, así como de la abundante espuma que se genera en el proceso, resolviéndose así dos problemas de gran importancia para la sociedad, la contaminación medioambiental y la corrosión.

## 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 inhibitorias, obtenidas a partir de la electrocoagulación del mosto de las destilerías alcohólicas.

### Objetivos particulares

- Estudiar el descincado de los latones corrientes en agua de mar a temperaturas de 70, 80 y 90 °C en ensayos de 30 h de duración, suficientes para que aparezca el fenómeno del descincado.
- Estudiar el efecto inhibitor 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, 20-22/

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-reducción, 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.
- $\Delta m$ :** 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/m<sup>2</sup> día, kg/m<sup>2</sup> año, mg /dm<sup>2</sup> 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:

- $\rho$ :** Densidad del metal en g/cm<sup>3</sup>
- DP:** Velocidad de corrosión en g/m<sup>2</sup>.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/m<sup>2</sup>.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 tabla 1:

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
Excelente	1 – 5	0,02 – 0,1
Buena	5 – 20	0,1 – 0,5
Regular	20 – 50	0,5 – 1,0
Pobre	50 – 200	1,0 - 5
Inaceptable	> 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 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, etcétera. 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:

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

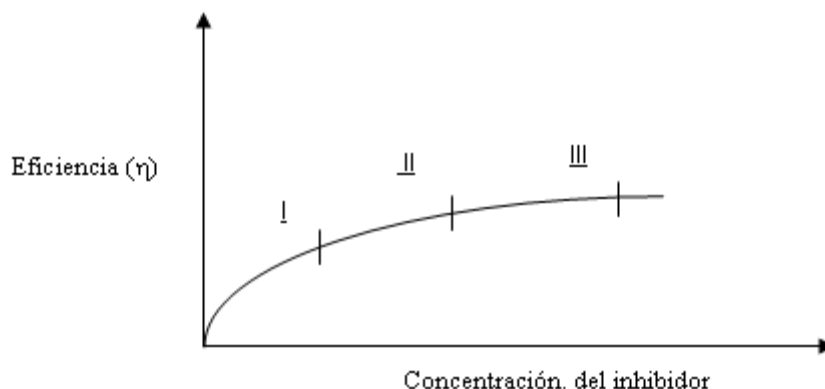
donde:

$\eta$ : Eficiencia del inhibidor en %.

$DP_{ci}$ ,  $DP_{si}$  : 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 en la figura 1:



**Fig. 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  $\gamma$ , que hace que el material sea frágil. A continuación 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.

---

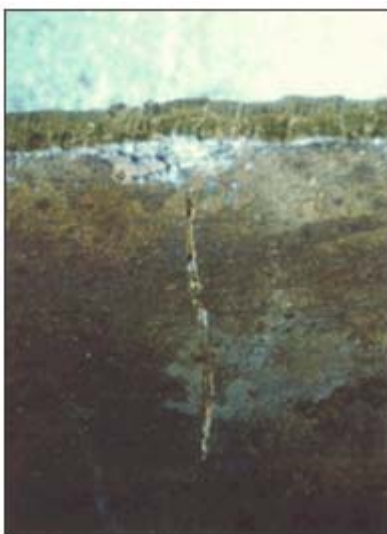
## Descincado de los latones

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 h, limpiar las muestras, secarlas y pesarlas de nuevo. Se calcularon las velocidades de corrosión por las expresiones

típicas de este método. El tiempo de exposición fue de unas 30 h, suficientes para observar en forma

visible la aparición del fenómeno del descincado del latón empleado.

Tabla 2  
Resultados experimentales obtenidos

T (°C)	C (g/L) de inhibidor	DE (mm/año)	η (%)
70	0	0,101 9	-
	1	0,056 9	44,16
	2	0,046 5	54,36
	3	0,031 2	69,38
	4	0,020 6	79,78
80	0	0,136 7	-
	1	0,081 2	40,54
	2	0,076 0	44,40
	3	0,067 0	50,98
	4	0,049 0	64,15
90	0	0,162 4	-
	1	0,099 0	39,00
	2	0,093 0	42,70
	3	0,082 7	49,00
	4	0,069 0	57,51

## Resultados experimentales

En la tabla 2 aparecen los resultados experimentales obtenidos

## 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	= -0,457417
A: temperatura	= 0,0115575
B: concentración	= -0,0119383
AA:	= 0,000133757
AB :	= -0,000137977
BB :	= 0,000142523

$$DE = -0,045 741 7 + 0,011 557 5 * T - 0,011 938 3 * C + 0,000 1337 57 * T^2 - 0,000 1379 77 * T * C + 0,000 142 523 * C^2 \quad (4)$$

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 %.

$EIR^2 = 99,5713\%$ , casi un 100 %, esto indica que el modelo así ajustado explica el 99,264 2 % 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 en el orden en el que se

suceden 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 N° 3 que se muestra a continuación:

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.	0,004 441 53	1	0,004 441 53	966,97	0,000
B: conc.	0,001 816 1	1	0,001 816 1	395,38	0,000
AA	0,000 094 010 4	1	0,000 094 010 4	20,47	0,040
AB	0,000 014 280 3	1	0,000 014 280 3	3,11	0,128 3
BB	0,000 035 707 5	1	0,000 035 707 5	7,77	0,128 3
Error Total	0,000 027 559 6	6	0,000 045 932 6		0,031 7
Total (Corr.)	0,006 429 19	11			

A través de la tabla 3 de análisis de varianza para el latón, se observa que existen dos factores que tienen el valor P mayor que el nivel de significación escogido ( $\alpha = 0,05$ ), esto 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 como se muestra en la tabla 4.

Tabla 4  
Análisis de varianza para DE

Efectos	Suma de cuadrados	GL	Cuadrados medios	Relación F	Valor P
A: temp.	0,004 806 9	1	0,004 415 3	458,20	0,0000
B: conc.	0,000 381 024	1	0,001 816 1	187,35	0,0000
AA	0,000 094 010 4	1	0,000 094 010 4	9,70	0,0144
Error Total	0,000 046 881 4	9	0,000 009 693 42		
Total (Corr.)	0,005 234 81	11	-		

$$DE = -0,071 298 + 0,002 49 * T - 0,041 290 5 * C \quad (5)$$



Los resultados obtenidos son lógicos y de esperar, ya que la velocidad de corrosión aumenta con la temperatura y disminuye con el aumento de la concentración de la sustancia inhibidora. 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 en 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. Los experimentos realizados en agua de mar a temperaturas comprendidas entre 70 y 90 °C, durante unas de 30 horas demostraron un ataque bastante severo con evidencias visibles de inicio del descincado, con la aparición de los depósitos blancos de óxido de cinc visibles a simple vista, por lo que estos experimentos deben revestir importancia para minimizar este tipo de ataque característico de los latones corrientes. Durante el desarrollo de los experimentos no se observaron síntomas de la aparición del descincado en presencia del inhibidor utilizado a cualquier concentración.

## Conclusiones

Tomando como base los objetivos trazados al inicio del trabajo, los resultados experimentales así como su análisis, se arriba a las siguientes conclusiones:

1. La variable independiente que ejerce mayor influencia sobre la velocidad de corrosión es: la temperatura, aunque que 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 sin mezclas de inhibidores es:

$$DE = -0,071\ 298 + 0,002\ 49 * T - 0,041\ 290\ 5 * C$$

3. Las velocidades de corrosión oscilan entre los valores de 0,101 9 y 0,162 4 mm/año para el agua de mar sin inhibidor a las temperaturas escogidas, y entre 0,020 6 y 0,099 mm/año para el producto sólido obtenido a partir de la electrocoagulación del mosto y a partir de la

espuma para las concentraciones de 1 a 4 g/L y temperaturas comprendidas entre 70 y 90 °C.

4. Las eficiencias variaran desde 39 hasta 79,78 % para el inhibidor mencionado y dentro de los mismos rangos de temperatura.
5. No se observaron evidencias de la aparición del descincado del latón utilizado cuando se utilizó la sustancia inhibidora a cualquier concentración.

## Recomendaciones

En base a todo lo expuesto es posible sugerir que el inhibidor utilizado en los ensayos realizados en el laboratorio para con los latones sea utilizado a escala industrial en aquellos casos que se utilizan equipo de intercambio de calor enfriados con agua de mar, los que generalmente se suelen construir de latones amarillos corrientes, debido a los buenos resultados obtenidos a altas temperaturas en agua de mar para contrarrestar el descincado de los mismos. Por otra parte, esto redundaría en el aspecto económico, ya que las aleaciones de cobre con cinc y níquel, con determinados aditivos, como el latón *Admiralty* y los *cuproníqueles*, que resisten el descincado son materiales mucho más costosos que los latones corrientes.

## Bibliografía

1. Carvalho A., *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*, Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, 2007.
2. Corrosion and Corrosion Prevention, ENSPM Formation Industrie, CUPET, Cuba, 2001.
3. Dickson N., *Estudio del comportamiento de algunos materiales en agua de mar*, Trabajo de Diploma, Universidad e Oriente, 1999.
4. Enciclopedia Encarta 2007.
6. Fontana, M. G. and Greene, N. D. Corrosion Engineering. Mc Graw Hill, 1978.
7. 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.
8. [html.rincondelvago.com/aleaciones de cobre](http://html.rincondelvago.com/aleaciones_de_cobre).
9. [html.rincondelvago.com/aleaciones industriales](http://html.rincondelvago.com/aleaciones_industriales).

- 
10. [html.rincondelvago.com/corrosion-de-materiales.html](http://html.rincondelvago.com/corrosion-de-materiales.html) "Corrosión de materiales", 2004
  11. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/html/quimica.html>, 2005
  12. <http://omega.ilce.edu.mx:3000/sites/ciencia/volume2/ciencia/3/079/htm>; "Corrosión electroquímica". 2005
  13. <http://pt.wikipedia.org/wiki/Corros%C3%A3o>
  14. <http://www.arquitectura-técnica.com/CORROSION-PROTEC.htm> "Corrosión y Protección".
  15. <http://www.invdes.com.mx/htm/corrosion.html>. Corrosión y control de la corrosión.
  16. <http://www.inovacaotecnologica.com.br/noticias/noticia.php?artigo=01170030905>
  17. [http://www.mspe.eng.br/tecdiv/corr1.asp#form\\_corr](http://www.mspe.eng.br/tecdiv/corr1.asp#form_corr)
  18. <http://www.quiprocura.net/corrosao.htm>
  19. Perry, Robert M y Chilton, Cecil M. *Chemical Engineers Handbook*. 6ª edición. Publicaciones del Ministerio de Educación.
  20. Rodríguez, K., *Estudio de Inhibidores de la Corrosión*. Trabajo de Diploma, Universidad de Oriente, 2002.
  21. Tomashov, N. D. *Theory of Corrosion and Protection of Metals*. Edición Revolucionaria, La Habana, 1971.
  22. Uhlig H. H., *Corrosion and Corrosion Control*. Edición Revolucionaria, La Habana, 1966.