

SINTESIS DE INHIBIDORES ORGANICOS DE CORROSION PARA AGUAS DE ENFRIAMIENTO INDUSTRIAL.

CLEMENTE RETAMOSO R.

Ingeniero Químico, M.Sc.

MARTIN MENDIETA

Químico, M.Sc

RESUMEN

Se seleccionaron moléculas orgánicas teóricamente capaces de inhibir la corrosión tanto de aceros como de materiales cuprosos en sistemas cerrados de agua de enfriamiento industrial, que luego fueron sintetizadas, caracterizadas y evaluadas en su acción inhibitoria.

INTRODUCCION

Los inhibidores orgánicos de corrosión son una alternativa viable para el control de la corrosión, especialmente en medios acuosos en los cuales la película orgánica, formada por moléculas especiales, adsorbida sobre una superficie metálica es capaz de alterar potenciales y resistencias electroquímicas, en una forma muy favorable a la disminución de la velocidad de corrosión.

Los inhibidores inorgánicos, a pesar de sus propiedades físicas y químicas que los convierten en excelentes elementos para controlar la corrosión, por ejemplo los cromatos, son muchas veces inconvenientes desde el punto de vista de la protección o impacto ambiental porque descargados en el medio ambiente pueden ocasionar desórdenes de intoxicación en los ecosistemas. Por esta razón se ha abierto paso el desarrollo de inhibidores de tipo orgánico, además de otras posibilidades que hacen muy atractiva su utilización.

Los conocimientos de la química orgánica pueden, en casos específicos, combinados con el de las propiedades en la interfase líquido-metal llegar a predecir moléculas que sean agentes inhibidores de la corrosión de amplio efecto y que gocen de las propiedades ideales para ser empleados con gran confianza por los ingenieros corrosionistas. En una determinada situación o problema, el resultado de un análisis de las condiciones que lo definen, produce una serie de moléculas viables como inhibidores y luego, el

ingenio del químico, a través de la síntesis orgánica, puede producir las sustancias que sean más prometedoras; las que más tarde serán probadas y evaluadas; primero a escala de laboratorio y luego a escala piloto de resultar exitoso los primeros experimentos. Esta metodología es corriente en la solución de muchos problemas industriales y es igualmente válida en el caso de la inhibición de la corrosión.

A pesar de su aparente simplicidad lógica, esta forma de atacar el problema no es normal en Colombia, donde aún existen muchas dudas, mitos y aún misterios en todo lo que se relaciona con la corrosión. Ha parecido provechoso realizar un trabajo, de corte experimental, tendiente a la apertura de caminos en el campo del estudio de la inhibición, en sistemas como el de las aguas de enfriamiento industrial, en el cual se encuentran, hoy en día, un significativo porcentaje de los problemas de corrosión de la industria. Se ha escogido la síntesis orgánica como herramienta para realizar esta apertura porque se piensa que ella es la clave para realizar verdaderos avances en el dominio de la inhibición de los procesos corrosivos.

OBJETIVOS

Se estableció como objetivo general la exploración de una metodología fundamental para estudiar teórica y experimentalmente la síntesis de inhibidores orgánicos aplicables a casos específicos de la industria petroquímica del país.

Para el logro de este objetivo de corte general se planificó la realización de los siguientes pasos:

- Seleccionar moléculas orgánicas teóricamente capaces de inhibir la corrosión tanto de aceros como de materiales cuprosos en sistemas de agua de enfriamiento industrial.
- Sintetizar y caracterizar químicamente las moléculas inhibidoras seleccionadas.
- Evaluar las propiedades inhibidoras de las moléculas sintetizadas.

CONSIDERACIONES TEÓRICAS

- Los inhibidores orgánicos.

Muchos inhibidores orgánicos pertenecen a la categoría de los llamados inhibidores de adsorción; o sea, aquellos que son capaces de formar una película quimisorbida sobre la superficie del metal, la cual queda así protegida, bien sea por bloqueo físico o por retardo de los procesos electroquímicos. Grupos funcionales como el amino ($-\text{NH}_2$); el carboxilo (COOH); el fosfeno (PO_3H_2) y otros son capaces de formar enlaces de diferente naturaleza con la superficie metálica. Estos enlaces son afectados por circunstancias específicas del medio corrosivo, por ejemplo el pH, por lo cual para un medio como el agua existirán muchas posibilidades de inhibición dependiendo de las condiciones de proceso. Los inhibidores orgánicos de corrosión originan una distorsión tanto en la carga como en la composición y la estructura de la doble capa electroquímica, que se forma en la interfase superficie metálica-medio corrosivo, ocasionando el establecimiento de enlaces por transferencia de electrones o de tipo coordinado con los átomos de la superficie metálica (1). Este enlace se puede considerar desde el punto de vista de la teoría ácido base de Lewis, en donde el inhibidor actuaría como base o fuente donadora de electrones y la superficie metálica como ácido, que capta estos electrones. La mayor parte de los compuestos orgánicos susceptibles de ser utilizados como inhibidores tienen un grupo funcional con átomos de nitrógeno, azufre, oxígeno, selenio o fósforo, que es el que participa directamente en la reacción con la superficie metálica en el proceso de quimisorción. La densidad electrónica del átomo en el grupo funcional, afecta directamente las propiedades inhibitorias de la molécula (2); este factor es especialmente importante en compuestos aromáticos y heterocíclicos, cuya densidad electrónica se afecta de acuerdo con la posición en el anillo. Definitivamente, la estabilidad del enlace formado entre el grupo funcional y la superficie metálica es de primordial importancia para la eficiencia del proceso inhibitorio y en este sentido, los parámetros químicos cuantitativos pueden brindar un excelente auxilio para predecirla (3).

- Aproximación al modelamiento matemático de la acción de los inhibidores orgánicos.

Se ha sustentado antes (7), con base en la evaluación de resultados experimentales, que las observaciones en la experimentación se ajustan a ciertas relaciones, entre

variables que guardan estrecha conexión con la fenomenología del proceso inhibitorio. Esta circunstancia es vital para insistir en el intento de correlacionar los resultados de los ensayos en una forma más cercana a la realidad del mundo físico químico.

Se puede suponer que las moléculas del inhibidor en el seno del medio corrosivo están en equilibrio con las moléculas adsorbidas sobre la superficie metálica. Entonces, si se supone un mecanismo de adsorción tipo Langmuir, se obtendrá (4):

$$z/(1 - z) = k(ad) xi$$

Donde,

- z : Fracción de la superficie metálica cubierta con las moléculas del inhibidor.
- xi : Concentración de inhibidor en el seno del líquido.
- k(ad): Constante de equilibrio de quimisorción.

Aplicando un procedimiento algebraico sencillo se llega a la siguiente expresión:

$$1-z = 1/(1 + K(ad) xi)$$

Lo cual quiere decir que la fracción de superficie metálica disponible para reacciones electroquímicas es proporcional a $1/(1 + K(ad) xi)$. Los puntos claves de esta reacción electroquímica sobre la superficie, cuya suma total es la velocidad global de corrosión son:

- a. La estructura de la molécula del inhibidor orgánico (longitud, ramificaciones, funciones, etc.) adsorbida sobre la superficie ofrece resistencia al paso de los iones y moléculas (oxígeno disuelto, H^+ , etc.) que van a reaccionar sobre la superficie.
- b. Las reacciones electroquímicas sobre la superficie pueden ser alteradas por la presencia del inhibidor (Por la influencia sobre la doble capa electroquímica, por alteraciones del potencial eléctrico entre la superficie y la solución etc.).

Si se establece que Y_0 representara la concentración de todas las especies iónicas que van a reaccionar sobre la superficie y Y_s la concentración de estas mismas sustancias en la interfase metal solución y, además, se acepta que se

alcanza un estado de proceso semiestacionario en el cual la velocidad de transporte por difusión de los iones es igual a su desaparición sobre la superficie, por reacción electroquímica, se tendrá que:

$$k_1 (Y_0 - Y_s) = K_r Y_s$$

Donde k_1 , representa las características de difusión de los iones reaccionantes y K_r una constante de velocidad superficial de reacción (5).

$k_1 = c_{Dim} / (Z_2 - Z_1)$, este término engloba supuestamente, los efectos mencionados en a y K_r las dificultades de las reacciones electroquímicas sobre la superficie, o sea, los efectos mencionados en b.

Por medio de una sencilla manipulación algebraica, corriente en este estilo de interpretación de los fenómenos de difusión y reacción (5), se llega a la expresión:

$$i_{cor} = Y_0 / (1/k_1 + 1/K_r) (1 + K_{ad} X_i)$$

Que es finalmente la propuesta de modelamiento matemático que se presenta en primera instancia para explicar teóricamente el comportamiento de los inhibidores orgánicos de adsorción. Por supuesto otros mecanismos, que incluyen más efectos se pueden proponer, pero, para el presente estado de desarrollo de estos estudios a nivel de laboratorio y por sus objetivos pragmáticos de aplicación, esta concepción parece suficiente.

METODOLOGIA

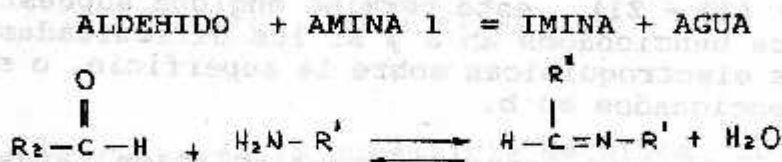
Inicialmente se consideró posible sintetizar una molécula que fuera capaz al mismo tiempo de prevenir la corrosión del agua de enfriamiento, tanto para el acero al carbono como para el material llamado "admiralty". Para evaluar esta posibilidad, primero se atendió al problema de diseñar moléculas factibles; a continuación se establecieron las rutas de síntesis de estas moléculas; se sintetizaron en el laboratorio y se identificaron los compuestos obtenidos; finalmente, se evaluó el poder inhibitor de las sustancias orgánicas sintetizadas.

Diseño y síntesis de las moléculas.

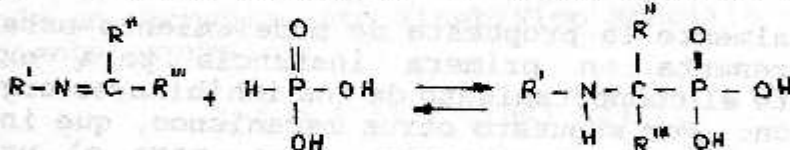
A partir de un análisis a fondo de la teoría química de la inhibición y teniendo en cuenta aspectos de orden técnico

y práctico que se dedujeron de tal análisis se escogieron las moléculas en la familia de los organofosfonatos, se acuerdo con las siguientes condiciones: que hubiera presencia de grupos amino 2, o amido, por su reconocida afinidad con el cobre y de grupos -COO- y/o OH-, por su papel sobre el hierro y su poder de disolución.

La ruta general de síntesis escogida incluyó, primero la síntesis de las iminas y segundo la preparación de los ácidos fosfónicos. Así las iminas se prepararon de acuerdo con la siguiente reacción:



Y los ácidos fosfónicos de acuerdo con el siguiente esquema:



Las moléculas sintetizadas y purificadas se caracterizan por métodos físico químicos, tales como: determinación de propiedades; análisis de sus componentes por marcha cualitativa y obtención de espectros en el infrarrojo.

Evaluación de las propiedades inhibitoras de la molécula sintetizada.

Se prepararon soluciones en concentraciones de inhibidor de 0, 5, 15, 25, 35 y 45 p.p.m en agua industrial suministrada por BAVARIA S.A. de Bucaramanga, que sirvieron luego para realizar ensayos de corrosión por los métodos de pérdida de peso y de polarización lineal. Las probetas usadas en los ensayos de pérdida de peso se cortaron de 2 cm x 3.5 cm x 1 mm, de láminas comerciales de acero al carbono A 179 y de Admiralty 443, y se pasaron en bloque, por sus cuatro lados, por una rectificadora, luego siguiendo un procedimiento estandarizado se pulieron al paño. Los ensayos se realizaron en vasos de 100 ml, tapados con un cartón que servía de soporte a las probetas e impedía la contaminación de la solución con polvo y otras sustancias.

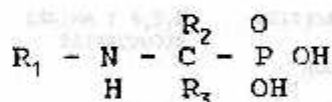
Los vasos se mantuvieron en la estufa con temperaturas controladas a 40 C durante 30 días, sin agitación. Al término de los 30 días se cambiaba la solución por otra nueva, se preparaba en una forma normalizada la probeta (7), se pesaba y se iniciaba otro ciclo de ensayo, hasta completar cuatro ciclos por cada probeta.

Para realizar las pruebas de polarización lineal se utilizó un potencióstato PS3 y accesorios electroquímicos. Los electrodos de prueba para los ensayos se prepararon con los mismos materiales utilizados en los ensayos gravimétricos, acero al carbono A 179 y Almiralty 443. En la realización de los ensayos se siguieron procedimientos normalizados (7).

RESULTADOS Y DISCUSION

Síntesis de moléculas.

Los ácidos sintetizados en el laboratorio tienen la siguiente estructura general:



En la Tabla 1 se presentan los 4 ácidos α -amino fosfónicos sintetizados.

TABLA 1. ACIDOS α -AMINO FOSFONICOS SINTEITIZADOS.

COMPUESTO ACIDO	CODIGO	R ¹	R ² REACCION	R ³	RENDIMIENTO	COSTO RELATIVO *
N-ETIL- α AMINO BENCIL-FOSFONICO	A	CH ₃ CH ₂	PH	H	55,5	1200
N-ETIL- α AMINO BENCIL-FOSFONICO	B	PHCH ₂	PH	H	79,7	3600
N-BENCIL- α AMINO 4CLORO BENCIL FOSFONICO	C	PHCH ₂	P-CL	H	86,7	4000
N-BUTIL- α AMINO BENCIL FOSFONICO	D	n-C ₄ H ₉	PH	H	73,0	6500

* Costos de reactivos en 1989.

En la Tabla 2 se muestran algunas de las características físico químicas determinadas experimentalmente y en la Tabla 3 se presentan las bandas de adsorción

características en el infrarrojo de las sustancias sintetizadas.

Evaluación de las moléculas sintetizadas.

Los resultados de los ensayos de corrosión realizados por los métodos gravimétricos y de polarización de exhiben en la Tabla 4, donde es posible comparar los valores obtenidos en cada método experimental y sacar interesantes conclusiones sobre el comportamiento de las sustancias sintetizadas.

TABLA 2. CARACTERISTICAS DE LOS ACIDOS SINTEITIZADOS.

ACIDO FUSION	PUNTO °C	COLOR	SOLUBLE EN	ANALISIS CUALITATIVO ELEMENTAL
A	220 - 222	CAFE OSCURO	ETANOL CALIENTE ACETONA, TOLUENO PARCIAL AGUA	N,C,P Y AMINAS SECUNDARIAS
B	228 - 231	VERDE OSCURO	ACETONA, ACETICO TOLUENO PARCIAL AGUA	N,C,P Y AMINAS SECUNDARIAS
C	222 - 225	VERDE OSCURO	ACETONA, ACETICO TOLUENO	N,C,P,Cl y AMINAS SECUNDARIAS
D	225 - 228	AZUL VERDOSO OSCURO	ACETONA, TOLUENO ETANOL PARCIAL AGUA	N,C,P Y AMINAS SECUNDARIAS

Discusión.

Los ensayos de caracterización indican que las moléculas sintetizadas se ajustan a la estructura inicialmente planificada. Los puntos de fusión se correlacionan bastante bien con los reportados por la literatura, lo mismo que el análisis elemental demuestra la existencia de la amina secundaria que está presente en todas las moléculas y del cloro que está sólo en una.

El análisis cualitativo en el infrarrojo muestra las bandas características correspondientes a los grupos funcionales generales y también algunas de las particularidades de las

moléculas, por ejemplo el enlace C-Cl. La comprobación realizada garantiza por consiguiente, una buena aproximación a las estructuras concebidas inicialmente.

Los ensayos de la acción inhibidora arrojaron resultados que aclaran el comportamiento de estas moléculas particulares en agua industrial en contacto con el acero al carbono y el Admiralty (materiales de base hierro y cobre respectivamente).

Todas las sustancias, en todas las concentraciones probadas disminuyen la velocidad de corrosión del acero al carbono y el Admiralty, en agua de enfriamiento industrial, sin embargo la eficiencia de la inhibición varía de una a otra molécula como se verá a continuación.

Los ensayos sin inhibidor blancos 1 y 2 muestran que existen diferencias entre el comportamiento de las superficies de acero al carbono y del Admiralty.

TABLA 3. BANDAS DE ADSORCION CARACTERISTICAS EN EL INFRARROJO PARA SUSTANCIAS SINTETIZADAS.

CLASIFICACION DE LA VIBRACION	A	B	C	D
Vibración longitudinal OH y N (de amina secundaria asimétrica).	x	x	x	x
Bandas de vibración longitudinal CH aromático.	x	x	x	x
Bandas de vibración longitudinal POH.	x	x	x	x
Bandas de deformación para NH de amina secundaria.	x	x	x	x
Banda de sobre tono de vibración longitudinal para C-Cl.			x	
Banda de vibración longitudinal C=C del anillo aromático.	x	x	x	x
Banda de vibración longitudinal para P=O	x	x	x	x
Banda de vibración longitudinal C-C, C-N y POH	x			
Bandas de deformación de P-O-H.	x	x	x	x
Bandas de deformación para enlaces C-C	x			
Banda de vibración longitudinal C-Cl			x	
Bandas de deformación fuera del plano para aromáticos	x	x	x	x

TABLA 4. ENSAYOS DE LAS SUSTANCIAS SINTETIZADAS COMO INHIBIDORES DE CORROSION.

Solución de inhibidor	Acero al carbono A-179		Admiralty 443	
	veloc. de cor. grav. MPY	veloc. de cor. polar. MPY	veloc. de cor. grav. MPY	veloc. de cor. polar. MPY
Blanco (1)	8,946	7,070	3,707	3,270
Blanco (2)	7,489	6,740	3,302	2,900
A-5	7,264	5,680	3,259	1,630
A-15	5,550	5,200	2,597	1,450
A-25	5,443	4,230	1,940	0,530
A-35	5,005	3,680	1,861	0,210
A-45	4,240	2,100	1,080	0,150
B-5	7,179	5,520	3,007	0,910
B-15	7,122	4,540	2,702	0,790
B-25	5,803	2,260	2,342	0,300
B-35	5,161	2,160	2,231	0,190
B-45	4,135	1,150	1,595	0,070
C-5	7,272	4,250	2,042	0,160
C-15	6,807	2,770	2,031	0,160
C-25	5,625	2,350	1,787	0,110
C-35	5,419	1,230	1,667	0,100
C-45	1,994	0,840	0,602	0,050
D-5	6,564	5,510	2,749	0,450
D-15	6,022	5,490	2,467	0,130
D-25	4,670	3,430	1,868	0,110
D-35	4,522	2,170	1,752	0,070
D-45	4,098	1,440	0,685	0,060

TABLA 5. PERDIDAS DE PESO COMPARATIVAS ENTRE EL CICLO 1 Y EL CICLO 4 DE 30 DIAS DE INMERSION.

Solución de Inhibidor	Acero al carbono A-179		Admiralty 443	
	ciclo 1 g	ciclo 4 g	ciclo 1 g	ciclo 4 g
Blanco (1)	0,183	0,239	0,139	0,021
Blanco (2)	0,0167	0,180	0,074	0,056
A-5	0,082	0,276	0,089	0,066
A-15	0,120	0,140	0,074	0,043
A-25	0,094	0,167	0,052	0,041
A-35	0,099	0,119	0,029	0,039
A-45	0,098	0,098	0,044	0,013
B-5	0,175	0,168	0,050	0,100
B-15	0,108	0,226	0,060	0,610
B-25	0,110	0,148	0,051	0,059
B-35	0,105	0,119	0,050	0,060
B-45	0,112	0,086	0,036	0,039
C-5	0,162	0,159	0,045	0,052
C-15	0,189	0,113	0,029	0,068
C-25	0,111	0,141	0,026	0,057
C-35	0,092	0,183	0,042	0,039
C-45	0,057	0,046	0,021	0,014
D-5	0,169	0,154	0,068	0,079
D-15	0,119	0,152	0,044	0,083
D-25	0,135	0,102	0,031	0,062
D-35	0,113	0,093	0,032	0,036
D-45	0,122	0,077	0,030	0,013

Según se puede observar en la Tabla 5, el acero al carbono experimenta una pérdida de peso mayor durante el primer ciclo de inmersión en el medio corrosivo, que durante el cuarto; esta mayor actividad de la superficie a medida que transcurre el tiempo de inmersión, indica que los productos de corrosión no forman una película protectora sobre la superficie en las condiciones del experimento: Fluido estancado, pH cercano al punto neutro y deficiente aireación de la solución. El Admiralty por su parte sufre una pérdida de peso inicial que va disminuyendo al aumentar el número del ciclo, lo cual indica que en cierta forma tiende a auto protegerse posiblemente por formación natural de una película protectora.

Los ensayos con inhibidores señalan que, hasta la mayor concentración utilizada, el inhibidor A no alcanza a cambiar este patrón de comportamiento, la superficie de

acero no cubierta con inhibidor continua su deterioro acelerado y la del Admiralty sigue formando su propia protección; el inhibidor B afecta este esquema de acción, en el acero usando la concentración más alta se empieza a notar un descenso en la velocidad de corrosión al aumentar el ciclo de inmersión y en el admiralty parece que la capa de inhibidor interfiere con la formación de capas protectivas de productos de corrosión; con el inhibidor C se observa un comportamiento similar al del B, aunque en admiralty a la concentración más alta de inhibidor, la velocidad de corrosión tiende a hacerse independiente del ciclo de inmersión, lo cual es indicativo de la bondad de la película formada; el inhibidor D tiene en este sentido una actividad similar al del C pero, sobre la superficie del acero se acentúa el decaimiento de la velocidad de corrosión al avanzar el ciclo.

El aspecto de las probetas usadas en los ensayos gravimétricos muestra la acción del inhibidor sobre la superficie. Así, el inhibidor A sobre la probeta de acero forma una película amarilla y en la solución un flóculo amarillo, sobre la de admiralty la película es del mismo color pero el flóculo es azul claro; el inhibidor B sobre el acero película azul claro y flóculo café y sobre el admiralty película naranja y flóculo azul claro; el inhibidor C sobre el acero película verdosa y flóculo café y sobre el admiralty película violeta y flóculo azul verdoso; finalmente el inhibidor D sobre acero película azul verdosa y flóculo café y sobre el admiralty película verde y flóculo verde claro.

Se comprobó que la acción inhibidora es mayor con el fluido en movimiento que con el fluido en condiciones de estancamiento, posiblemente porque se facilitan los procesos de transporte hacia la superficie del metal. Este aspecto es muy importante desde el punto de vista del manejo del agua industrial de enfriamiento porque esta, se encuentra casi siempre en condiciones de buenas aireación y movimiento.

Las observaciones efectuadas indican que los inhibidores C y D cumplen mejor con las condiciones técnicas deseadas inicialmente, aunque se hace énfasis en la necesidad de hacer esfuerzos adicionales tanto en la síntesis como en las pruebas a nivel piloto.

En cuanto a eficiencias, en la Tabla 4 se empieza a notar que, a menor concentración de inhibidor usada, se alcanza a bajar la velocidad de corrosión, con todos los

inhibidores, para aceros al rededor de un 20% y para admiralty al rededor de un 30%, para aceros el comportamiento es más uniforme mientras que para el admiralty los inhibidores A y B están por debajo del 20% y los C y D por encima del 30%. A la mayor concentración usada en la experimentación, se alcanza a disminuir la velocidad de corrosión de acero al carbono alrededor de un 50 a 70% con los inhibidores A y B y del 55 al 80% con los inhibidores C y D y para el admiralty, al rededor de un 57 a 95% para los A y B y entre 82 y 98% para C y D.

Un inconveniente aparente, de las sustancias sintetizadas es su baja solubilidad en agua, especialmente la molécula B y D, sin embargo existen procedimientos industriales que minimizan esta posible característica negativa, así, se pueden predisolver en soluciones especiales antes de ser aplicados al agua de enfriamiento.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- Se puede considerar cumplido el objetivo de encontrar una metodología fundamental para desarrollar inhibidores de corrosión para casos específicos en la industria petroquímica del país.
- Las moléculas sintetizadas son capaces al mismo tiempo de prevenir la corrosión en agua de enfriamiento, tanto del acero al carbono como del admiralty, hasta eficiencias consideradas buenas por los corrosionistas y presumiblemente de disminuir los problemas de incrustaciones.
- Se pueden introducir algunas posibles mejoras en el diseño de las moléculas, de tal forma que se adecuen las características y la acción de las moléculas cada vez más a las condiciones del problema planteado. Esta es una característica de los desarrollos a nivel de laboratorio pues, cada experimentación abre nuevos e interesantes campos de acción.
- Se recomienda continuar con la metodología ensayada pues la realización de este trabajo deja una infraestructura mínima lista para intentar nuevos avances y desarrollos.
- Se considera conveniente hacer ensayos a mayor escala, especialmente en el equipo en de flujo dinámico que se describió en otra oportunidad (8).

BIBLIOGRAFIA

1. HACKERMAN, N and SNAVELY, E. Fundamentals of inhibitor, NACE, 1979.
2. AYERS, R y HACKERMAN, N. Corrosion inhibition in HCl using methyl pyridines, J. Electrochemical soc, 10(6), 1963.
3. DAMBORENEA, J. Inhibidores orgánicos de corrosión. Rev. Metal, Madrid, 23(5), 1987.
4. LEIDHEISER, JR., H. Corrosion science and technology, Lehigh University, 1980.
5. BIRD, R.B., STEWART, W.E. y LIGHTFOOT, E.E. Fenómenos de transporte, Ed. Reverté, 1964.
6. MENDIETA, L.M. Síntesis de inhibidores orgánicos de corrosión para sistemas de aguas de enfriamiento, proyecto de grado, Magister en Química, U.I.S., 1989.
7. VASQUEZ, C. y RETAMOSO, C. Efecto de inhibidores en el control de corrosión de acero(0,01% C) en aguas saladas. informe COLCIENCIAS, 1990.
8. REDMORE, D. Chemistry of phosphorous acid: new route to phosphonic acids phosphorous ester, J. Org. Chem., 43(5), 1978.
9. VASQUEZ, C. y RETAMOSO, C. Equipo de flujo dinámico para probar tratamientos en un sistema de aguas de enfriamiento industrial, informe COLCIENCIAS, 1990.

ABSTRACT

Organic molecules teoretically being able to inhibit steel ans cooper alloys corrosion in industrial cooling water systems were selected, synthetized, characterized and experimentally tested in its inhibiting power.