

EFECTO DE LA CONTAMINACIÓN CON HIDROCARBURO SOBRE LA EFICIENCIA DE UN SISTEMA DE INHIBICIÓN

RESUMEN

En este trabajo se evalúa un sistema de inhibición de una torre enfriadora y su comportamiento ante la presencia de un hidrocarburo como agente contaminante. Este sistema de inhibición se evaluó bajo condiciones hidrodinámicas, simulando condiciones similares a las de campo mediante el loop y el Electrodo de Cilindro Rotatorio (ECR). La velocidad de corrosión del acero AISI-SAE 1020 y admiralty fue obtenida por medio de pruebas electroquímicas (corrater, resistencia a la polarización, polarización Tafel) y pruebas gravimétricas para los diferentes ensayos (agua sin inhibidor, agua con inhibidor y contaminaciones con hidrocarburo), los resultados mostraron que el hidrocarburo puede ayudar a la protección del metal.

PALABRAS CLAVES: Inhibidores, contaminación hidrocarburo, loop, ECR.

ABSTRACT

In this research, an inhibition system of cooling tower contaminated by hydrocarbon was evaluated. This system was studied under hydrodynamic conditions, simulating condition similars to field ones, by using loop and RCE. Corrosion rate of mild steel (AISI 1020) and admiralty was determined by using electrochemical test (corrater, RP, Tafel and gravimetric tests for different conditions (water without inhibitor, water with inhibitor system and hydrocarbon contaminations). Results showed that hydrocarbon can help to protect the metallic surface.

KEYWORDS: Inhibitors, hydrocarbon contamination, loop, RCE.

1. INTRODUCCIÓN

El problema de la corrosión constituye un aspecto fundamental en la industria petroquímica. Entre los diversos procedimientos que se emplean para evitar este deterioro, los inhibidores de corrosión constituyen uno de los métodos más empleados y eficaces para la protección de los metales frente al ataque del medio agresivo en el que se utilizan.

El agua es el medio de enfriamiento más utilizado en los diferentes procesos de una refinería, pero se debe tener en cuenta que ataca los materiales que hacen parte del sistema de enfriamiento, su corrosividad e incrustabilidad causan un gran daño a los metales, es por esta razón que se recurre a los inhibidores para brindarles una adecuada protección.

La inhibición de la corrosión es esencial para el agua de las torres de enfriamiento, porque el agua aireada contiene altas concentraciones de sales y materiales en suspensión, vitales para la formación de lodos, además que la contaminación con el aire y las temperaturas tibias, contribuyen a la formación de un ambiente corrosivo. Entre los componentes de un sistema de inhibición se tienen los inhibidores de corrosión, los dispersantes y estabilizadores de cloro.

Este trabajo simuló condiciones similares a las de campo, para evaluar el comportamiento del sistema de inhibición de la torre enfriadora ante la presencia de un hidrocarburo como

NUBIA E. MEJÍA C.

Ingeniera Metalúrgica
Grupo de Investigaciones en Corrosión - GIC
Universidad Industrial de Santander – UIS
Maemet4@uis.edu.co

SAYDA M. FLÓREZ

Ingeniera Metalúrgica
Grupo de Investigaciones en Corrosión - GIC
Universidad Industrial de Santander – UIS
saydaflorez@yahoo.com

DARÍO YESID PEÑA B.

Ingeniero Metalúrgico,
Ph.D.
Profesor Auxiliar
Grupo de Investigaciones en Corrosión - GIC
Universidad Industrial de Santander – UIS
dypena@uis.edu.co

agente contaminante, determinando su efecto sobre el comportamiento electroquímico y la velocidad de corrosión en materiales como el acero AISI-SAE 1020 y el admiralty.

2. DESARROLLO EXPERIMENTAL

En este trabajo, las variables fijas fueron: Temperatura ($40^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$), agua característica del sistema de enfriamiento, velocidad del agua promedio de 5 pies/s (1382 rpm), material de los electrodos de trabajo (acero 1020 y admiralty), inhibidores para acero al carbono y admiralty utilizados en el tratamiento de una torre, estabilizador de cloro, pH entre 7.0 y 7.6.

Como variables en el estudio del sistema de enfriamiento fueron: dosificación del dispersante del sistema actual de inhibición, dosificación del dispersante para hidrocarburo, concentración de hidrocarburo.

El sistema de inhibición utilizado actualmente en una torre de enfriamiento está formado por un inhibidor para el acero, un inhibidor para las aleaciones cobre, un dispersante y un estabilizador de cloro.

Las técnicas de corriente directa utilizadas en el desarrollo experimental fueron pruebas

potenciodinámicas, las curvas de polarización, resistencia a la polarización lineal utilizando el corrater, y el método gravimétrico. Después de obtener R_p y las pendientes Tafel, a partir de las técnicas electroquímicas, se procedió a calcular la densidad de corriente de corrosión por medio de la ecuación de Stern-Geary.

El desarrollo experimental se dividió en tres (3) fases:

2.1. Fase 1. Determinación de las velocidades de corrosión para el acero AISI-SAE 1020 y el admiralty en agua sin inhibidor. En esta fase se realizaron pruebas en el ECR y en el simulador de flujo con agua de restitución de una torre, a la cual no se le adicionó el sistema de inhibición (agua en blanco).

En el simulador de flujo se realizaron ensayos gravimétricos, ensayos de corriente directa (DC): polarización Tafel, resistencia a la polarización y medidas de velocidad con el corrater, tanto para el acero AISI-SAE 1020 como para el admiralty. Los ensayos electroquímicos se realizaron cada tres días durante un período de 30 días. En el electrodo de cilindro rotatorio se realizaron ensayos de corriente directa (DC): polarización Tafel y resistencia a la polarización, tanto para el acero AISI-SAE 1020 como para el admiralty.

2.2. Fase 2. Determinación de las velocidades de corrosión para el acero AISI-SAE 1020 y admiralty en agua con inhibidor. Se realizaron pruebas en el electrodo de cilindro rotatorio, y en el simulador de flujo con agua de restitución, adicionando las concentraciones del sistema de inhibición usadas en campo por un período de 21 días. Los ensayos que se realizaron para el acero AISI-SAE 1020 y admiralty fueron: ensayos gravimétricos y ensayos electroquímicos.

2.3. Fase 3. Determinación de las velocidades de corrosión para el acero AISI-SAE 1020 y admiralty en agua con inhibidor, simulando contaminación con hidrocarburo. En esta etapa se trabajó con agua de restitución de una torre, adicionando el sistema de inhibición a las concentraciones usadas en campo. Se simuló contaminación con nafta pool, en un rango de concentraciones de 10 a 200 ppm; se aplicaron contingencias variando la concentración del dispersante para hidrocarburo entre 7 y 15 ppm.

La prueba en el simulador de flujo, se realizó por un periodo de 21 días con agua de tratamiento. El sistema se monitoreó durante los primeros 6 días con las condiciones normales de operación, con el fin de lograr la estabilización del circuito de flujo y una pasivación de los materiales utilizados; después de este tiempo, se realizó la contaminación con 100 ppm de nafta pool durante 5 días; se aplicó contingencia adicionando 10 ppm de dispersante para hidrocarburo y una purga del 10% del volumen total.

Las pruebas realizadas en el electrodo de cilindro rotatorio se describen en la tabla 1.

Prueba	Concentración de hidrocarburo (ppm)	Concentración de dispersante (ppm)
1	10	7
2	10	15
3	100	10
4	200	7
5	200	15

Tabla 1. Pruebas en el ECR, simulando contaminaciones con hidrocarburo.

3. RESULTADOS

3.1. Pruebas del agua sin inhibidor (blanco) en el ECR. Las velocidades de corrosión obtenidas en el electrodo de cilindro rotatorio mediante las técnicas de corriente directa mostraron que la velocidad de corrosión del acero 1020 (48 mpy) fue mayor que la velocidad de corrosión del admiralty (1 mpy), en agua sin inhibidor.

3.2. Pruebas del agua sin inhibidor (blanco) en el simulador de flujo. En las tablas 2 y 3 se muestran las velocidades de corrosión del acero 1020 y admiralty obtenidas mediante técnicas de corriente directa (resistencia a la polarización y curvas de polarización Tafel).

Según las tablas 2 y 3, el acero 1020 presentó una disminución en la velocidad de corrosión con el tiempo, lo cual indica una estabilización de la capa de óxido que hace las veces de barrera entre el metal y el electrolito. El admiralty presentó igualmente una disminución de la velocidad de corrosión al aumentar el tiempo de exposición.

Monitoreo (Semanas)	Bc [V/D]	Ba [V/D]	R_p [Ohm*cm ²]	Icorr [uA/cm ²]	Vcorr [mpy]
1	0,523	0,382	642,86	1,49E-04	69
2	0,453	0,465	1352,53	7,54E-05	35
3	0,567	0,684	1226,41	7,13E-05	33
4	0,255	0,313	1006,92	6,05E-05	28

Tabla 2. Velocidades de corrosión del acero 1020 en agua sin inhibidor en el loop.

Para la toma de datos electroquímicos se emplearon sondas conformadas por un electrodo de trabajo (acero 1020 o admiralty), un electrodo de referencia y un contra electrodo; ambos de acero inoxidable 304.

Los electrodos de acero 1020 y admiralty presentaron una capa uniforme de óxido: la capa observada sobre el acero 1020 fue compacta y de espesor

considerable; mientras que el admiralty presentó una capa fina de fácil remoción.

En las figuras 1 y 2 se registran los datos de velocidades de corrosión del acero 1020 y admiralty obtenidos con el corraeter durante el tiempo de la prueba. En estas figuras se puede apreciar que la velocidad de corrosión tiene una tendencia a disminuir con el tiempo, esto ocurre por la capa uniforme formada por los productos de corrosión que se depositan sobre el material aislándolo del contacto directo con la solución.

Monitoreo (Semanas)	Bc [V/D]	Ba [V/D]	Rp [Ohm*cm ²]	Icorr [uA/cm ²]	Vcorr [mpy]
1	1,338	0,151	12729,84	4,63E-06	4
2	0,339	0,146	17083,69	2,59E-06	2
3	0,307	0,138	18628,89	2,22E-06	2
4	0,249	0,121	19669,66	1,79E-06	1

Tabla 3. Velocidades de corrosión del admiralty en agua sin inhibidor en el loop.

La curva de tendencia al picado se hace importante cuando está por encima de la curva de velocidad de corrosión uniforme, es en esos puntos donde posiblemente se puede predecir que el material sufre picado debido a la formación de depósitos que favorecen este tipo de corrosión.

Las velocidades de corrosión del acero 1020 y admiralty en agua sin inhibidor obtenidas por el método gravimétrico en el loop fueron de 41 mpy para el acero y 1,5 mpy para el admiralty.

En la inspección visual del cupón de admiralty se apreció una película muy delgada de óxido de fácil remoción. La limpieza del cupón se realizó bajo la norma ASTM G1-90. En el acero se evidenció gran deterioro del material por corrosión uniforme. En el admiralty se observó también este tipo de corrosión.

3.3. Pruebas del agua con el sistema inhibidor en el ECR (agua con tratamiento). Las pruebas se realizaron con agua de restitución de una torre, adicionando el sistema de inhibición a las concentraciones usadas en campo. Las características del agua cumplieron con los rangos recomendados para el óptimo desempeño del sistema inhibidor.

Las velocidades de corrosión en esta prueba disminuyeron considerablemente con relación a las obtenidas en la prueba en blanco. La velocidad de corrosión del acero 1020 en agua con inhibidor fue de 3,0 mpy, y la del admiralty fue de 0 mpy. Esto se confirma por el desplazamiento de las curvas de polarización Tafel hacia la izquierda y la disminución en la corriente de corrosión tanto del acero 1020 como del admiralty, ver figuras 3 y 4.

Las velocidades de corrosión calculadas en el electrodo de cilindro rotatorio muestran que el sistema presentó una

corrosión catalogada como aceptable para el acero 1020 y segura para el admiralty, ver tabla 4.

En los ensayos el agua recirculante se mantuvo en niveles de dureza por debajo de 500 ppm, alcalinidad de 30 ppm, pH entre 7 y 7,6, cinc mayor de 2 ppm, fosfato entre 2,5 y 5 ppm, TTA de 1 ppm y un residual de cloro entre 0,1 y 0,3 ppm.

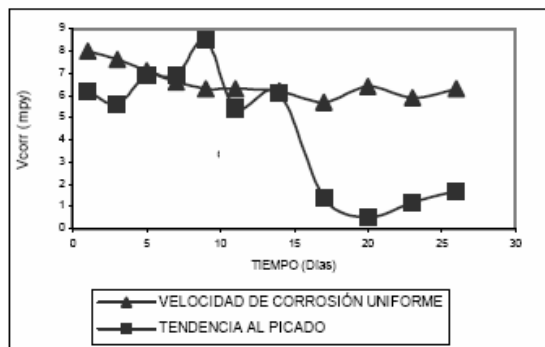


Figura 1. Comportamiento de la velocidad de corrosión uniforme y tendencia al picado del acero 1020, en agua sin inhibidor en el loop

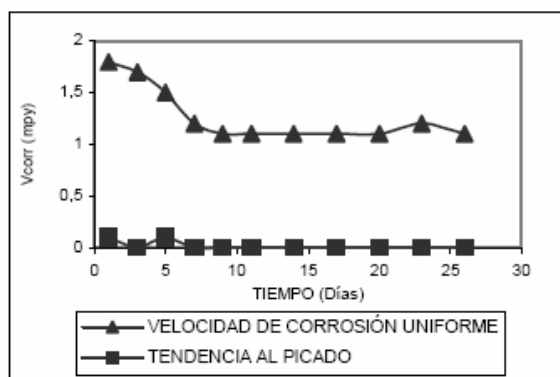


Figura 2. Comportamiento de la velocidad de corrosión uniforme y tendencia al picado del admiralty, en agua sin inhibidor en el loop.

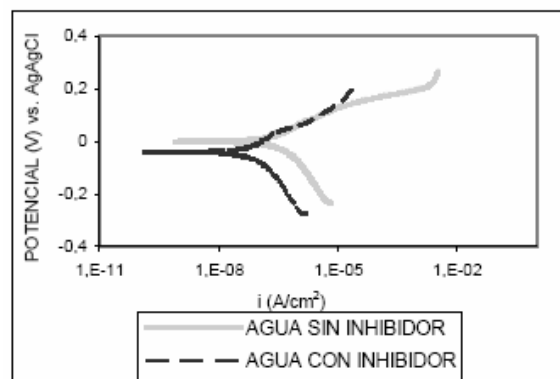


Figura 3. Comparación de las curvas de polarización Tafel del admiralty en agua sin inhibidor y agua con inhibidor en el ECR

En la tabla 5 se reporta las velocidades de corrosión del acero 1020 obtenidas mediante las técnicas de corriente directa. En esta tabla se puede observar una disminución de las velocidades de corrosión con el aumento del tiempo para el acero 1020; para el admiralty la velocidad de corrosión prácticamente fue 0 mpy.

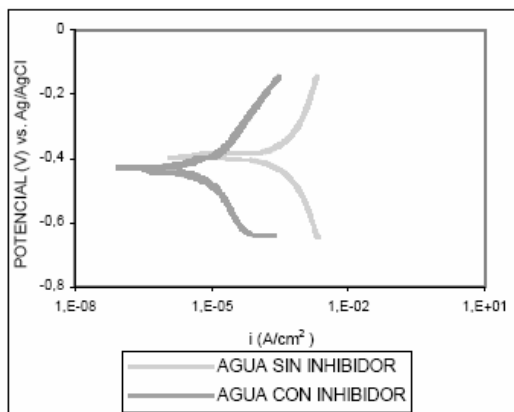


Figura 4. Comparación de las curvas de polarización Tafel del acero 1020 en agua sin inhibidor y agua con inhibidor en el ECR.

Material	Vcorr (mpy)	Interpretación
Acero al Carbono	0 – 2	Excelente
	2 – 3	Aceptable
	3 – 5	Regular
	> 5	Inaceptable
Admiralty	0 – 0,3	Seguro
	0,3 – 0,5	Alta corrosión para intercambiadores
	> 0,5	Inaceptable

Tabla 4. Guía para la interpretación de las velocidades de corrosión

En el electrodo de acero 1020 no se observó la formación de una capa compacta de productos de corrosión apreciadas en la prueba en blanco. La velocidad de corrosión del acero 1020 y el admiralty obtenidas por el método gravimétrico fueron prácticamente cero mpy. Los resultados obtenidos concuerdan con los análisis realizados mediante las diferentes técnicas electroquímicas.

El cupón de acero 1020 mostró la formación de pequeños depósitos en zonas localizadas; el cupón después de la limpieza reveló formas de corrosión general y corrosión bajo depósitos. El cupón de admiralty no reveló la formación de ningún tipo de corrosión, con lo que se concluye que el tratamiento es eficiente para la protección de este tipo de material.

Los resultados obtenidos ubican al sistema de inhibición en un rango de protección excelente para el acero y para el admiralty de seguro según la tabla 4. Esto reafirma el buen funcionamiento del sistema de inhibición.

Las velocidades de corrosión reportadas en las pruebas del cilindro rotatorio difieren de las obtenidas en las pruebas del loop debido a que en el ECR los esfuerzos de corte que se presentan y el tiempo de exposición del material no permiten la formación de una capa estable del inhibidor sobre el metal.

La eficiencia del sistema de inhibición se puede calcular a partir de las velocidades de corrosión obtenidas por el método gravimétrico para cada uno de los materiales, aplicando la siguiente ecuación:

$$E = [(V_{corr1} - V_{corr2}) / V_{corr1}] * 100 \quad (1)$$

Donde, E es eficiencia del inhibidor, V_{corr1} y V_{corr2} son las velocidades de corrosión en agua en blanco y con inhibidor respectivamente.

A partir de esta ecuación, la eficiencia del sistema de inhibición para el acero 1020 fue de 99% y para el admiralty fue de 93%.

Monitoreo (días)	Bc [V/D]	Ba [V/D]	Rp [Ohm*cm²]	Icorr [uA/cm²]	Vcorr [mpy]
1	0,214	0,218	50554,66	9,27E-07	0,4
4	0,226	0,233	117948,48	4,23E-07	0
7	0,199	0,244	26821,652	1,78E-06	1
14	0,247	0,277	42777,28	1,32E-06	1
21	0,181	0,195	53447,94	7,62E-07	0

Tabla 5. Velocidades de corrosión del acero 1020 obtenidas por medio de la técnica de corriente directa, en agua con inhibidor en el loop.

3.4. Pruebas con el agua con inhibidor simulando contaminación con hidrocarburo. Las pruebas se realizaron en el ECR con agua de restitución de una torre enfriadora con la dosificación actual del sistema de inhibición usada en campo. Las características del agua se mantuvieron en los rangos recomendados. Para la contingencia se adicionó dispersante para hidrocarburo en un rango de concentración de 7 a 15 ppm.

Los resultados obtenidos en cada una de las pruebas realizadas en el ECR para el acero 1020, se reportan en la tabla 6. En esta tabla se observa que para concentraciones bajas de dispersante la velocidad de corrosión disminuyó. Para la concentración de dispersante utilizada en campo (10 ppm), la velocidad de corrosión del acero 1020 fue de 3,0 mpy, ubicándolo en un nivel aceptable de protección. El admiralty registró una velocidad de corrosión de cero mpy lo que indica que está en un rango seguro de protección según la tabla 4.

Las velocidades de corrosión del acero 1020 a una concentración de dispersante mayor que la usada en campo (15 ppm), fueron significativamente altas,

dejando el material desprotegido; en el caso del admiralty esto mismo ocurrió, pero solamente a concentraciones altas de hidrocarburo.

La prueba en el loop se realizó por un periodo de 21 días. En el día 7 se contaminó con 100 ppm de nafta pool; el agua contaminada se dejó recircular por un periodo de 5 días. Pasado este tiempo, se aplicó una contingencia de 10 ppm de dispersante para hidrocarburo, al siguiente día se hizo una purga del 10% del volumen total del agua. El día 17 se adicionaron 2 ml de inhibidor para acero. El agua recirculante fue analizada fisicoquímicamente antes de la contaminación, después de la contaminación y después de la contingencia con el fin de mantener controlados los diferentes parámetros.

PRUEBA	Bc [V/D]	Ba [V/D]	Rp [Ohm*cm ²]	Icorr [uA/cm ²]	Vcorr [mpy]
HC[10ppm] – Disp.[7ppm]	0,283	0,281	22161	2,77E-06	1
HC[10ppm] – Disp.[15ppm]	0,267	0,125	625	5,91E-05	27
HC[100ppm] – Disp.[10ppm]	0,157	0,156	9043	3,75E-06	2
HC[200ppm] – Disp. [7ppm]	0,196	0,203	21490,9	2,02E-06	1
HC[200ppm] – Disp.[15ppm]	0,222	0,160	5148	7,84E-06	4

Tabla 6. Velocidades de corrosión del acero 1020 obtenidas por corriente directa en agua con inhibidor, contaminando con hidrocarburo en el ECR.

En la tabla 7 se reporta las velocidades de corrosión del acero 1020 obtenidas mediante las técnicas de corriente directa. De estos resultados se observa un aumento en las velocidades de corrosión durante la contaminación con hidrocarburo, luego, la velocidad disminuyó al aplicar la contingencia. Se puede observar que aunque se tiene un aumento en la velocidad de corrosión del acero, ésta se encuentra por debajo de los valores de protección permisibles; en el caso del admiralty, prácticamente su velocidad de corrosión fue 0 mpy.

En las figuras 5 y 6 se presentan las curvas de polarización Tafel del acero 1020 y admiralty respectivamente. Se observa un desplazamiento hacia la derecha de las curvas Tafel del acero y admiralty al iniciarse la contaminación, lo que indica un aumento de la velocidad de corrosión. Después de la contingencia la velocidad de corrosión disminuyó lo cual se puede corroborar en las curvas Tafel, donde se observó un desplazamiento hacia la izquierda, lo que indica una recuperación del sistema.

En las figuras 7 y 8 se observan los datos de velocidades de corrosión del acero 1020 y admiralty obtenidos por medio del corrater. La curva de tendencia al picado del acero 1020 se hace importante durante la contaminación con hidrocarburo, ya que en este periodo se encuentra por encima de la curva de corrosión uniforme, esto puede ser causado

por la formación de depósitos sobre la superficie del electrodo.

Monitoreo (días)	Bc [V/D]	Ba [V/D]	Rp [Ohm*cm ²]	Icorr [uA/cm ²]	Vcorr [mpy]
3	0,401	0,389	77258,4	1,11E-06	1.0
Inicio contaminación (7)	0,304	0,721	32210	2,88E-06	1.0
5 días después de contaminar (12)	0,26	0,724	344400	2,41E-07	0.0
2 días después de contingencia (14)	0,262	0,652	55510	1,46E-06	1.0
5 días después de contingencia (17)	0,276	0,774	243171,8	3,64E-07	0.0
9 días después de contingencia (21)	0,286	0,706	134600	6,57E-07	0.0

Tabla 7. Velocidades de corrosión del acero 1020 obtenidas por corriente directa en agua con inhibidor e hidrocarburo en el loop.



Figura 5. Curvas de polarización Tafel del acero 1020 en agua con inhibidor e hidrocarburo en el loop.

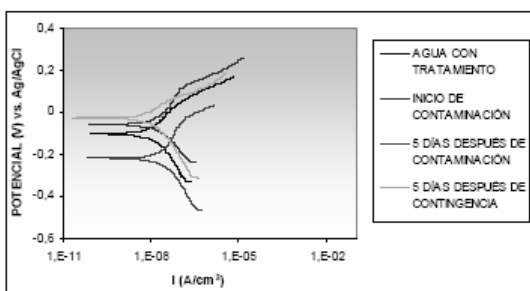


Figura 6. Curvas de polarización Tafel del admiralty en agua con inhibidor contaminada con hidrocarburo en el loop

En el acero 1020 antes de la limpieza se observó una capa de lodo muy delgada y depósitos de diferentes tamaños a lo largo de la superficie de la probeta. Después de la remoción de los depósitos se observó picado. Se realizaron los análisis respectivos de las picaduras y se calculó la velocidad de corrosión por picado, teniendo en cuenta la picadura de mayor

profundidad encontrada en el cupón. El valor obtenido fue de 10.32 mpy, el cual se obtuvo a partir de la siguiente ecuación:

$$V_{corr} = (P/T) * 365 \quad (2)$$

Donde V_{corr} es la velocidad de corrosión (mpy), P es la profundidad de la picadura (milipulgadas) y T es tiempo de exposición (días).

En términos generales es más seguro medir la profundidad de la picadura más representativa, ya que ésta será la responsable de la falla, pero este dato no serviría para predecir la vida de servicio de un equipo, debido a que esta profundidad, también depende del espesor del material.

El cupón de admiralty no evidenció deterioro o daños severos por corrosión.

Cabe anotar que el hidrocarburo puede ayudar a la protección del metal formando una capa que lo aísla del electrolito, aunque con el tiempo esta capa podría tener la capacidad de atrapar diferentes partículas e impurezas del agua y ser la formadora de núcleos de diferentes depósitos, los cuales afectarían el flujo o producirían corrosión bajo depósitos.

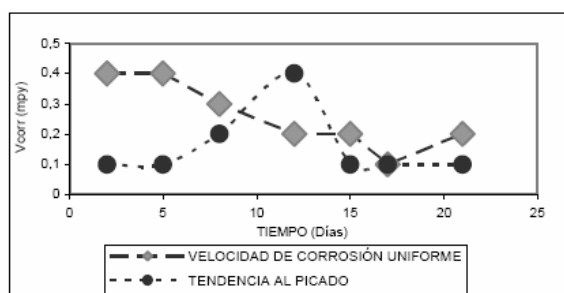


Figura 7. Velocidades de corrosión del acero 1020 obtenidas por el corrater en agua con inhibidor e hidrocarburo en el loop.

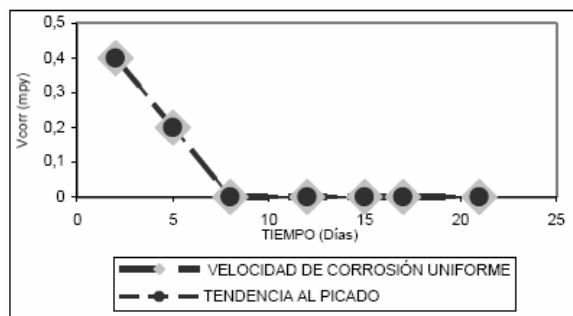


Figura 8. Velocidades de corrosión del admiralty obtenidas por el corrater en agua con inhibidor e hidrocarburo en el loop

4. CONCLUSIONES

El sistema de inhibición presentó muy buenos resultados en las velocidades de corrosión del acero 1020 y admiralty. El sistema de inhibición presentó una eficiencia del 99% para el acero y del 93% para el admiralty.

En las pruebas realizadas en el ECR contaminando con hidrocarburo se observó que a 7ppm de dispersante, el sistema de inhibición ofrece una mejor protección al acero 1020 y admiralty que a 15 ppm.

En la contaminación con hidrocarburo en el loop, el sistema de inhibición mantuvo las velocidades de corrosión del acero 1020 y admiralty en los rangos de protección, sin embargo se debe tener en cuenta la velocidad de corrosión por picado, ya que una picadura profunda puede ser la posible responsable de una falla prematura inesperada en el material.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CAMERON, G. R. and CHIU, A. S. Electrochemical Techniques for Corrosion Inhibitor Studies. National Association of Corrosion Engineers, 1986.
- [2] FONSECA, J. G. Desarrollo de una técnica experimental para la evaluación hidrodinámica de inhibidores de corrosión del acero API-5LB en presencia de dispersiones aceite-agua saturadas con CO₂. Tesis de Maestría en Ingeniería Metalúrgica). Bucaramanga, 1999. UIS. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.
- [3] FORERO, A. Y LEAL, J. Estudio y evaluación del sistema de inhibición de la torre enfriadora 820 de la Gerencia Compleja Barranca-ECOPETROL mediante simulación en laboratorio. Tesis de grado. Bucaramanga, 2000. UIS. Facultad de Ingenierías Fisicoquímicas. Escuela de Ingeniería Metalúrgica.
- [4] GONZALEZ, J. A. Control de la Corrosión. Estudio y medidas por técnicas electroquímicas. Centro Nacional de Investigaciones Metalúrgica. Consejo Superior de Investigaciones Científicas. Madrid, 1989. p.430 - 446.
- [5] HATCH, G. B. Inhibition of cooling water. Electrochemical Techniques for Corrosion Engineering. National Association of Corrosion Engineers. 1986.
- [6] HODS, J. E. JOHNSON, D. A. LAMMERING, J. D. Operate Cooling Towers. Correctly at High Cycles of Concentration. Chemical Engineering Progress. Applied Science and Technology. Vol 97, marzo 2001. p.30-36.
- [7] MANSFELD, F. Polarization Resistance Measurements – Today's Status. Electrochemical Techniques for Corrosion Engineering. National Association of Corrosion Engineers. 1986.
- [8] PANNKOKE, T. Cooling Tower Basics. Heating/Piping/Air conditioning. Applied Science and Technology. Vol 68, febrero 1996. p. 137-145.
- [9] PUCKORIUS, P. R. Water Corrosion Mechanisms. Applied Science and Technology. Vol 41, mayo 1999. p57-61.
- [10] SILVERMAN, D. C. Rotating cylinder electrode for velocity sensitivity testing. En: The International Corrosion Forum Sponsored by the National Association of Corrosion Engineers. Corrosion 83. Paper number 258. California. April 18-22, 1983. p. 258/1-258/16.